

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: Projecte d'una atracció d'un parc aquàtic: estructura i instal·lació hidràulica.

Document: Memòria i annexos

Alumne: Oriol Roura Vidal

Tutor: Xavier Cahís i Carola / Xavier Espinach Orus

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial /
Organització, Gestió Empresarial i Disseny del Producte

Àrea: EC / EGE

Convocatòria (mes/any): Setembre 2019

Índex

1	Introducció	5
1.1	Antecedents	5
1.2	Objecte	6
1.3	Abast	7
2	Descripció de la solució	8
2.1	Tipologia de tobogans	8
2.2	Localització del parc aquàtic.....	10
2.2.1	Anàlisi del turisme a la Costa Brava	10
2.2.2	Descripció de la parcel·la.....	12
2.2.3	Característiques del terreny	16
2.3	Principi de funcionament d'una atracció aquàtica	18
2.4	Descripció del tobogan	21
2.4.1	Descripció del funcionament.....	21
2.4.2	Característiques generals	22
2.4.3	Peces del tobogan	22
2.4.4	Secció transversal	25
2.4.5	Piscina de recepció.....	26
2.4.6	Escales metàl·liques.....	27
2.5	Descripció de l'estructura.....	28
2.5.1	Columnes – arbre	30
2.5.2	Unions tobogan – biga.....	34
2.5.3	Fonamentació.....	38
2.6	Descripció de la instal·lació hidràulica	40
2.6.1	Bomba d'aigua.....	42
2.6.2	Canonada de PE	44
2.6.3	Vàlvula de retenció	45
2.6.4	Vàlvula de comporta	47

2.6.5	Vàlvula de regulació	48
2.7	Tractament de l'aigua	50
2.8	Representació i visualització del tobogan en 3D	53
3	Resum del pressupost	57
4	Conclusions	58
5	Relació de documents	60
6	Bibliografia	61
6.1	Pàgines web	61
6.2	Llibres	64
6.3	Normativa nacional	64
6.4	Normativa i directrius tècniques	64
7	Glossari	67
8	Agraïments	69
A	Càlculs estàtics	71
A.1	Generalitats	71
A.2	Pes propi	72
A.3	Acció de l'aigua	74
A.4	Acció dels usuaris	78
A.5	Carga de neu	81
A.6	Acció del vent	82
A.6.1	Acció del vent sobre el tobogan	82
A.6.2	Acció del vent sobre la columna	84
A.7	Combinació d'accions	90
A.8	Resultats i anàlisi	91
A.8.1	Disseny de l'estructura del tobogan	92
A.8.2	Condicions d'entorn dels diferents elements	94
A.8.3	Anàlisi 1	95
A.8.4	Anàlisi 2	104
A.8.5	Anàlisi 3	117

A.8.6	Conclusions de l'estructura metàl·lica.....	127
A.9	Fonamentació.....	128
A.9.1	Característiques del terreny.....	128
A.9.2	Càlcul de les sabates.....	129
A.9.3	Conclusions.....	138
B	Seguretat en l'atracció.....	140
B.1	Avaluació preliminar de riscos.....	140
B.2	Reducció de riscos.....	145
B.2.1	Restriccions d'usuaris.....	145
B.2.2	Requisits de seguretat específics per tobogans del tipus 4.....	146
B.2.3	Zones d'atrapament.....	148
B.2.4	Zona de sortida.....	149
B.2.5	Requisits de les baranes.....	150
B.2.6	Superfícies.....	152
B.2.7	Vores dels tobogans.....	152
B.2.8	Recorregut del tobogan.....	152
B.2.9	Zona d'arribada.....	153
B.3	Senyalització en el tobogan.....	155
C	Dimensionament de la instal·lació hidràulica.....	160
C.1	Predimensionament de la instal·lació.....	161
C.2	Dimensionament real de la instal·lació.....	168
D	Anàlisi de la curvatura del tobogan.....	172
D.1	Curvatura del recorregut.....	172
D.2	Curvatura del tobogan.....	176
E	Càlcul de la velocitat dels usuaris.....	180
F	Escales d'accés al tobogan.....	188
F.1	Càrregues verticals.....	188
F.2	Càrregues horitzontals.....	188
F.3	Paràmetres de l'escala.....	189

1 Introducció

El present projecte es basa en el disseny d'una atracció aquàtica, concretament un tobogan aquàtic amb recorregut obert sense ajuda d'elements lliscants, tals com flotadors o màrfegues. El tobogan incorpora una sèrie de girs i baixades per proporcionar entreteniment als usuaris.

El model de tobogan aquàtic és propi, però compte amb la influència de tobogans existents en elements com l'hèlix, o en dissenys com girs més oberts a l'inici de l'atracció, i més tancats i ràpids al final. Les característiques dels girs han estat estudiades per tal de garantir la seguretat dels usuaris, així com proporcionar un trajecte uniforme.

L'atracció estarà suportada per una estructura metàl·lica que consistirà de columnes cilíndriques tubulars, les quals incorporaran una sèrie de barres en diferents punts per tal de suportar el tobogan, les quals estaran suportades per tornapunts, per tal de millorar la seva resistència al vinclament i disminuir la fletxa.

L'element que permet lliscar als usuaris és l'aigua, de manera que serà molt important tenir un cabal constant a l'inici del tobogan, i que perduri en tot el recorregut. L'aigua serà tractada amb els mètodes corresponents (clor i sulfurat), i serà transportada a la plataforma de sortida mitjançant una bomba d'aigua i una sèrie de canonades.

La seguretat és primordial en aquest tipus d'atraccions, de manera que es detallaran tots els aspectes necessaris per garantir-la, des de les senyalitzacions pertinents (posició de baixada, etc.) fins als diferents elements de seguretat com els murs en els girs, o el travessar a la plataforma de sortida.

1.1 Antecedents

Els parcs aquàtics són una de les principals atraccions turístiques de les poblacions més properes a la costa. En temporada alta, que en el cas d'Espanya se situa entre els mesos de Juny i mitjans de Setembre, el clima mediterrani és un gran atractiu tant pels habitants d'altres països com els mateixos residents del país.

Actualment la província de Girona compta amb tres parcs aquàtics, els quals estan situats a les poblacions de Roses, Platja d'Aro i Lloret de Mar, cobrint la demanda de la major part de la Costa Brava, excepte la zona de l'Estartit (Torroella de Montgrí), zona potencial on situar l'atracció aquàtica del present projecte.

En un parc aquàtic existeixen diferents tipus d'atraccions, des de tobogans ràpids (*kamikazes*) fins a muntanyes russes. Un tobogan que sempre està present en aquests parcs és el que conté girs en el seu recorregut, ja que la física involucrada en ells produeix una sensació d'adrenalina i diversió en els usuaris.

Altres paràmetres, com el relatiu poc temps d'espera en aquestes atraccions, en comparació amb muntanyes russes o tobogans que impliquin flotadors o baixades de més d'una persona (per motius de seguretat i sincronització), resulta atractiu per la gent que vol gaudir d'aquest tipus d'activitat.

1.2 Objecte

En la primera etapa es dissenya el recorregut del tobogan, tenint en consideració que els usuaris busquen la màxima diversió amb la màxima seguretat. Per tant, se centrarà en aspectes tals com baixades inclinades i girs tancats suficients per proporcionar un nivell d'adrenalina alt als usuaris, però amb els paràmetres correctes per no posar-los en perill.

La segona etapa se centra en l'estructura metàl·lica que sustenta el tobogan, especificant quines accions actuen sobre l'atracció i detallant la solució constructiva escollida. En aquest apartat, a més de la resistència i estabilitat de l'estructura general, es donarà una gran importància a l'estètica del tobogan, evitant fletxes perceptibles a l'ull humà que puguin comportar desconfiança envers l'atracció.

La tercera etapa del projecte es basa a detallar la instal·lació hidràulica de l'atracció aquàtica, necessària per proporcionar aigua al tobogan. Dins aquesta instal·lació s'especificaran tots els components necessaris com la bomba i les canalitzacions corresponents.

1.3 Abast

Durant el treball es tractaran els següents temes:

- Localització del parc aquàtic on se situa el tobogan aquàtic, a partir de l'afluència de turisme a les diferents poblacions de la Costa Brava, i complint amb la normativa del POUM de la població escollida.
- Avaluació preliminar dels riscos intrínsecs en el tobogan aquàtic, detallant la seguretat present en tots els aspectes de l'atracció, des dels elements de seguretat com baranes, murs o travessers, a posicions de baixada dels usuaris.
- Disseny del recorregut de l'atracció a partir del principi de funcionament d'aquestes i de la diversió que es vol proporcionar als usuaris, analitzant i garantint la seguretat en qualsevol punt del recorregut.
- Estudi de l'estructura metàl·lica que sosté el tobogan, detallant les accions que actuen sobre l'estructura i les solucions proposades. Aquest estudi es realitzarà a partir de diferents programes de càlcul.
- Disseny de la instal·lació hidràulica necessària, detallant tots els components que formaran part d'ella.

2 Descripció de la solució

2.1 Tipologia de tobogans

La norma tècnica específica UNE-EN 1069-1:2017 - 27/12/17 classifica els tobogans aquàtics en diferents tipologies, segons les especificacions que les caracteritzen. A la Taula 1 es mostra un resum de cada tipologia amb les seves característiques.

Taula 1. Classificació i característiques de les diferents tipologies de tobogans. Font: UNE-EN 1069.

Tipologia	Forma	Accés	Pendent	Nº carrils	a ¹	V _{mitja}	V _{max}	Observacions
1.1	Recte	Nens d'alçada < 1 m	< 70%	1	1 ≤ a ≤ 3 m			Més d'un usuari en el tobogan.
1.2	Recte	Nens	< 70%	1	1 ≤ a ≤ 3 m			
2.1	Corba	Nens	< 70%	1	a ≤ 3 m			
2.2	Helicoïdal		< 70%	1	a ≤ 3 m			Radi constant i girs en la mateixa direcció.
3			≤ 13%	1		≤ 5 m/s	≤ 8 m/s	
4	Ràpid		13 ≤ p ≤ 20%	1		≤ 10 m/s	≤ 14 m/s	
5	Alta velocitat		p ≥ 20%	1			≥ 14 m/s	
6.1	Multi pista		p ≤ 13%	> 1		≤ 5 m/s	≤ 8 m/s	
6.2	Multi pista		13 ≤ p ≤ 25%	> 1		≤ 10 m/s	≥ 14 m/s	
7	Recte		p ≤ 35%		≤ 8 m		≤ 8 m/s	
8	Muntanya russa			1				Gradients ascendents i descendents.
9	Recte			1	≤ 8 m		≤ 14 m/s	Lliscament transversal oscil·lant.
10	Combinat ²							

¹ Altura entre la plataforma de sortida i el nivell d'aigua de la piscina de descàrrega.

² Combina trams rectes o curvilinis amb espirals.

2.2 Localització del parc aquàtic

En el moment de dissenyar l'atracció d'un parc aquàtic s'intenta aprofitar les condicions del terreny, com el desnivell. Aquesta condició permetrà reduir l'altura de les columnes que sustenten el tobogan, respecte si el terreny fos pla.

Un altre punt a considerar en el moment d'ubicar el parc aquàtic on se situarà l'atracció, és a dir, la seva localització geogràfica. En ser un espai dedicat a una activitat d'oci i lleure, totalment encarada a períodes estivals (Juny a Setembre en el cas de la Costa Brava), la presència de turisme és un paràmetre molt important a considerar.

2.2.1 Anàlisi del turisme a la Costa Brava

Per motiu de proximitat, s'ha considerat com a zona potencial d'ubicació del parc la Costa Brava. A partir d'aquesta idea, el següent pas ha estat analitzar l'afluència de turisme en els principals punts turístics, a partir de la seva demanda turística basant-se en les entrades en allotjaments.

Per tal de conèixer les xifres de viatgers que s'han allotjat en les diferents poblacions de la Costa Brava s'ha consultat la base de dades de la INE (*Instituto Nacional de Estadística*). Cal destacar que aquesta base diferencia entre 3 tipus d'allotjaments: hotels, càmpings o apartaments.

Com que es pretén realitzar una anàlisi global de l'afluència de turisme a la Costa Brava, es representen les dades sense donar importància al tipus d'allotjament que han escollit els turismes. Les dades extretes de la INE corresponen a la temporada alta, compresa pels mesos de Juny, Juliol, Agost i Setembre, els quals coincideixen amb el període d'obertura dels parcs aquàtics existents.

A la Taula 2 es mostra el nombre de viatgers entrats en allotjaments per cada població i per cada mes, en dades referents a l'any 2017, sent aquestes les últimes dades actualitzades.

Taula 2. Nombre de viatgers entrats per població i mes. Font: *Instituto Nacional de Estadística*.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total
17013 Begur	6.610	7.313	6.505	5.420	25.848
17023 Blanes	24.990	25.890	30.895	17.027	98.802
17032 Cadaqués	10.163	11.187	-	-	21.350
17034 Calonge	17.296	25.892	26.532	7.864	77.584
17047 Castelló d'Empúries	17.055	29.270	32.297	12.452	91.074
17048 Castell- Platja d'Aro	44.766	56.868	57.220	36.467	195.321
17062 Escala, L'	5.901	18.204	21.427	3.666	49.198
17092 Llançà	903	3.734	3.698	851	9.186
17095 Lloret de Mar	158.492	187.020	202.838	142.954	691.304
17117 Palafrugell	24.116	31.245	37.259	22.009	114.629
17118 Palamós	8.954	10.702	12.015	4.006	35.677
17124 Pals	15.203	26.989	28.419	8.543	79.154
17152 Roses	49.723	59.637	66.828	53.550	229.738
17178 Sant Pere Pescador	19.201	29.363	31.066	13.359	92.989
17199 Torroella de Montgrí	27.389	56.782	58.276	20.679	163.126
17202 Tossa de Mar	49.228	70.602	70.908	42.294	233.032

A partir de la Taula 2 s'extreu que les cinc poblacions de la Costa Brava amb una aflluència de viatgers considerable són, de major a menor: Lloret de Mar, Tossa de Mar, Castell-Platja d'Aro, Roses i Torroella de Montgrí. Només dues d'aquestes cinc poblacions no tenen un parc aquàtic dins el seu terme municipal, les de Tossa de Mar i Torroella de Montgrí, tot i que la proximitat entre Lloret i Tossa podria eliminar aquest últim de la llista.

Per tant, el municipi de Torroella de Montgrí, on s'inclou la població costanera de l'Estartit, és una localització adient per a la ubicació d'un parc aquàtic per la quantitat de viatgers que s'allotgen en aquest municipi. A més, no hi ha cap parc aquàtic situat a la zona central de la Costa Brava, ja que, l'AquaBrava de Roses es troba a la zona Nord, i l'AquaDiver de Platja d'Aro i el WaterWorld de Lloret de Mar estan situats a la part sud, sobretot l'últim.

Un altre punt a favor que té la ubicació del parc aquàtic a la població de Torroella de Montgrí és la quantitat de viatgers que s'allotgen en termes municipals pròxims. Poblacions tals com Palafrugell i Sant Pere reben aproximadament 90.000 persones, les quals es troben que els parcs aquàtics més propers estan a 20 i 45 minuts aproximadament.

Dues poblacions més com Pals i l'Escala, amb unes xifres d'allotjament de viatgers l'any 2017 properes als 80.000 i 50.000 es troben a 10 minuts de Torroella de Montgrí, mentre que actualment el parc més pròxim a aquestes poblacions està a 25 i 30 min. Per tant, la localització d'un parc aquàtic al municipi de Torroella de Montgrí podria absorbir la demanda de la resta de parcs, així com encoratjar als turistes de les poblacions anteriors a anar-hi.

2.2.2 Descripció de la parcel·la

No existeix cap llei o normativa que obligui la localització d'un parc aquàtic en un punt amb un desnivell determinat, així que s'ha buscat una zona dins el municipi de Torroella de Montgrí amb un desnivell semblant als de la resta de parcs aquàtics de la Costa Brava.

A partir de la cartografia topogràfica proporcionada per l'Institut Cartogràfic i Geogràfic de Catalunya, s'ha pogut observar mitjançant cotes altimètriques el desnivell que existeix en els parcs aquàtics de Platja d'Aro i Roses.



Figura 1. Detalls topogràfics amb les cotes altimètriques de dos parcs aquàtics de la Costa Brava. Imatge superior: AquaBrava, Roses. Imatge inferior: AquaDiver, Platja d'Aro. Font: ICGC.

A la Figura 1 es mostra que els punts el desnivell entre el punt més baix i el punt més alt d'un tobogan aquàtic és aproximadament 11 metres. Per tant, la zona on es localitzarà l'atracció del present projecte haurà de tenir un desnivell de dimensions semblants.

Un terreny potencial per ubicar-hi el parc estaria situat a la carretera GI-641, la qual connecta la població de Torroella de Montgrí i l'Estartit, sent el punt exacte els Camps d'en Bosquets, tal com es mostra a la Figura 2. Aquest terreny té un desnivell aproximat de 10 metres.



Figura 2. Terreny adequat per a la localització del parc aquàtic. Font: ICGC.

Un cop localitzat el terreny, es consulta al Pla d'Ordenació Urbanística Municipal (POUM) del municipi de Torroella de Montgrí si és possible realitzar una activitat d'aquest estil. Aquesta zona es qualifica mitjançant l'abreviatura EPT, tal com es mostra a la Figura 3.



Figura 3. Qualificació del sòl en el terreny seleccionat segons el POUM de Torroella de Montgrí. Font: Ajuntament de Torroella de Montgrí.

A la Taula 3 es mostren els usos permesos per a cada subsistema de la zona EP. En els terrenys amb categoria EPT, les activitats recreatives, com seria el cas d'un parc aquàtic, estan permeses.

Taula 3. Usos permesos en cada subsistema en la zona EP. Font: POUM Torroella de Montgrí.

Subsistema	Hotel	Comercial	Oficines	Recreatiu	Càmping	Sanitari	Soc-cult	Docent	Esportiu
E/EP	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
EPC	No	Sí	No	No	No	No	No	No	No
EPT	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
EPT-C	No	No	No	No	Sí	No	No	No	No
EPT-H	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No
EPT-I	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
Esa	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No
Edo/Esa/Esc	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No
Edo	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No

2.2.3 Característiques del terreny

La zona del terreny seleccionat on s'ubicarà l'atracció aquàtica presenta un desnivell d'aproximadament 4 metres, com es pot observar a la Figura 4, on es marca amb precisió el punt on es trobarà el tobogan respecte a la parcel·la. Aquests 4 metres de desnivell corresponen a la diferència entre les cotes altimètriques d'11,2 m i 7,4 m.



Figura 4. Localització del tobogan a la parcel·la, amb les referències de les cotes altimètriques. Font: Pròpia.

Davant la impossibilitat d'obtenir un estudi topogràfic que donés l'alçada precisa en cada punt del terreny, s'ha optat per considerar que el terreny té un desnivell constant, ja que és la forma més aproximada a la realitat. Aquesta aproximació s'ha realitzat amb un model matemàtic senzill basat en el pendent d'una rampa, calculat a l'Equació 1.

$$m = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{11 - 7}{43} = 0,093 \quad (\text{Eq. 1})$$

Els 43 metres de distància horitzontal corresponen a la longitud del tobogan. A partir d'aquest pendent es crea el model que permet saber l'altura del terreny en funció de la longitud horitzontal. Aquest model es mostra a l'Equació 2.

$$h = 4 - 0.093 \cdot x \quad (\text{Eq. 2})$$

On h és l'altura del terreny; i x és la distància horitzontal on es situa la columna, amb referència a la plataforma de sortida. A la Taula 4 es detalla l'altura del terreny en cada punt on es preveu situar una columna metàl·lica.

Taula 4. Altura del terreny en cada punt on se situa una columna metàl·lica. Font: *Pròpia*.

Pilar	x (m)	h (m)
1	6,0	3,44
2	14,0	2,70
3	21,5	2,00
4	23,5	1,81
5	30,0	1,21

Actualment en aquesta parcel·la no hi ha cap activitat associada ni s'hi ha executat cap obra de pavimentació. Per tant, el terreny s'ha de modificar per tal que sigui adequat per albergar un parc aquàtic.

Primerament es realitzarà una esbrossada del terreny mitjançant les corresponents màquines i vehicles, i posteriorment es crearan una capa de formigó amb additiu per crear un paviment continu. Aquest paviment serà el terra sobre el qual caminaran els usuaris al llarg del parc aquàtic.

Per altra banda, s'implantarà gespa per habilitar zones de lleure on la gent pugui descansar, menjar o prendre el sol, implantació que es durà a terme mitjançant la tècnica de *rizosiembra*. Per últim, es crearan camins entre el paviment i les atraccions mitjançant paviment de llamborda ceràmica, amb la finalitat de proporcionar un element més estètic al parc.

La delimitació de cada zona es mostra la Figura 38, corresponent a la representació en 3 dimensions del tobogan aquàtic i el seu entorn.

2.3 Principi de funcionament d'una atracció aquàtica

L'atracció d'un parc aquàtic segueix el mateix principi de funcionament que una muntanya russa, a partir del conegut fenomen natural de la gravetat. Aquest fenomen provoca que els cossos presents en l'atracció aquàtica descendeixin de forma natural, és a dir, sense l'ajuda de cap mecanisme artificial.

Aquest principi de funcionament va lligat a l'energia dels cossos, i més concretament a l'energia potencial gravitatòria, relacionada amb la massa del determinat cos, la seva altura i la gravetat de la terra, i l'energia cinètica, relacionada amb el cos en moviment, és a dir, quan aquest adquireix una certa velocitat.

A diferència de les muntanyes russes, tant les convencionals com les aquàtiques, que tenen el seu punt de partida a nivell de terra, les atraccions aquàtiques conegudes com a tobogans tenen el seu inici a una certa alçada. Per tal d'arribar a aquest punt, s'habilita una escala generalment metàl·lica.

A mesura que la persona puja per l'escala, va guanyant energia potencial, de manera que com més alta és l'atracció, més energia potencial s'acumula en el cos, la qual és màxima en l'instant just abans de baixar pel tobogan. A partir d'aquest instant, aquesta energia acumulada es va transformant en energia cinètica a causa de la velocitat que adquireix el cos en baixar per gravetat, mentre que la fricció disminueix la quantitat d'energia de l'usuari.

A la Figura 5 es mostra un esquema de l'explicació de l'energia acumulada i el seu tipus en cada moment.

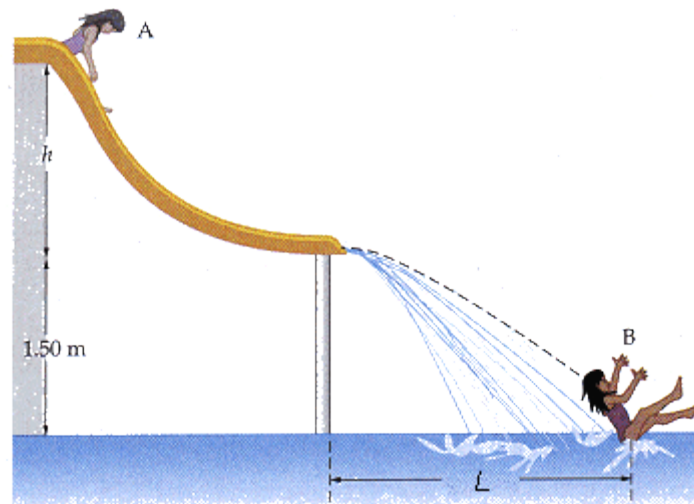


Figura 5. Punt A: el cos acumula la màxima energia de tipus potencial. Punt B: el cos adquireix la velocitat final i transforma la seva energia a cinètica. Font: *PhysicsForum*.

Un altre efecte present en un tobogan aquàtic és la fricció, la qual actua en contra del moviment del cos, de manera que aquest tendeix a aturar-se si en la força resultant té més pes la força de fricció. Aquest efecte és fàcilment observable en un tobogan comú d'un parc infantil, ja que aquest necessita un pendent considerable per tal de lliscar-hi.

En aquest punt és on entra en joc el paper de l'aigua. En la part superior del tobogan es genera un corrent d'aigua mínim per tal que el cos pugui lliscar per la superfície del tobogan, actuant com un lubricant que redueix la fricció entre els dos elements. El corrent d'aigua generat varia en funció del pes de la persona o el cos sobre el tobogan, ja que com més pesa aquest cos, més possibilitat hi ha que es quedi aturat perquè no llisca sobre l'aigua. Per altra banda, un cos més lleuger pot lliscar sobre un corrent d'aigua excessiu pel seu pes, conduint-lo a situacions de velocitats perilloses.

La inèrcia és una altra propietat física present en un tobogan aquàtic, ja que per definició, és la resistència d'un cos a canviar la seva velocitat o la seva direcció. Les atraccions que basen el seu recorregut en una sèrie de corbes i girs, treballen en contra de la inèrcia del cos que recorre a través seu.

En el moment que un cos es dirigeix amb una certa velocitat cap a una corba, aquest vol continuar la seva trajectòria rectilínia sense haver de variar la velocitat a la qual es mou. En el moment en què el cos entra en el gir, es veu obligat a canviar de direcció, ja que així ho obliga el tobogan, moment en el qual aquest accelera el cos causant en ell un canvi de velocitat i direcció.

Aquesta propietat física és la causa per la qual en els trams corbs de les atraccions aquàtiques el tobogan incorpora una paret de 75 a 150 cm, tal com s'observa a la Figura 6, la qual evita que el cos en moviment pugui sortir del recorregut a causa de la seva inèrcia. Aquesta paret sol ser recta, però en cas de ser una corba molt pronunciada, es pot corbar o fins i tot decantar-se per cobrir completament el tobogan en aquest tram.



Figura 6. En la imatge s'observa que en els trams de corba el tobogan és més alt, de manera que s'evita la possible sortida del cos per la tangent. Font: *Expertfun*.

2.4 Descripció del tobogan

2.4.1 Descripció del funcionament

El funcionament de l'atracció bàsicament respon a les preguntes de com es realitza el descens i com és el recorregut. El tobogan aquàtic del present projecte s'ha dissenyat per tal que els usuaris baixin individualment i sense l'ajuda d'elements lliscants com flotadors, mentre que el seu recorregut es basa a proporcionar la sensació de sortida de pista als usuaris mitjançant els diferents girs.

Amb aquest funcionament, s'aconsegueixen reduir els riscos relacionats amb col·lisions entre usuaris consecutius, provocats per la diferència de velocitat de dos usuaris, o la parada involuntària d'un dels dos; i per altra banda, el possible bolc del flotador, causant lesions a l'usuari, o bé aturant-lo enmig del recorregut.

El temps que es tarda a completar el recorregut depèn de la velocitat de cada persona. A la Taula 5 es mostra el temps que es tarda en recórrer el tobogan per a cada grup d'edat, sexe i velocitat mitjana, la qual s'extreu de la Taula 55.

Taula 5. Temps de recorregut dels usuaris. Font: *Pròpia*.

Sexe	Edat	V_{mig} (m/s)	t (s)
Masculí	Adult	5,84	16,44
	Adolescent	5,48	17,52
	13 anys	4,86	19,75
	10 anys	4,43	21,67
Femení	Adult	5,52	17,39
	Adolescent	5,44	17,65
	13 anys	4,97	19,32
	10 anys	4,66	20,60

2.4.2 Característiques generals

El tobogan aquàtic del present projecte és del tipus serpenti, és a dir, inclou una sèrie de girs al llarg del seu recorregut. El punt més alt d'aquesta atracció es troba a 13 metres respecte el nivell del terra, encara que la diferència d'altura entre la plataforma de sortida i la part final del tobogan és de 17 metres.

Continuant amb les dimensions del tobogan, té una extensió horitzontal de 43 metres, però el recorregut té una distància de 96 metres. El pendent de l'atracció es calcula a partir de l'altura entre el punt de sortida i el punt d'arribada, respecte a la longitud de recorregut, sent en aquest cas el pendent, del 17,7%.

Respecte al funcionament de l'atracció, aquesta està destinada al descens de la persona sense ajudes d'elements lliscants com flotadors. Aquest funcionament, juntament amb les dimensions el classifica com a tipus 4 segons la Taula 1, de manera que el descens el completaran els usuaris de manera individual.

El tobogan està fabricat mitjançant plàstic reforçat amb fibra de vidre, sent el material més utilitzat dins el camp de les atraccions aquàtiques per les seves bones propietats envers la corrosió, la seva lleugeresa, i la capacitat de modelar-lo per fabricar diferents formes.

2.4.3 Peces del tobogan

El muntatge del tobogan es duu a terme mitjançant l'assemblatge de 24 peces, cadascuna de les quals té una longitud de 4 metres, i una altura de 75 cm. El tret distintiu entre elles serà la curvatura que tindran, o bé si incorporen mur. A la Figura 7 es mostra una peça general del tobogan.

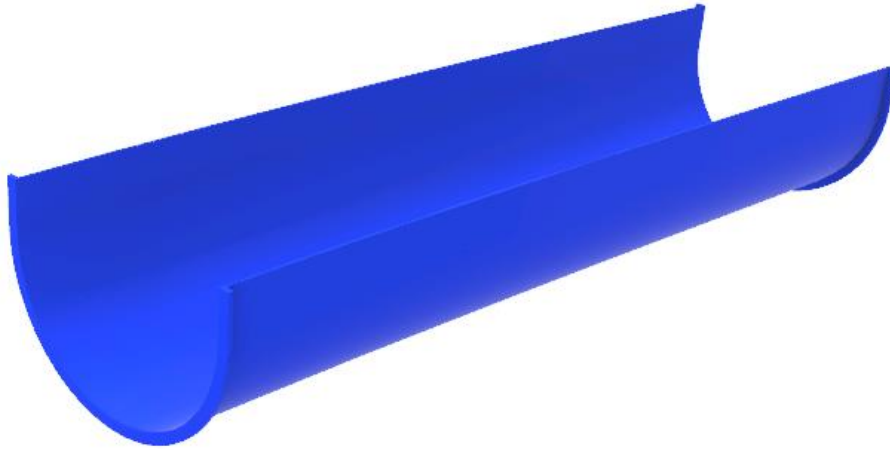


Figura 7. Peça individual de la qual es forma el tobogan. Font: *Pròpia*.

L'assemblatge de peces permet que aquestes puguin ser fabricades en sèrie a partir d'una parametrització, mentre que les dimensions comentades permeten que els transports entre fàbrica i punt de muntatge sigui més senzill i econòmic.

Totes les peces incorporen una petita extensió lateral de 5 cm de longitud i 1 cm de gruix, les quals encaixen amb les extensions de les peces adjacents, i disposen de 7 forats al llarg de la seva secció (Figura 8), on s'introduiran els cargols que permetran garantir la unió entre peces.

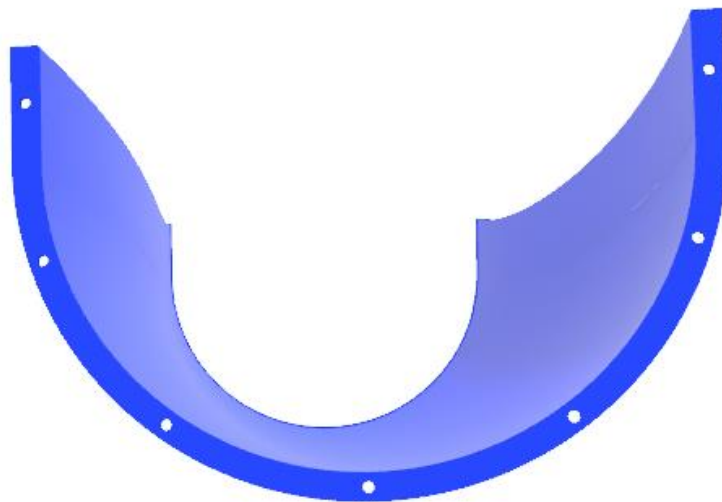


Figura 8. Distribució dels forats on es col·loquen els cargols. Font: *Pròpia*.

A diferència d'altres estructures com naus industrials, els tobogans aquàtics no reben esforços continus de gran magnitud, ja que una persona en moviment per l'atracció mai provocarà un esforç superior al d'una biga de formigó, així com tampoc ho faran les peces de plàstic reforçat amb fibra de vidre. En conseqüència, les unions entre peces no seran punts amb grans sol·licitacions.

El tipus de cargols usats són d'alta resistència (*HeavyDutyBolts*), usats en situacions on es vol proporcionar una gran capacitat d'ancoratge entre dos elements, a més de ser una instal·lació que es duu a terme de manera fàcil i senzilla. A més, aquests cargols no requereixen un forat sobredimensionat en la seva instal·lació.

Concretament s'usaran cargols d'alta resistència de la casa *BlindBolt*, sèrie *Geomet 500B* (Figura 9), els quals estan fets d'acer inoxidable per tal d'evitar que la corrosió produïda per l'ambient humit on es troba pugui trencar el cargol i posar en perill l'estanqueïtat i la fiabilitat de la unió.



Figura 9. Cargol d'alta resistència *Geomet 500B*. Font: *BlindBolt*.

La mètrica del cargol determinarà la seva resistència a tracció, tallant i als moments en els 3 eixos. A la Taula 6 es mostren els esforços corresponents a la unió més sol·licitada, amb la nomenclatura E_d , i les càrregues que és capaç de suportar un sol cargol (E_m) de mètrica M8 i longitud 45 mm (M8x45).

Taula 6. Càrregues pertanyents a la unió més sol·licitada i càrregues màximes del cargol. Font: *Pròpia*.

	N_x (kN)	V_z (kN)	V_y (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)	T_x (kNm)
E_d	16,7	6,3	3,1	11,1	20,9	0,0
E_m	10,5	12,9	12,9	3,5	3,5	5,7

Com es pot determinar a partir de la Taula 6, es necessitaran 6 cargols per tal poder suportar el moment produït en l'eix Z. El setè forat addicional té la funció de proporcionar més estanqueïtat a la unió, a més de ser un cargol de seguretat en cas que es detectés que n'hi ha un que pot fallar.

Les peces que incorporin murs de seguretat, com la de la Figura 10, tindran tres forats addicionals en la zona superior. En aquestes peces, els esforços presents en les seves unions seran suportats per deu cargols en comptes de set, de manera que hi ha més marge de seguretat en cas que falli més d'un cargol.

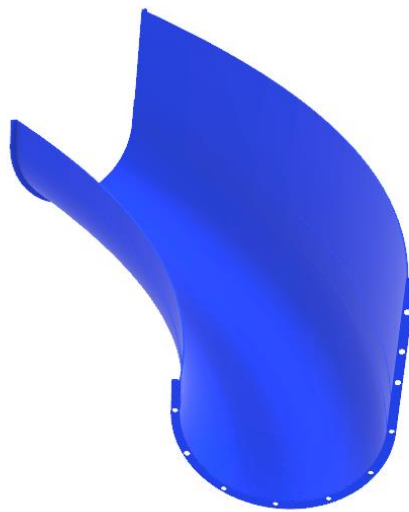


Figura 10. Distribució dels cargols en una peça amb mur. Font: Pròpia.

2.4.4 Secció transversal

La secció del tobogan és probablement el paràmetre de disseny més important, ja que determina si el descens de l'atracció es duu a terme amb flotadors o sense flotadors, o bé si el recorregut és a aire obert o cobert, entre altres paràmetres relacionats amb la física, com el pes o el cabal d'aigua.

El diàmetre del tobogan és de 110 cm, suficient perquè els usuaris se sentin còmodes durant el recorregut, evitant la sensació d'estar estret. A més, la secció del tobogan incorpora parets laterals de 20 cm per donar més estanqueïtat a l'atracció, juntament amb les vores arrodonides de 5 cm de radi.

A la Figura 11 es mostra la secció transversal del tobogan, amb les cotes que descriuen les dimensions d'aquesta.

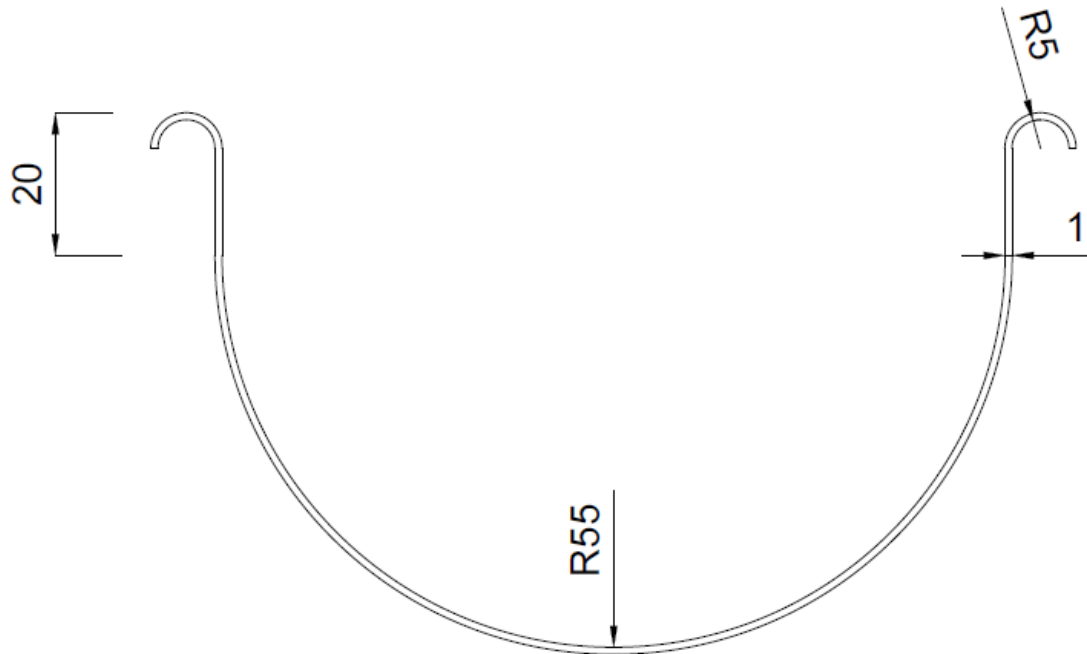


Figura 11. Secció del tobogan aquàtic, juntament amb les cotes descriptives. Font: *Pròpia*.

2.4.5 Piscina de recepció

La piscina de recepció o descàrrega es troba a la part final del tobogan aquàtic, i té la funció d'esmoreir la velocitat dels usuaris. Aquesta tindrà unes dimensions de 6 metres d'amplada i 8 metres de longitud, amb una profunditat d'1,1 metres, profunditat que permet que els usuaris toquin de peus a terra, i puguin caminar amb facilitat cap a les escales de sortida.

A l'annex de seguretat es detallen les característiques normatives que defineixen les dimensions de la piscina, així com els elements de seguretat que incorporen. A la Figura 12 es mostra una representació 3D de la piscina, amb la ubicació de les escales a ambdós costats.

En aquest projecte no consten càlculs ni preus relacionats amb la piscina.



Figura 12. Piscina de descàrrega del tobogan aquàtic. Font: *Pròpia*.

2.4.6 Escales metàl·liques

Les escales permeten als usuaris pujar fins a la zona de sortida, i estan fabricades mitjançant acer galvanitzat per tal d'augmentar la resistència a corrosió provocada per l'aigua que transporten els propis usuaris en pujar. Els escalons seran reixats per tal que aquesta aigua pugui caure i no es formin basses en els escalons que puguin provocar caigudes per lliscament.

Aquest projecte no inclou el càlcul estructural de l'escala, però sí que es detalla en el corresponent apartat de l'annex les condicions que ha de complir l'escala, tant referent a les dimensions mínimes i màximes dels escalons i replans, com les càrregues que han de suportar, passant per les mides de les baranes. Tampoc es comptabilitzarà el preu d'aquesta, ja que no es té suficient informació de les dimensions dels pilars i barres horitzontals que formarien el tobogan, a causa de la manca de càlculs.

A la Figura 13 es visualitza el model 3D de les escales necessàries per pujar a la zona de sortida del tobogan aquàtic. L'escala que es mostra és una representació fidel de la qual s'instal·laria, complint amb el nombre d'escalons màxims per tram.



Figura 13. Model 3D de les escales del tobogan aquàtic. Font: *Pròpia*.

2.5 Descripció de l'estructura

L'estructura metàl·lica està formada per columnes cilíndriques aïllades, on cadascuna incorpora una sèrie de barres rectangulars connectades a la unió entre els diferents segments del tobogan, formant una estructura semblant a un arbre. Aquestes barres són susceptibles a tenir fletxes massa altes, de manera que per tal de donar-les-hi rigidesa, s'usaran tornapunts soldats a les barres per un extrem, i a la columna per un altre.

Aquests elements estaran fabricats mitjançant acer galvanitzat, material resistent a fenòmens com la corrosió i l'oxidació, causats per la fuga d'aigua a través de les juntes d'unió de les diferents peces dels tobogans.

A la Figura 14 es mostren les parts estructurals de les quals es compon l'atracció.

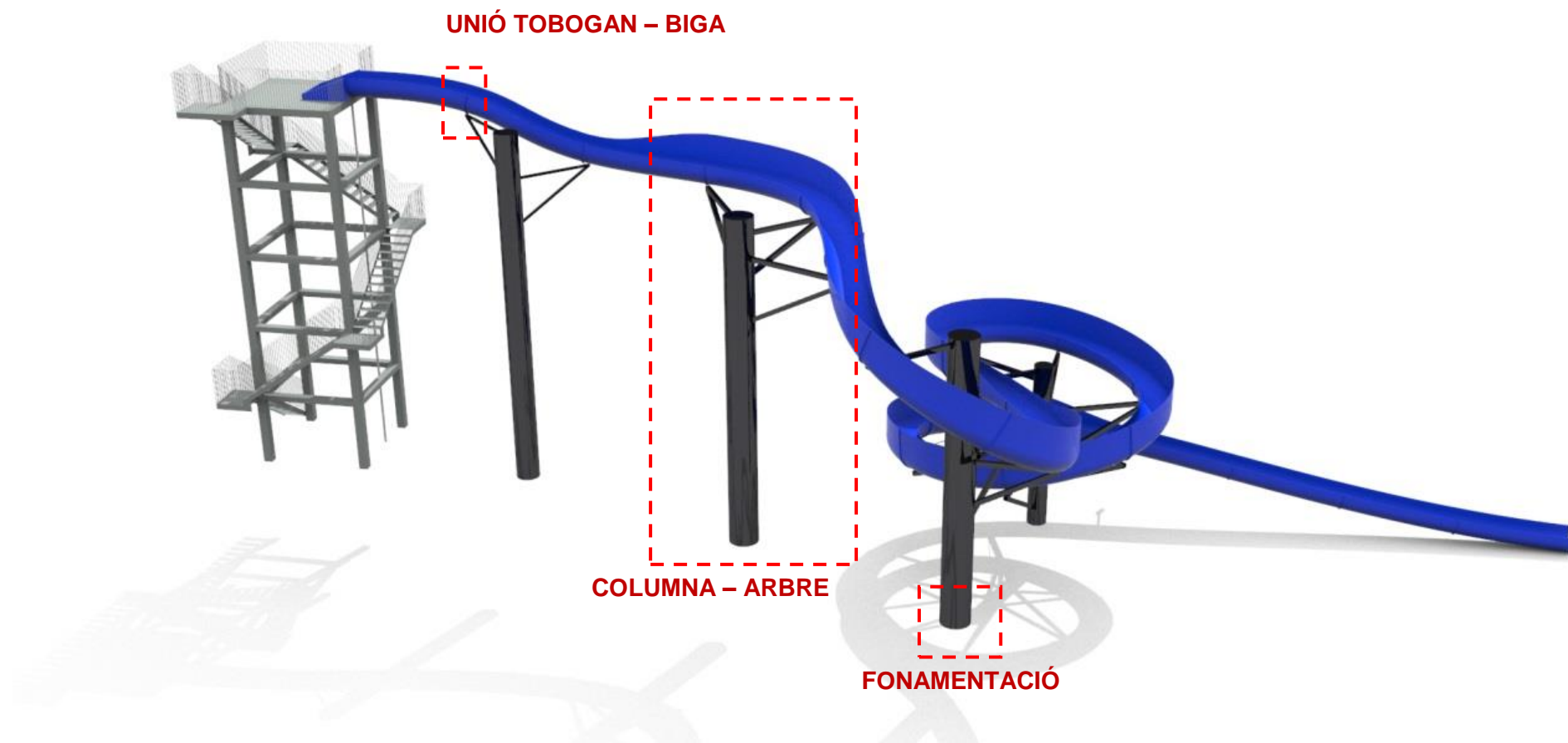


Figura 14. Parts estructurals del tobogan aquàtic. Font: Pròpia.

2.5.1 Columnes – arbre

Amb aquesta estructura en forma d'arbre s'aconsegueix reduir el nombre de columnes presents en l'estructura, ja que en cas d'ubicar un conjunt barra – columna en cada unió entre dues peces del tobogan, el nombre de columnes augmentaria considerablement.

Les columnes de l'estructura estan fabricades mitjançant acer del tipus S275, i tenen dimensions diferents segons la posició on es troben en el tobogan. Tot i això, totes les columnes són circulars i tubulars, dues propietats que comporten un millor comportament en situacions de vinclament i vinclament, i una reducció de pes, i consegüentment una reducció de cost, respectivament.

A la Figura 15 es mostra l'element tipus de columna circular usat en l'estructura de suport del tobogan.



Figura 15. Tubs estructurals circulars. Font: *Mercadolibre*.

Per altra banda, a la Figura 16 es mostra la secció tipus de les columnes circulars, determinant les cotes del diàmetre (\varnothing) i el gruix de la paret (t). L'altura i la posició de la columna en el terreny es defineix en els plànols.

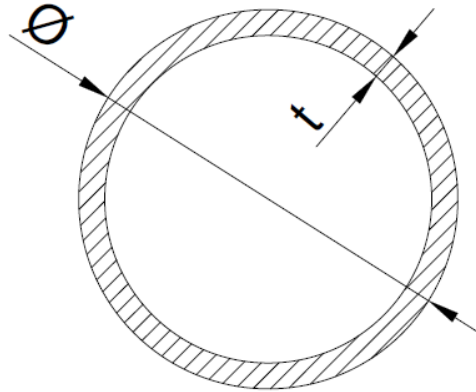


Figura 16. Secció tipus dels pilars o columnes circulars de l'estructura metàl·lica. Font: *Pròpia*.

Com que hi ha pilars que tenen la mateixa secció, es proposa nomenar les seccions segons un codi, tal com es mostra a la Taula 7, juntament amb el valor del diàmetre i del gruix. Els valors d'aquesta taula corresponen a les dimensions comercials que proporciona l'empresa *CDL (Comercial de Laminados)*, ja que, resulta més barat comprar un perfil proporcionat per l'empresa respecte demanar un perfil a mida.

Taula 7. Seccions de les columnes circulars. Font: *Pròpia*.

Secció	Ø (mm)	t (mm)	Pes (kg/m)
P1	813,0	16	314,00
P2	1016,0	16	395,00
P3	711,0	10	173,00
P4	219,1	5	26,40

Les bigues presents en l'estructura són elements disposats horitzontalment, els quals estan soldats a la columna, i la seva estabilitat estarà garantida per un tornapunta a la seva part inferior. Aquestes serviran de suport per la unió metàl·lica que permetrà recolzar el tobogan sobre elles.

La secció de les bigues serà quadrada i tubular. Com s'ha comentat anteriorment, els perfils tubulars són més lleugers, econòmics i esvelts que els massissos, mentre que el fet que tinguin una geometria quadrada en comptes de rectangular rau en el fet que d'aquesta manera, la barra té la mateixa rigidesa i resistència en qualsevol direcció que s'apliqui la força.

A la Figura 17 es mostra l'element tipus de la barra horitzontal usada en l'estructura de suport del tobogan.



Figura 17. Bigues quadrades tubulars usades en l'estructura metàl·lica. Font: *Ipacaceros*.

Per altra banda, a la Figura 18 es mostra la secció tipus de les barres horitzontals, determinant la cota del costat (a) i el gruix de la paret (t). L'altura i la posició de la barra en la columna s'especifica en els plànols.

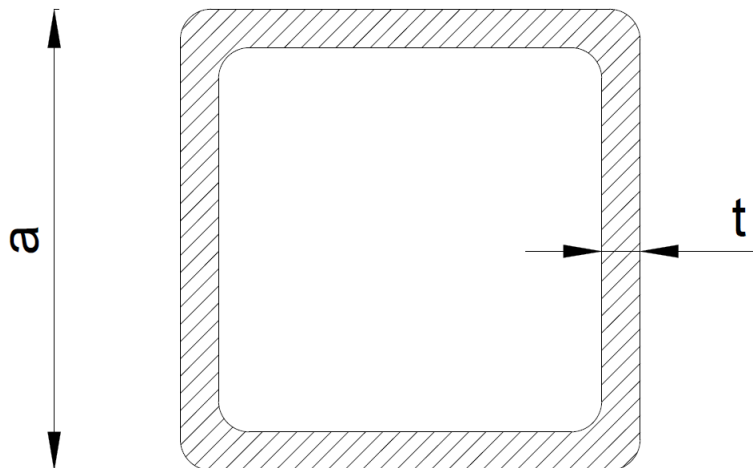


Figura 18. Secció tipus de les barres horitzontals. Font: *Pròpia*.

Tal com succeeix amb les columnes, les bigues poden tenir perfils de dimensions diferents segons la posició on es trobin del tobogan. Per tant, s'ha creat un codi per identificar les bigues i les seves respectives dimensions, conjunt que es detalla a la Taula 8.

Taula 8. Seccions de les bigues horitzontals. Font: *Pròpia*.

Secció	a (mm)	t (mm)	Pes (kg/m)
B1	80	6	13,20
B2	150	8	33,90
B3	150	10	41,30

Les bigues horitzontals són proporcionades per l'empresa *CDL*, igual que les columnes metàl·liques. En aquest cas, els perfils usats per a les barres si es fabriquen a l'empresa mencionada, i per tant, no cal usar perfils diferents. Posteriorment als plànols, s'indicarà la secció de cada biga del tobogan, utilitzant un esquema com el de la Figura 18.

Els tornapunts són elements que tenen la funció de proporcionar rigidesa a les bigues horitzontals, actuant en conjunt com un sistema de travat, que redueix la fletxa i el vinclament de la barra horitzontal.

L'angle entre la biga horitzontal i el tornapunta ha d'estar dins un rang de 30 a 60° per tal que aquest últim element absorbeix part de les càrregues axials. Un angle menor no aprofitaria tota la capacitat del tornapunta, o bé causaria forces molt elevades. Per a l'estructura del present projecte s'ha escollit un angle de 30°, sent el mínim acceptable, per tal que el cantell entre biga i tornapunta sigui el mínim possible també, i en conseqüència, la longitud del tornapunta serà menor.

Els perfils metàl·lics dels tornapunts seran els mateixos que els de les bigues horitzontals, ja que són perfils fàcilment soldables entre ells, juntament amb el fet de tenir un bon comportament estructural en situacions de compressió. Per altra banda, des del punt de vista estètic no impacta veure perfils de dimensions molt diferenciades.

Des del punt de vista del muntatge, el fet d'usar el mínim de barres diferents evita confusions i instal·lacions incorrectes. Per tant, a la Figura 17 es mostra el tipus de barra usada per al tornapunta, i en la Figura 18 la seva secció tipus.

Tal com succeeix amb les bigues horitzontals, els tornapunts poden tenir perfils de dimensions diferents segons la posició on es trobin del tobogan. Per tant, s'ha creat un codi per identificar els tornapunts i les seves respectives dimensions, com es detalla a la Taula 9.

Taula 9. Seccions dels tornapunts. Font: *Pròpia*.

Secció	a (mm)	t (mm)	Pes (kg/m)
TP1	80	6	13,20
TP2	150	8	33,90
TP3	150	10	41,30

El conjunt biga – tornapunta en un punt determinat del tobogan tindran el mateix perfil, és a dir, si la barra horitzontal té unes dimensions de 150x150x8, el tornapunta també tindrà aquestes mesures. El motiu de conservar el mateix perfil és per una part un tema estètic, i per altra, per tal que el tornapunta tingui prou robustesa com per a suportar la biga horitzontal.

La unió entre els diferents elements que formen part de les columnes – arbre, s'usarà el procediment de soldadura, la qual es realitzarà en obra per evitar els alts costos de transport que implicaria transportar una columna d'arbre sencera, la qual superaria l'alçada màxima estàndard permesa, amb l'obligació addicional de demanar transport especial.

2.5.2 Unions tobogan – biga

El suport del tobogan sobre les bigues horitzontals es realitza mitjançant una unió consistent de tres elements: una platina, un tub cilíndric i una placa semicircular, sent tots fabricats amb acer galvanitzat, per evitar l'oxidació provocada per la pèrdua d'aigua en la junta entre peces. A la Figura 19 es mostra la unió en el context de la columna –arbre.

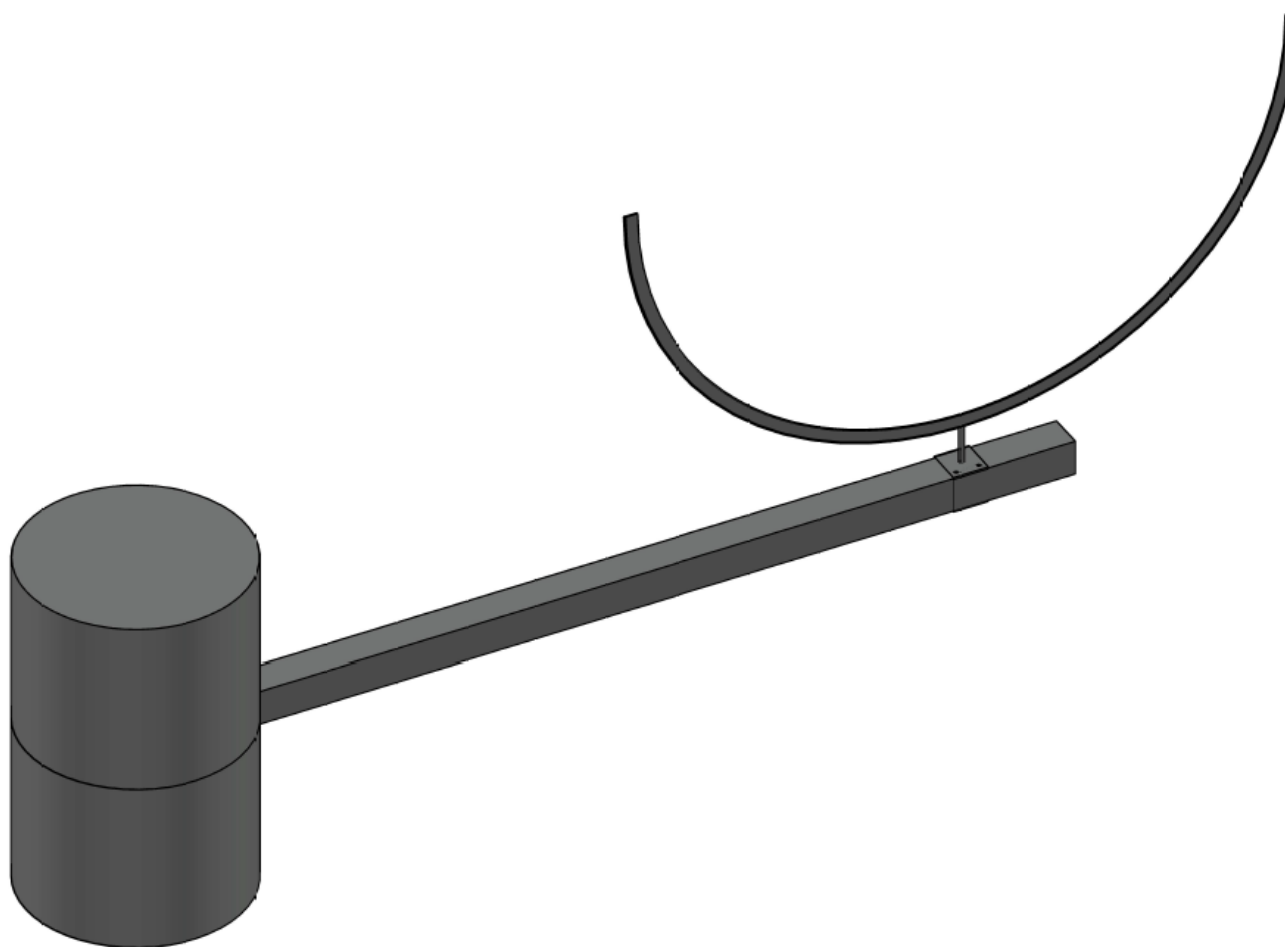


Figura 19. Visualització de la unió en l'estructura columna – arbre. Font: *Pròpia*.

La platina actua com a suport del tub cilíndric, té forma de 'U' per tal d'unir-la en la barra horitzontal, i es cargola per la seva part superior i inferior per tal de subjectar-la completament. A la part superior de la platina es situa un tub cilíndric, la funció del qual serà unir la platina i la placa semicircular. A la Figura 20 es mostra un esquema de la platina, juntament amb el tub cilíndric.

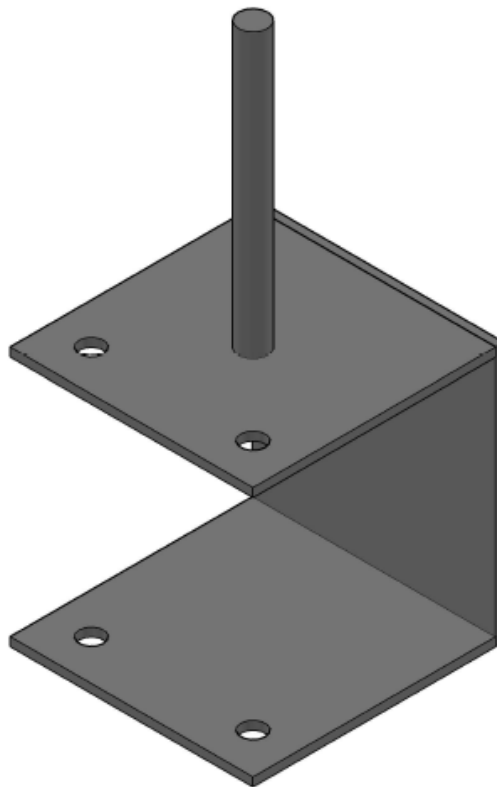


Figura 20. Platina usada per subjectar la unió entre barra i tobogan. Font: *Pròpia*.

Aquesta platina es forma a partir de 3 plaques individuals soldades entre si, les dimensions de les quals depenen de les de la barra on està subjectada, mentre que el gruix és de 2 mm. Respecte al tub cilíndric, té unes dimensions estàndards, amb un diàmetre de 7 mm i una longitud de 70 mm.

Per altra banda, la placa semicircular se subjecta mitjançant cargols a l'extensió lateral de les peces del tobogan, per una de les dues cares. Aquesta placa es mostra a la Figura 21, juntament amb el tub cilíndric, element encarregat de connectar la platina i la placa.

Aquesta placa semicircular està soldada a una altra placa adjacent, la qual actua com a superfície per unir la primera placa amb el tub cilíndric. En el detall de la Figura 21 es mostra la unió entre les dues plaques semicircular que s'han comentat.

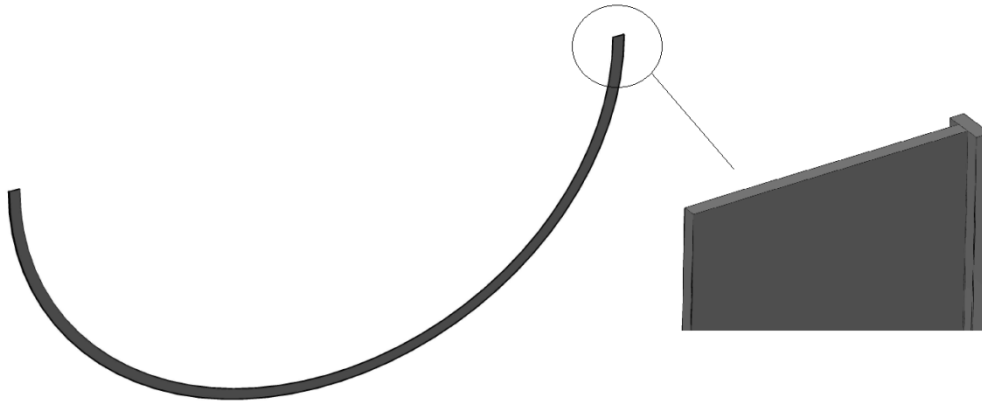


Figura 21. Semicercle metàl·lic usat per subjectar-se al tobogan. Font: *Pròpia*.

La placa semicircular que se subjecta el tobogan té un gruix d'1 mm, una amplada de 20 mm, i un diàmetre exterior de 1100 mm, sent el mateix valor que el diàmetre del tobogan. Per altra banda, la placa semicircular que s'uneix al tub cilíndric té un gruix d'1 mm, una amplada de 3 mm i un diàmetre exterior de 1100 mm.

A la Figura 22 es mostra una imatge general de la unió.

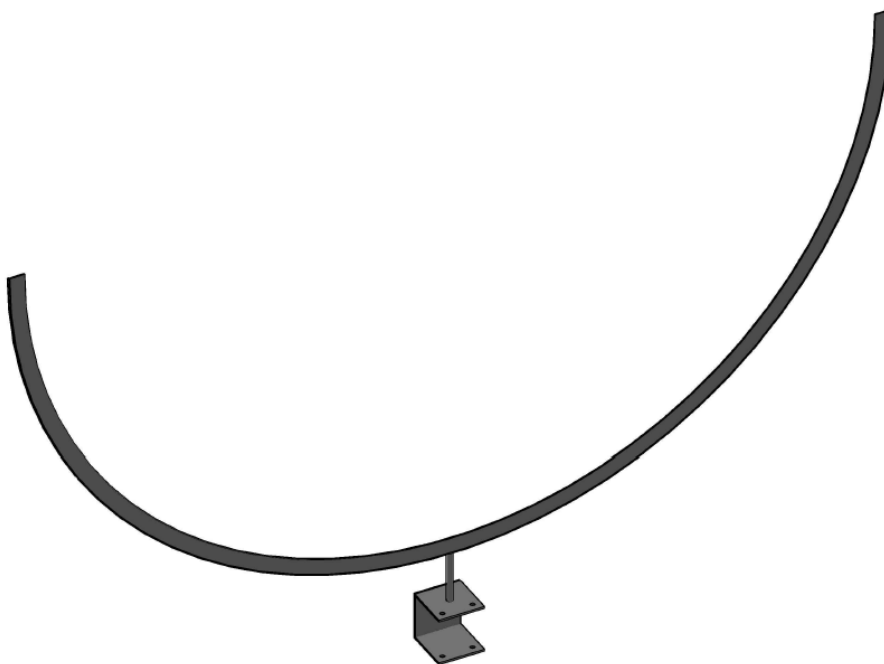


Figura 22. Unió usada per unir el tobogan i la barra. Font: *Pròpia*.

2.5.3 Fonamentació

Els fonaments del tobogan aquàtic seran els encarregats de transmetre les forces provinents de l'estructura metàl·lica al terreny. S'usaran sabates aïllades quadrades, ja que la distància mínima entre columnes és de 6 metres, i el cost de la riostra seria superior al de la sabata aïllada.

Les sabates seran rígides i es realitzaran in-situ a l'obra mitjançant formigó armat HA-25, mentre que l'armadura, formada per barres d'acer, serà d'acer B500S. A la Taula 10 es mostren les característiques de cadascuna de les sabates, expressant l'armadura amb el nombre de barres i el seu diàmetre en mm.

Taula 10. Característiques de les sabates rígides de l'atracció. Font: *Pròpia*.

Sabata	A (m)	B (m)	h (m)	Armadura*
1	1,20	1,20	0,30	7Ø10 mm
2	1,50	1,50	0,30	6Ø12 mm
3	1,80	1,80	0,30	8Ø12 mm
4	2,20	2,20	0,30	5Ø16 mm
5	1,20	1,20	0,30	7Ø10 mm

* Es posa la mateixa armadura per a cada costat de la sabata.

La base superior de la sabata es trobarà a nivell de terra per dos motius: primerament i el més important, amb aquesta ubicació es podrà controlar l'oxidació dels cargols de la unió entre la columna i la sabata, ja que si es trobés enterrada, no hi hauria control possible sense moviment de terres; i segonament, amb efecte directe del primer motiu, la sabata no haurà de suportar el pes de la terra sobre seu.

A la Figura 23 es mostra una visualització 3D de la sabata amb les cotes que la defineixen segons la Taula 10. Al dibuix també es mostra part de la columna per tal de posar en context com treballen sabata i pilar conjuntament. La unió entre ambdós es descriurà a continuació, mentre que en els plànols es mostren els detalls.

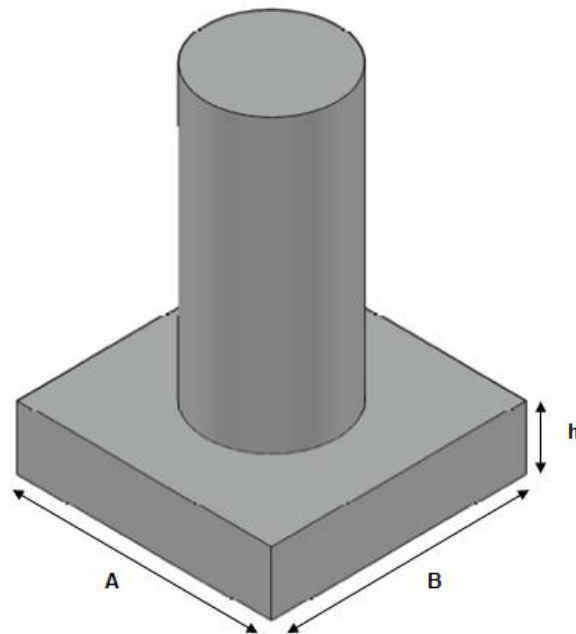


Figura 23. Visualització de la sabata acotada, juntament amb la columna. Font: *Pròpia*.

La unió entre la columna i la sabata es durà a terme mitjançant una placa rectangular d'espessor 15 mm, la qual estarà soldada a la part inferior de la columna. Aquesta placa s'ubicarà sobre el formigó, amb una capa de morter expansiu per tal d'anivellar les irregularitats causades per la fabricació in situ en la superfície de la sabata.

S'usaran perns d'ancoratge (*anchor bolt*) per tal de fixar la placa al formigó, ja que aquests quedaran adherits a la sabata en el moment de formigonar. A la Figura 24 es mostra el tipus de pern d'ancoratge usat en el present projecte, ja que és un tipus de cargol especialitzat en unions on intervé el formigó, a més de ser de fàcil instal·lació.



Figura 24. Pern d'ancoratge usat en la unió columna – sabata. Font: *Hilti*.

2.6 Descripció de la instal·lació hidràulica

La instal·lació hidràulica és la part de l'atracció encarregada de transportar l'aigua des de la piscina de descàrrega fins a la plataforma de sortida. L'element més important d'aquest circuit és la bomba d'aigua, la qual té la funció d'aspirar l'aigua provinent de la piscina, i impulsar-la fins a l'inici del tobogan.

Aquest transport d'aigua es durà a terme mitjançant canonades de polietilè, el qual és un material més flexible que el PVC, de manera que els colzes de la instal·lació podran tenir un cert radi de curvatura que reduirà les pèrdues de càrrega respecte a un colze de 90°. A més, en ser la unió entre elements mecànica, la instal·lació és més senzilla.

El circuit hidràulic encarregat de transportar l'aigua es mostra a la Figura 25.

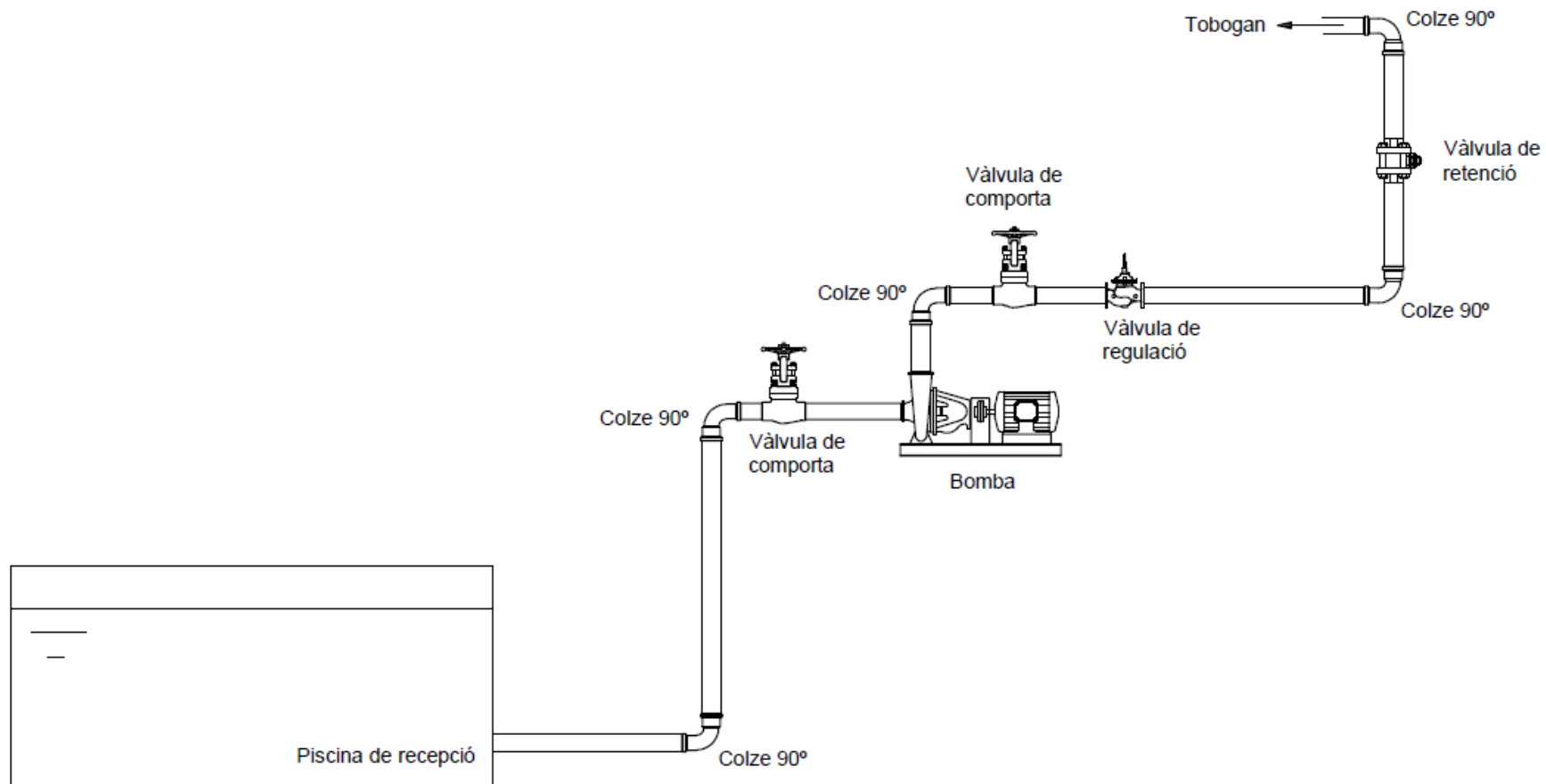


Figura 25. Esquema de la instal·lació hidràulica. Font: Pròpia.

2.6.1 Bomba d'aigua

La bomba d'aigua seleccionada és específica per al seu ús en parcs aquàtics, i més concretament, per a tobogans aquàtics. Aquesta bomba serà del tipus centrífuga horitzontal, mitjançant una aspiració axial, i serà proporcionada per l'empresa *Bombas PSH*, i en més detall, el model AP 80-315/C.

A la Figura 26 es mostra una imatge de la bomba que s'usarà.



Figura 26. Bomba centrífuga específica per a tobogans aquàtics. Font: *Bombas PSH*.

Per altra banda, a la Figura 27 es mostra un esquema de les dimensions característiques de la bomba, posant especial interès en els diàmetres nominals d'aquesta, ja que són els que regulen les pèrdues de càrrega respecte a la canonada.

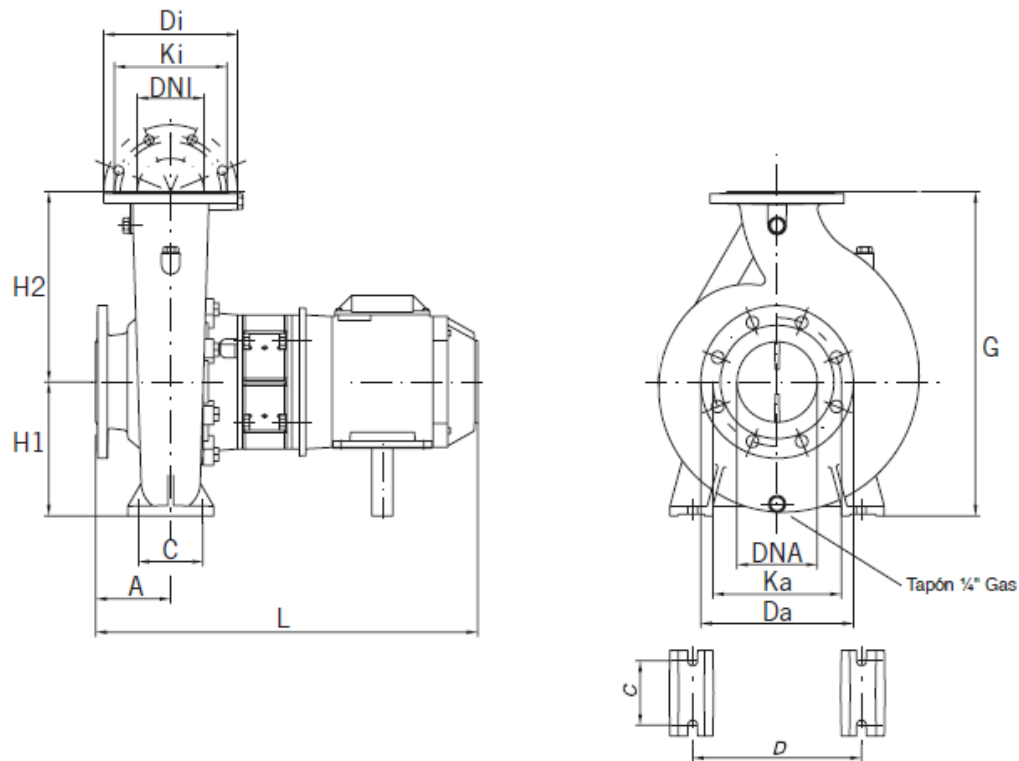


Figura 27. Esquema de les dimensions de la bomba. Font: *Bombas PSH*.

A la Taula 11 es detalla el valor de les dimensions de la Figura 27.

Taula 11. Valors de les dimensions geomètriques de la bomba. Font: *Bombas PSH*.

DNA	DNI	A	L	G	H1	H2	C	D
100	80	125	917	565	250	315	120	315
Dimensions en mm.								

La bomba està fabricada mitjançant ferro colat, amb l'aplicació addicional del tractament anomenat cataforesis, que es basa en un procés de pintura en immersió que impedeix la formació de l'òxid, ja que la pintura combina químicament amb els àtoms del ferro colat.

Respecte a les característiques de funcionament, la bomba pot arribar a proporcionar fins a 150 m³/h, suficients per cobrir el cabal de 100 m³/h necessaris per al tobogan del present projecte, mentre que l'altura manomètrica màxima és de 27,7 metres. Aquesta té un pes de 200 kg, i treballa amb una potència d'11 kW, amb connexió trifàsica del seu motor elèctric per a tensió 400/690 V.

Amb la finalitat de garantir el funcionament continu i ininterromput de l'atracció aquàtica, el circuit hidràulic es compondrà de dues bombes que treballaran en paral·lel i de manera no simultània. Per tant, en cas d'avaría d'una de les dues bombes, només caldrà desviar el cabal a l'altra bomba per tal d'assegurar que el tobogan continua rebent aigua.

2.6.2 Canonada de PE

Com s'ha comentat anteriorment, la canonada necessària per al transport d'aigua està fabricada a partir de polietilè d'alta densitat, ja que comporta uns avantatges constructius superiors al PVC per a la instal·lació actual. A la Figura 28 es mostra una imatge d'una canonada de PE.



Figura 28. Imatge d'una canonada de polietilè. Font: *Rekalde*.

La canonada d'aspiració té una longitud de 6,3 metres, mentre que la secció del tub té un diàmetre exterior de 250 mm, amb un gruix de 22,7 mm. Per altra banda, la canonada d'impulsió té una longitud de 57 metres, i la secció del tub té un diàmetre exterior de 140 mm i un gruix de 12,7 mm. A la Figura 29 es mostra la secció d'ambdues canonades.

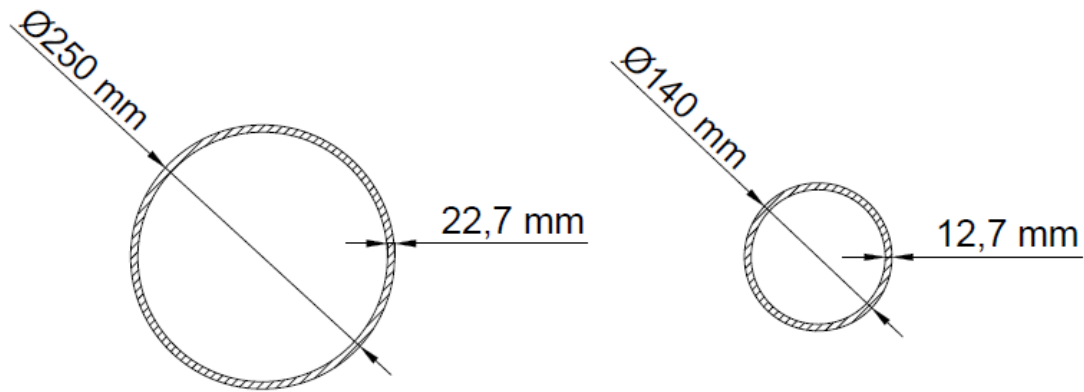


Figura 29. Dimensions de les seccions de les canonades d'aspiració (dreta) i impulsó (esquerra). Font: Pròpia.

Les canonades incorporaran elements anomenats colzes que permeten realitzar girs en el circuit. Més específicament, s'usaran colzes de radi llarg per tal de minimitzar les pèrdues, aprofitant les propietats del polietilè. A la Figura 30 es mostra una imatge del colze utilitzat.

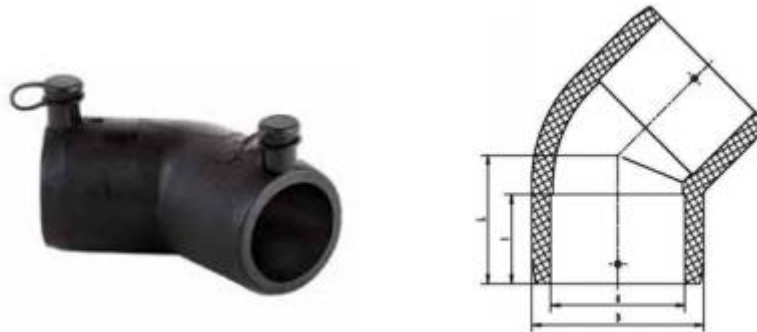


Figura 30. Colze de radi llarg usat en el circuit hidràulic. Font: EGBgroup.

2.6.3 Vàlvula de retenció

La vàlvula de retenció és un dispositiu que es situa a la canonada d'impulsó, i té la funció d'evitar que l'aigua retorni cap a la bomba. A més, quan s'atura el funcionament de l'atracció, aquesta vàlvula es tanca, atrapant l'aigua en aquesta canonada.

A la Figura 31 es mostra la vàlvula de retenció usada en la instal·lació hidràulica del projecte. Aquesta funciona mitjançant una clapeta que impedeix el retorn de l'aigua.



Figura 31. Vàlvula de retenció de PE. Font: *Hidroten*.

La selecció de la vàlvula de retenció es duu a terme a partir del diàmetre de la canonada en la qual es troba, sent en aquest cas la d'impulsió, amb un diàmetre de 140 mm. A la Taula 12 es mostra una adaptació del catàleg de vàlvules de retenció de l'empresa *Hidroten*, de la qual s'escull la vàlvula amb codi 13006 i diàmetre nominal (DN) de 150 mm.

Taula 12. Adaptació del catàleg de vàlvules de retenció. Font: *Hidroten*.

Código	f tubo	Peso (g)	DN
13004	125	1042	110
13005	140	1394	125
13006	160	2000	150
13007	200/225	2890	200

2.6.4 Vàlvula de comporta

La vàlvula de comporta és un dispositiu de la instal·lació que permet tancar el pas de l'aigua a través seu, de manera que pot aïllar determinats parts del circuit. Aquesta vàlvula s'usa en dos casos: el primer, per tancar el pas de l'aigua en el moment d'aturar l'atracció, i el segon, per aïllar la bomba en cas que aquesta tingui un mal funcionament i necessiti ser substituïda.

A la Figura 32 es mostra la vàlvula de comporta usada en la instal·lació hidràulica del projecte.



Figura 32. Vàlvula de comporta. Font: *Genebre*.

La selecció de les vàlvules de comporta depèn del diàmetre de les canonades d'aspiració i impulsió, ja que hi ha aquest tipus de vàlvula en ambdues. A la Taula 13 es mostra la taula de dimensions de les vàlvules, extreta del catàleg de l'empresa *Genebre*, on la columna *DN* indica el diàmetre nominal de la vàlvula de comporta.

Per a la canonada d'aspiració es selecciona la vàlvula amb referència 2102 18, amb un diàmetre nominal de 250 mm, mentre que per a la canonada d'impulsió s'escull la vàlvula de comporta amb referència 2102 14, amb un diàmetre nominal de 150 mm.

Taula 13. Catàleg de vàlvules de comporta. Font: *Genebre*.

Ref	Medida / Size	PN	Dimensiones / Dimensions (mm)										Peso / Weight (Kg)
			DN	H	L	D	D0	D1	D2	b	f	z-d	
2102 09	2"	16	50	240	150	165	180	125	99	19	3	4-19	9,5
2102 10	2 ½"	16	65	270	170	185	200	145	118	19	3	4-19	13
2102 11	3"	16	80	300	180	200	200	160	132	19	3	8-19	15
2102 12	4"	16	100	330	190	220	220	180	156	19	3	8-19	19
2102 13	5"	16	125	375	200	250	250	210	184	19	3	8-19	26
2102 14	6"	16	150	425	210	285	250	240	211	19	3	8-23	35
2102 16	8"	16	200	515	230	340	280	295	266	20	3	12-23	57
2102 18	10"	16	250	600	250	405	320	355	319	22	3	12-28	76
2102 20	12"	16	300	685	270	460	350	410	370	24.5	4	12-28	120

2.6.5 Vàlvula de regulació

La vàlvula de regulació és un dispositiu que, tal com indica el seu nom, permet regular el cabal d'aigua que arriba al tobogan. Aquesta vàlvula s'instal·la en el circuit amb vista a situacions on es necessiti reduir el cabal d'aigua que transcorre per l'atracció, en casos com per treure la neu acumulada.

A la Figura 33 es mostra l'esquema de la vàlvula de regulació usada en la instal·lació hidràulica del projecte, proporcionada per l'empresa *Honeywell*, model VR300.

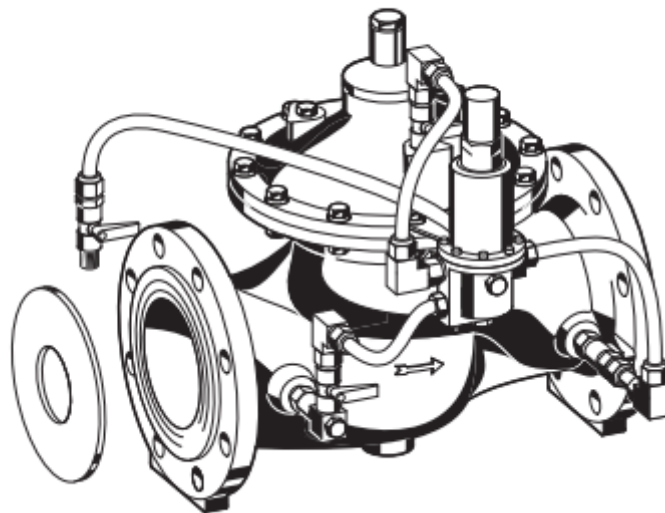


Figura 33. Vàlvula de regulació automàtica. Font: *Honeywell*.

La vàlvula de regulació s'ubica en el tram d'impulsió, i per tant, es selecciona el model que més s'adapti en aquesta canonada, la qual té un diàmetre de 140 mm. A la Taula 14 es mostra els models disponibles de l'empresa *HoneyWell*, classificats pel diàmetre nominal.

Taula 14. Catàleg de vàlvules de regulació. Font: *HoneyWell*.

Tamaño	DN	50	65	80	100	150	200	250	300	350	400	450
Peso	aprox. kg	16	17	26	41	84	161	249	409	514	826	949
Dimensiones	(mm)											
	L	230	292	310	350	480	600	730	850	980	1100	1200
	H	235	294	400	433	558	650	823	944	990	1250	1250
	h	83	93	100	110	143	173	205	230	260	290	310
Caudal (Q_{max}) en m^3/h - $V=5.5$ m/s		40	40	90	160	350	480	970	1400	1900	2500	3150
Valor k_{vs}	m^3/h	43	43	103	167	407	676	1160	1600	1600	3300	3300

El model adequat per a la canonada d'impulsió seria la vàlvula amb diàmetre nominal (DN) de 150 mm. En ser una vàlvula automàtica, la instal·lació i muntatge d'aquesta es durà a terme per part de l'empresa que proporciona la vàlvula.

2.7 Tractament de l'aigua

Els usuaris del tobogan aquàtic estan en contacte constant amb l'aigua, sobretot en el moment final de l'atracció, quan cauen a la piscina de descàrrega. Per tant, la qualitat de l'aigua ha d'estar dins uns límits sanitaris per tal de no comprometre la salut dels usuaris.

El manteniment de l'aigua es duu a terme de dues formes diferents: per un costat, un filtre de sorra s'encarrega d'aturar el pas de fulles i insectes (entre d'altra brossa), mentre que per altra part, a l'aigua que surt del filtre s'hi afegeix una quantitat de clor i sulfurant.

A la Figura 34 es mostra l'esquema unifilar del circuit de tractament de l'aigua, detallant cada element que forma part de la instal·lació, tals com el filtre de sorra i els dipòsits de clor i sulfurant. En el present projecte es detallarà de manera general com funciona el tractament de l'aigua en una atracció aquàtica, però no s'entrarà en detall de càlculs.

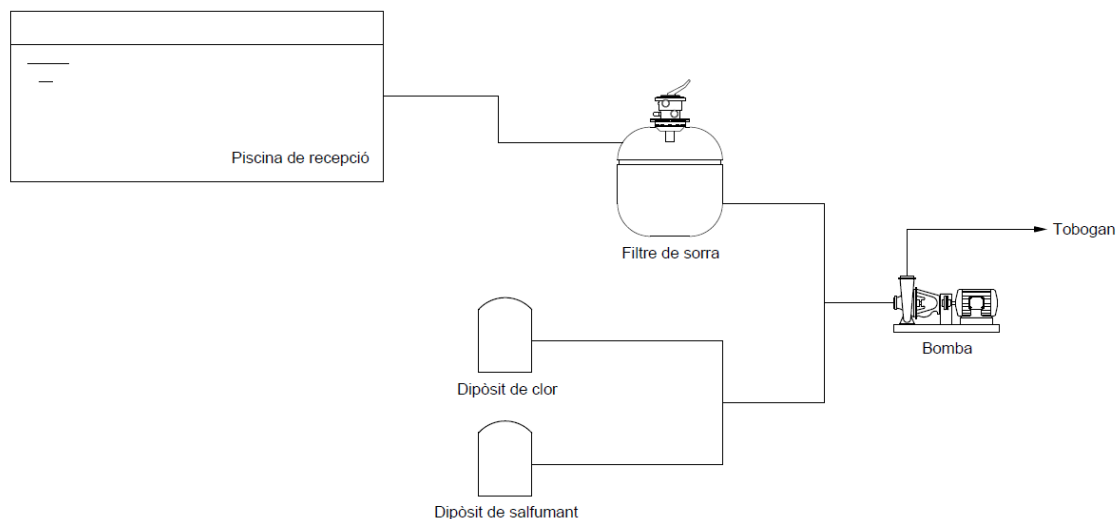


Figura 34. Circuit de tractament de l'aigua. Font: *Pròpia*.

Com es mostra a l'esquema de la Figura 34, el primer pas és tractar l'aigua que prové de la piscina. En aquest recipient hi ha tota mena de brossa com fulles, insectes, cabells i fins i tot talls de pintura que cauen del propi tobogan, elements que individualment no representen una gran quantitat de brutícia, però la seva acumulació pot comportar un embrutiment de l'aigua.

Per tal d'eliminar aquesta brossa s'usa el filtre de sorra (Figura 35), on l'aigua bruta provinent de la piscina entra per la part superior del filtre, i es troba a l'interior d'aquest una sèrie d'espàrrecs de plàstic, els quals s'encarreguen d'impedir el pas de la brossa. L'aigua un cop superat els espàrrecs, surt per la part inferior del filtre i es dirigeix cap a la bomba.



Figura 35. Filtre de sorra usat en parcs aquàtics. Font: Freesea.

La canonada que surt del filtre de sorra i es dirigeix cap a la bomba rep per dos canals diferents un flux continu de clor i sulfurant, els quals provenen del seu dipòsit respectiu. Cadascun d'aquests dos elements compleix una funció diferent per tal de garantir que l'aigua que circula pel tobogan no comporti infeccions o problemes de salut als usuaris.

El clor és un dels elements més comunament usats per tractar l'aigua de les piscines i parcs aquàtics, ja que actua com a agent desinfectant eliminant microorganismes com bacteris que es formen en l'aigua. A més actua com a oxidant, eliminant substàncies orgàniques dissoltes i en suspensió a l'aigua, garantint que aquesta mantingui les seves característiques principals: inodora i insípida.

Concretament, el tipus de clor usat en els parcs aquàtics és l'hipoclorit de sodi, el qual té una concentració del 15% de clor actiu. L'ús de bombes dosificadores (Figura 36) permeten aportar aquest clor després del filtratge, inclús després de l'escalfament de l'aigua, moment en el qual comença a haver-hi pèrdues de concentració.



Figura 36. Bomba dosificadora de clor. Font: *Punto hidráulico*.

El problema del clor està en el moment que entra en contacte amb l'aigua i provoca una reacció que causa un augment del pH en aquest líquid, moment on entra en funcionament el sulfamat o àcid clorhídric, el qual actua com a reductor de pH. A la Figura 37 es mostra un exemple del dipòsit d'àcid clorhídric que s'usa en els parcs aquàtics.



Figura 37. Exemple de tanc d'àcid clorhídric usat. Font: *Protank*.

Mai s'ha de barrejar en el mateix moment el clor i l'àcid clorhídric, ja que la reacció produïda per la barreja d'ambdós elements simultàniament causa el clor gas, mescla molt tòxica pels usuaris. A més, l'àcid clorhídric s'usa en menys quantitat per la toxicitat que pot resultar una alta concentració pels usuaris, tot i aplicar-se en un àmbit obert.

2.8 Representació i visualització del tobogan en 3D

Aquest apartat està dedicat a oferir una visualització de l'estètica del tobogan, juntament amb els diferents elements que en formen part, com l'estructura metàl·lica, la piscina de descàrrega i les escales, a més d'incloure el relleu aproximat del terreny, i les diferents capes com gespa, paviment de formigó i paviment de llamborda.

A la Taula 15 es mostra l'índex de les imatges pertanyents al tobogan aquàtic que es troben en aquest capítol

Taula 15. Índex de les imatges que es mostren en el present capítol. Font: *Pròpia*.

Referència	Descripció
Figura 38	Vista en perspectiva de la totalitat de l'atracció, incloent-hi aspectes externs com el relleu del terreny, la zona de gespa i el camí que condueix a les escales. També es mostra la zona de piscina i les escales, que tot i no ser elements propis del tobogan aquàtic, si són fonamentals pel seu funcionament.
Figura 39	Vista superior de l'atracció aquàtica, incloent –hi els mateixos detalls que la Figura 38.
Figura 40	Vista perspectiva del que seria pròpiament el tobogan aquàtic, amb la inclusió de l'escala (per no deixar la part superior del tobogan penjada), mostrant amb més detall el recorregut, les parets en les corbes i els elements estructurals.



Figura 38. Representació panoràmica del tobogan aquàtic. Font: *Pròpia*.

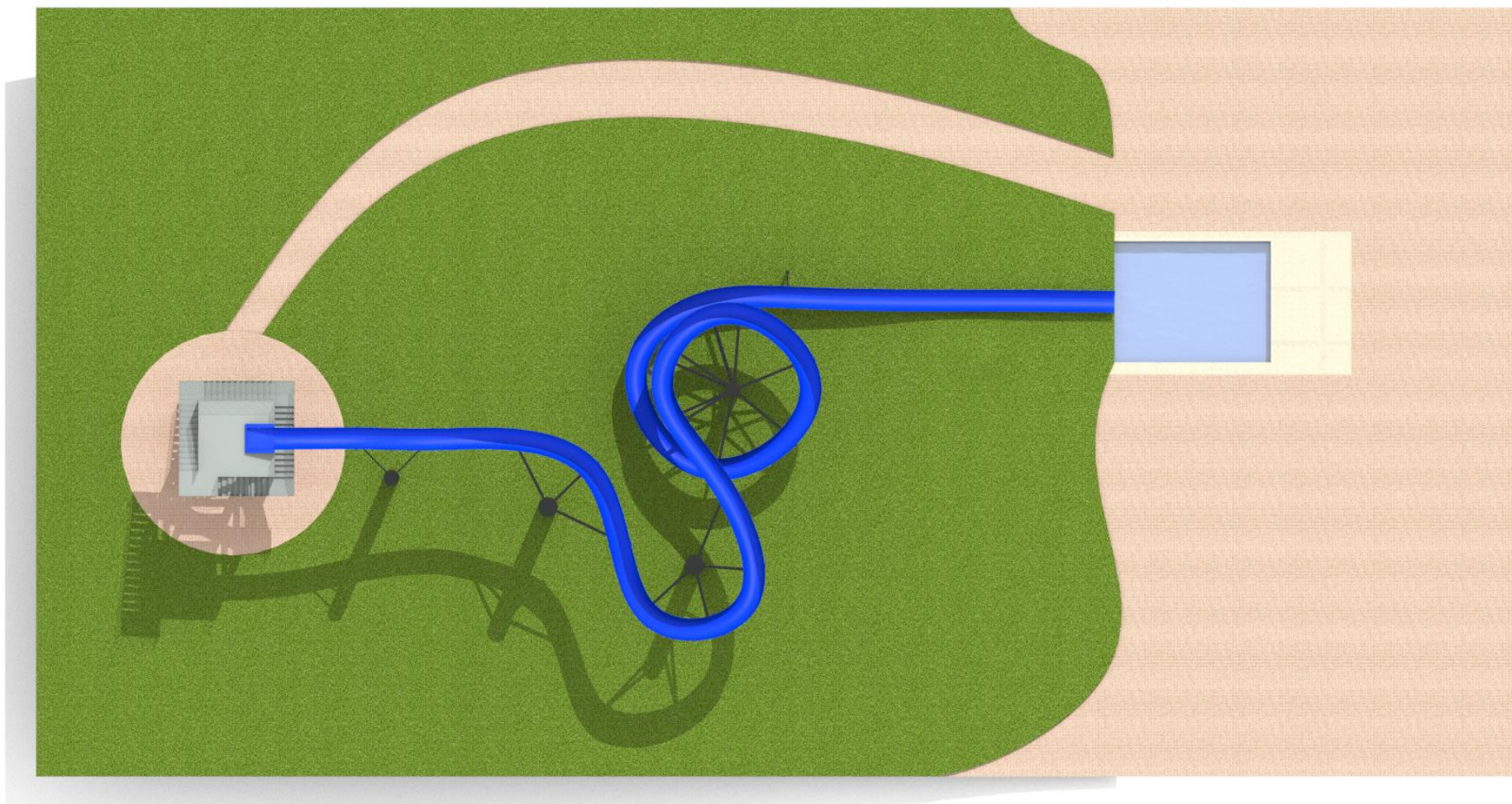


Figura 39. Vista superior del tobogan aquàtic. Font: *Pròpia*.



Figura 40. Visualització de l'estructura del tobogan aquàtic sense l'entorn. Font: *Pròpia*.

3 Resum del pressupost

El pressupost s'ha desglossat per conjunts de partides que participen en el projecte, mostrant el número de capítol relacionat amb els documents *Estat d'amidaments* i *Pressupost*, la descripció del conjunt de partides i el seu preu total.

El resum del pressupost es representa a la

Taula 16. Resum del pressupost. Font: *Pròpia*.

Nº capítol	Descripció	Preu total
2	Condicionament del terreny	75.860,04€
3	Estructura del tobogan	282.688,49€
4	Estructura metàl·lica	103.915,02€
5	Fonamentació	1.752,08€
6	Instal·lació hidràulica i tractament	6.763,27€
7	Mobiliari i elements bàsics	310,00€
8	Mà d'obra	21.293,28€
9	Elaboració i gestió del projecte	38.227,20€
Costos indirectes (14%)		74.313,31€
Pressupost total		605.122,69€

El pressupost total del projecte i obra és de SIS-CENTS MIL CENT VINT-I-DOS EUROS amb SEIXANTA-NOU CÈNTIMS.

4 Conclusions

El procés de disseny i construcció d'un tobogan aquàtic resulta molt més complicat del que pot semblar en un principi, ja que hi ha molts factors que s'han de tenir en compte i molts més que van sortint durant tot el procés. En ser un tema poc recurrent en l'àmbit acadèmic, juntament amb el secretisme que hi ha en el sector i les poques empreses que es dediquen a aquesta activitat, es disposa de poca informació i poc precisa.

Un projecte d'aquestes dimensions es duu a terme per una combinació d'equips especialitzats cadascun en un tema en concret: un equip es dedica al disseny pròpiament del tobogan, com el tipus de tobogan, forma del recorregut, alçada, tipus de corbes, etc.; un altre es dedica a fer un estudi profund i precís de l'estructura metàl·lica necessària; i un altre es pot centrar en la instal·lació hidràulica i el tractament de l'aigua. Tot amb programes digitals especialitzats en atraccions aquàtiques.

El present projecte en canvi, s'ha dut a terme per una sola persona, amb l'ajuda de diversos professors de diferents àmbits, amb software molt genèrics o que senzillament no estan pensats per un projecte d'aquest tipus. El problema estava en dissenyar el programa mitjançant el software *Rhino*, mentre que l'estructura metàl·lica s'havia de calcular amb un programa diferent, aquest cas el *Diamonds*, resolent els problemes que hi havia per passar arxius entre els dos programes.

En un principi, l'idea era crear un tobogan aquàtic amb certes innovacions i en el qual els usuaris baixessin amb flotadors. Aquesta idea es va acabar descartant per motius de temps, ja que es va preferir un recorregut més senzill però on es pogués fer un projecte que englobés com seria el disseny de principi a fi del tobogan. Aquest camí escollit ha suposat no profunditzar tant com es voldria en certs aspectes com l'estudi de les unions entre biga i tobogan, o com es comporta el plàstic reforçat amb fibra de vidre del qual està feta l'atracció.

La normativa UNE-EN-1069, corresponent a atraccions aquàtiques, ha estat de gran ajuda per consultar quines directrius havia de complir una atracció, detallant tota la normativa a seguir, a més d'establir factors com la velocitat màxima, i donar referències de normatives externes, com per exemple la de càlcul de l'estructura.

Tot i això, s'ha pogut crear un projecte que en general, especifica i detalla tots els aspectes que formen part d'una atracció aquàtica, des dels més estructurals com la pròpia estructura metàl·lica o els fonaments, passant per la instal·lació hidràulica, el disseny de la curvatura del recorregut, fins a arribar a aspectes no tant de càlcul com la normativa de seguretat.

Aspectes com el disseny del tobogan, l'estructura metàl·lica i les unions entre bigues i tobogan s'han extret de parcs aquàtics reals. Tot i no haver inventat res de nou, s'ha observat les diferents atraccions que hi ha instal·lades, i s'ha decidit per optar per les solucions que es veien més factibles. Per posar un exemple, el tobogan del present projecte incorpora una sèrie de girs en el recorregut, mentre que moltes atraccions d'aquest estil són de tram recte. Un altre cas, el de l'estructura metàl·lica, certs parcs opten per usar columnes – arbre, mentre altres fan servir múltiples columnes. Per part meua creia que la solució columna – arbre resultava més eficaç.

5 Relació de documents

Document 1. Memòria i Annexes

Document 2. Plànols

Document 3. Plec de condicions

Document 4. Estat d'amidaments

Document 5. Pressupost

6 Bibliografia

6.1 Pàgines web

Bombas PSH. (s.d.). *Bombas para parques acuáticos*. Recuperat de: <https://www.bombasps.com/es/aquatic-park/catalogo-de-productos/21>

Conmishijos (2018). *Percentil infantil: talla y peso de los niños*. Recuperat de <https://www.conmishijos.com/salud/alimentacion/percentil-infantil-talla-y-peso-de-los-ninos/>

CYPE Ingenieros, S.A. (2019). *Generador de precios. España*. Recuperat de <http://www.generadordeprecios.info>

EGB, S.A. (2016). *Accesorios de polietileno*. Recuperat de: <http://www.egbgroup.com/pdfs/polietileno-tarifas-es.pdf>

Engineering ToolBox. (2005). *Piping Elbows - Thrust Block Forces*. Recuperat de https://www.engineeringtoolbox.com/forces-pipe-bends-d_968.html

FixMySlide. (s.d.). *Water Slide Types*. Recuperat de: <https://fixmyslide.com/water-slide-types>

Harris, T. (s.d.). *How Water Slides Work*. Recuperat de: <https://science.howstuffworks.com/engineering/structural/water-slide.htm>

Henry Venables Products Ltd (2019). *Heavy Duty Bolt*. Recuperat de <https://www.blindbolt.co.uk/heavy-duty-bolt/>

Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. (2019). *BEDEC - Banc ITeC 2019*. Recuperat de <https://metabase.itec.cat/vid/ca/bedec>

Institut Valencià de l'Edificació. (2019). *Base de precios del IVE 2019*. Recuperat de <http://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2019/>

Kramer, M. (Juliol 2013). *The Physics Behind Waterslides*. Recuperat de: <https://news.nationalgeographic.com/news/2013/07/130704-water-slide-water-park-theme-design-engineering-physics/>

McNeel, R. & Associates (Setembre 2015). *Curvature Analysis*. Recuperat de <http://docs.mcneel.com/rhino/5/help/en-us/commands/curvatureanalysis.htm>

McNeel, R. & Associates (Setembre 2015). *Curve and Surface Analysis*. Recuperat de http://docs.mcneel.com/rhino/5/usersguide/en-us/html/ch-09_curveandsurfaceanalysis.htm

National Tank Outlet. (2019). *Chlorine storage tanks*. Recuperat de <https://www.ntotank.com/chlorine-storage-tanks>

Observatori de Treball i Model Productiu. (2018). *Balanç Turístic d'estiu, any 2018*. Recuperat de: <http://observatoritreball.gencat.cat>

Orbital Fasteners Ltd. (2019). *Blind Bolts*. Recuperat de <https://www.orbitalfasteners.co.uk/categories/blind-bolts?page=2>

Orden, D. (Gener 2014). *Clotoide, la curva que vela por tu seguridad en carreteras y ferrocarriles*. Recuperat de <https://cifrasyteclas.com/clotoide-la-curva-que-vela-por-tu-seguridad-en-carreteras-y-ferrocarriles/>

Poolaria. (2019). *Bomba Aral C-1500 hierro fundido*. Recuperat de <https://www.poolaria.com/bombas-piscinas/1453-bomba-aral-c-1500-hierro-fundido>

Protank. (2019). *Hydrochloric acid storage tanks & hcl specifications*. Recuperat de <https://www.protank.com/hydrochloric-acid>

Reyes, B., Humberto, J. (2007). *Estructura de costos de los plásticos reforzados en fibra de vidrio "PRFV"*. Recuperat de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/ingenie/bendezu_r_j/Costo.htm

Salvador Escoda S.A. (2019). *Tarifa de precios de Valvulería*. Recuperat de: https://www.salvadorescoda.com/tarifas/Valvuleria_Agua_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf

Siderurgica Sevillana S.A. (2017). *Acero corrugado*. Recuperat de: https://www.siderurgicasevillana.com/items_RivaFE/430/allegati/4/AceroCorrugado_SiderurgicaSevillana.pdf

Splashtacular. (2018). *Waterslides*. United States.

Svoboda, E. (Juliol 2005). *The Physics of... Waterslides* . Recuperat de: <http://discovermagazine.com/2005/jul/physics-of-waterslides>

Tecnipul S.L. (s.d.). *Composites Technical Characteristics*. Recuperat de: <http://www.tecnipul.com/en/technical-characteristics.php>

Tecnipul S.L. (s.d.). *Technical characteristics of FRP*. Recuperat de <http://www.tecnipul.com/en/technical-characteristics.php>

Tubos y Accesorios REKALDE, S.L. (2008). *Tubo de polietileno alta densidad PE-100*. Recuperat de http://www.rekalde.com/es_tubo_de_polietileno_alta_densidad_pe-100

Valvias. (2013). *Rosca Métrica ISO DIN 13 (M)*. Recuperat de <http://www.valvias.com/prontuario-rosca-metrica.php>

Wallace, D. (Gener 2018). *Price of Galvanized Steel Vs. Stainless Steel*. Recuperat de <https://sciencing.com/about-6711987-price-steel-vs--stainless-steel.html>

Vortex Aquatic Structures International. (2017). *Toboganes acuáticos: La vía rápida a la diversión*. Canadá.

Watergames & More B.V. (2019). *Go h2o Water Slides*. Bleiswijk.

WhiteWater. (2018). *Water slide guide*. Vancouver.

6.2 Llibres

García, A., Morán, F., Arroyo, J. (2011). Jiménez Montoya Hormigón Armado (15a edició). Espanya: Gustavo Gili S.L.

Munson, B., Okiishi, T., Huebsch, W., Rothmayer, A. (2013). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (7a edició). Estats Units: John Wiley & Sons, Inc.

6.3 Normativa nacional

Asociación Española de Normalización y Certificación (2003). *Eurocódigos: Bases de cálculo de estructuras*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización. (2017). *Toboganes acuáticos. Parte 1: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. UNE-EN 1069-1. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización. (2017). *Toboganes acuáticos. Parte 2: Instrucciones*. UNE-EN 1069-2. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2018). *Eurocódigo 1: Acciones generales. Acciones de viento*. Madrid: AENOR.

Código Técnico de la Edificación (2006). *Documento Básico de Seguridad Estructural y Acciones en la Edificación*. Madrid: Ministerio de Vivienda.

Ministerio de Fomento (2008). *Real Decreto 1247/2008. Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)*. Madrid: Ministerio de Fomento.

6.4 Normativa i directrius tècniques

Ajuntament de Torroella de Montgrí. (2000). *Pla d'Ordenació Urbanística Municipal*. Torroella de Montgrí.

Ajuntament de Torroella de Montgrí. (2001). *Revisió del Pla General Municipal d'Ordenació*. Torroella de Montgrí.

Ajuntament de Torroella de Montgrí (s.d.). *Serveis tècnics i urbanisme*. Recuperat de <http://www.torroella-estartit.cat/ca/document-consolidat.html>

Aquatech (s.d.). *Piscinas- Tratamiento del Agua*. Gijón.

ASTM International. (2009). *Standard Practice for Manufacture, Construction, Operation, and Maintenance of Aquatic Play Equipment*. West Conshohocken. Recuperat de: <https://www.astm.org/Standards/>

Aulèstia, P., Corominas, A., Freixa, A., Herrer, M., Martín, O., Pastor, M., Pineda, M. (2006). *Estudi higienicosanitari de les piscines d'ús públic*. Barcelona: Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona.

Currie, R. (2014). *Waterpark Safety Standards*. Orlando: International Association of Amusement Parks and Attractions (IAAPA). Recuperat de: <https://www.iaapa.org/water-park-safety>

Diputació de Barcelona (2007). *Pla de tractament de l'aigua de les piscines*. Barcelona. Recuperat de: <https://www1.diba.cat/liblioteca/pdf/37336.pdf>

Dirección General de Promoción Deportiva. (2008). *Mantenimiento de instalaciones acuáticas*. Madrid. Recuperat de: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM010554.pdf>

Generalitat de Catalunya (2000). *La depuración del agua de las piscinas*. Esplugues de Llobregat.

HydroGroup. (2018). *Basic information for swimming pool water treatment*. Ravensburg. Recuperat de: <https://www.hydrogroup.no/Presseinfomappe>

KSB Aktiengesellschaft (2012). *KSB transforming water into an experience: Pumps, valves and service for water parks*. Henrico. Recuperat de: <https://www.ksb.com/water-park-brochure-data>

Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. (s.d.). *Calidad de las aguas. Piscinas*. Recuperat de <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/piscinas/>

Oklahoma Department of Labor (2012). *Water Related Amusement Ride/Device Inspection Criteria*. Recuperat de: <https://www.ok.gov/odol/documents/WaterParkInspectionGuidelines>

Ortega, A. (2006). *Mantenimiento de instalaciones deportivas, piscinas cubiertas y campos de césped artificial*. Vícar: Junta de Andalucía. Recuperat de: http://www.juntadeandalucia.es/turismocomercioydeporte/documentacion/apuntes/25506/25506_4.pdf

Safe-Wise Consulting. (2011). *Considerations for Water Slide Operations*. Recuperat de: <https://safe-wise.com/downloads/ConsiderationsforWaterSlideOperation.pdf>

S.R. Smith. (2006). *Slide Owners Manual*. Canby: HeliX. Recuperat de: <https://srsmith.com/media/178292/06-756-helix2-owner-manual-0217.pdf>

Washington State Department of Health's. (2015). *Water Park and Water Features Plan Detail*. Recuperat de: <https://www.doh.wa.gov/Documents>

7 Glossari

Tobogan aquàtic: element recreatiu format per un material compost de plàstic reforçat amb fibra de vidre, on les persones llisquen d'un punt a un altre gràcies a l'aigua que circula a través seu.

Pista de lliscament: superfície del tobogan on llisquen les persones.

Plataforma de sortida: zona superior del tobogan on es concentren els usuaris per tal d'iniciar el recorregut.

Piscina de recepció: piscina situada a la part final del tobogan per esmorteir l'arribada dels usuaris, i permetre la seva sortida.

Zona de descàrrega: part final del tobogan on els usuaris cauen a la piscina de recepció.

Mur: barrera de protecció feta del mateix material que el propi tobogan, amb la funció d'evitar la sortida de les persones en els girs.

Pendent: valor que relaciona la distància vertical respecte una distància horitzontal.

Hèlix: part del tobogan on es concentra una sèrie de girs simultanis en la mateixa direcció.

Curvatura: qualitat de la corba associada al canvi de direcció en diversos punts successius de la corba.

Segment del tobogan: peces individuals de longitud 4 metres, que assemblades conformen la pista de lliscament o el propi tobogan.

Tram: cadascuna de les baixades en les quals es divideix el tobogan.

Columna: element vertical i de forma circular, el qual s'encarrega de suportar les barres horitzontals que connecten amb el tobogan.

Pilar: ídem columna.

Tornapunta: biga disposada en diagonal (semblant a un travessany) que proporciona rigidesa a l'element horitzontal al qual està unit.

Piscineta de sortida: petita extensió inicial del tobogan aquàtic on els usuaris poden posicionar-se per tal d'entrar a la pista amb seguretat.

8 Agraïments

Primerament agrair als professors Xavier Cahís i Xavier Espinach per acceptar la proposta de treball que els vaig presentar, juntament amb la seva ajuda per fer servir el software que més s'ajustava al que estava buscant. També agrair l'interès que han posat en aconsellar-me en diferents temes del treball en tot moment.

Agrair també l'ajuda del professor Toni Pujol amb el càlcul de la velocitat dels usuaris; al professor Lino Montoro per l'ajuda en el tema de la instal·lació hidràulica i el tractament de l'aigua; i al professor Lluís Torres per l'ajuda en el camp de la fonamentació.

Per últim, agrair al parc aquàtic Aquadiver, concretament a Bet Tarre i Manel Barragan, per deixar-me visitar al complet les instal·lacions del parc, des de la part externa dels tobogans fins a la sala de màquines, detallant-me tots els components que permeten que funcioni una atracció aquàtica, i el funcionament particular d'aquests, com les bombes o els filtres de sorra.



ANNEX A: CÀLCUL ESTRUCTURAL

A Càlculs estàtics

Els càlculs estàtics de l'estructura metàl·lica que sustenta el tobogan aquàtic es realitzen a partir de les bases de càlcul de la normativa UNE-EN_1990 – 2003. Per altra banda, les accions característiques sobre un tobogan aquàtic, com seria l'acció dels usuaris, s'extreuen de la norma tècnica UNE-EN 1069-1:2017 - 27/12/17.

A.1 Generalitats

Els càlculs estàtics es basen en dos factors: les accions que actuen sobre el tobogan aquàtic i els coeficients que majoren el valor de les càrregues d'aquestes accions. Aquests coeficients s'usen per determinar els diferents casos de càrrega, i es classifiquen en dos tipus: parcials i combinatoris.

A la Taula 17 es mostren els coeficients parcials corresponents a les combinacions d'estats límits últims (ELU).

Taula 17. Coeficients parcials per a combinacions d'estats límits últims. Font: *UNE-EN 1069*.

Accions permanents		Accions variables	
Desfavorable	Favorable	Acció variable principal	Acció secundària
$\gamma_{G,i} = 1,35$	$\gamma_{G,i} = 1,00$	$\gamma_{Q,1} = 1,50$	$\gamma_{Q,i} = 1,50$

A la Taula 18 es mostren els coeficients parcials corresponents a les combinacions d'ús.

Taula 18. Coeficients parcials per a combinacions d'ús. Font: *UNE-EN 1069*.

Accions permanents		Accions variables	
Desfavorable	Favorable	Acció variable principal	Acció secundària
$\gamma_{G,i} = 1,00$	$\gamma_{G,i} = 1,00$	$\gamma_{Q,1} = 1,00$	$\gamma_{Q,i} = 1,00$

A la Taula 19 es mostren els coeficients parcials corresponents a les combinacions d'accions accidentals.

Taula 19. Coeficients parcials per a combinacions accidentals. Font: UNE-EN 1069.

Accions permanents		Accions variables	
Desfavorable	Favorable	Acció variable principal	Acció secundària
$\gamma_{G,i} = 1,00$	$\gamma_{G,i} = 1,00$	$\gamma_{Q,1} = 1,00$	$\gamma_{Q,i} = 1,00$

A la Taula 20 es mostren els coeficients combinatoris per a les accions de neu, vent i temperatura.

Taula 20. Coeficients de combinació d'accions. Font: UNE-EN 1069.

Acció	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Càrregues de neu			
- Zones situades a una altitud > 1000 m sobre el nivell del mar	0,35	0,25	0,1
- Zones situades a una altitud < 1000 m sobre el nivell del mar	0,25	0,1	0
Càrregues de vent	0,30	0,1	0
Variacions de temperatura	0,30	0,25	0

A.2 Pes propi

L'acció del pes propi és aquella produïda pel mateix tobogan, estant relacionada amb el material del qual està fet. Aquesta acció es considera com a càrrega permanent, ja que sempre actua sobre l'estructura metàl·lica.

El pes propi del tobogan aquàtic depèn del material del qual està compost, sent en aquest cas plàstic reforçat amb fibra de vidre. Aquest material té una densitat de 2000 kg/m³.

El tobogan es recolza en diferents punts sobre un pilar metàl·lic o sobre barres metàl·liques unides al pilar mencionat. La càrrega que rep cada pilar està relacionada amb la longitud de tobogan que cobreix, és a dir, si hi ha un tram de 10 metres de tobogan, recolzat en cada extrem per un pilar, cadascun d'aquests rep la càrrega proporcional a la meitat d'aquesta longitud, sent 5 metres.

A la Figura 41 es mostra una representació de la distribució del pes propi.

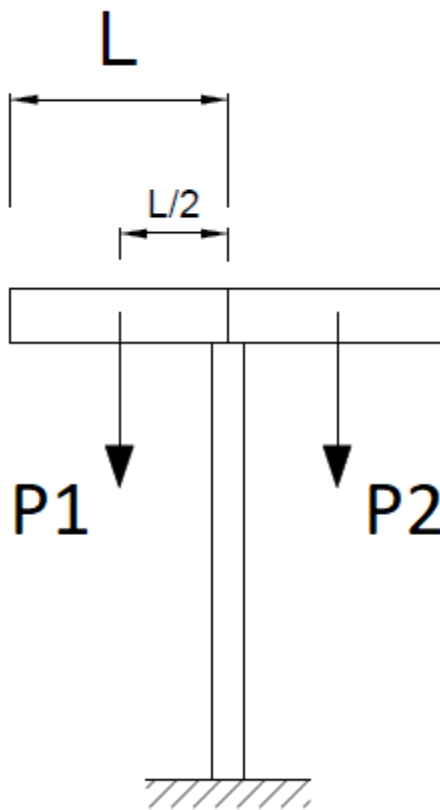


Figura 41. Diagrama del pes del tobogan sobre el pilar. Font: Pròpia.

El càlcul del pes que exerceix el tobogan sobre la columna metàl·lica s'extreu de l'Equació 3.

$$P = \gamma \cdot A \cdot L/2 \quad (\text{Eq. 3})$$

On γ és la densitat del plàstic reforçat amb fibra de vidre en kg/m^3 , A és l'àrea transversal del tobogan en m^2 , i L és la longitud del segment en m.

A partir de la Figura 11 s'extreu que l'àrea transversal del tobogan és de $0,0211 \text{ m}^2$. Per tant, la càrrega del pes propi és una funció que depèn de la longitud de cada peça del tobogan, la qual és de 4 metres.

$$P = \rho \cdot A \cdot L/2 \cdot g = 2000 \cdot 0,0211 \cdot 4/2 \cdot 9,81 = 828 \text{ N}$$

A.3 Acció de l'aigua

L'acció de l'aigua es relaciona amb la quantitat real d'aigua que circula pel tobogan, tenint en consideració la secció transversal i el pendent del tobogan. Pel fet que aquest està format per trams amb diferent pendent, cal realitzar càlculs diferenciats.

L'acció de l'aigua es considera com a càrrega variable de curta duració, ja que només actua en l'època on el parc aquàtic està obert, o bé en dies puntuals on es realitzen proves o manteniments de les atraccions.

L'aigua exerceix una força d'impacte en els girs del tobogan, de la mateixa manera que succeeix en un colze d'una canonada. La direcció de la força resultant en el gir es mostra a la Figura 42, i es descompon en dos components. Ambdues components es calculen a partir de l'Equació 4.

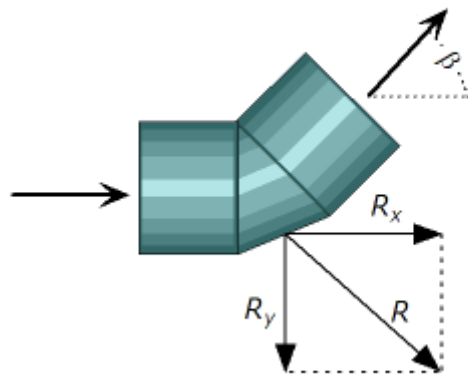


Figura 42. Forces resultants en els girs produïdes per l'aigua. Font: *Engineering Toolbox*.

$$F_y = v^2 \cdot \rho \cdot A \cdot (1 - \sin\alpha)$$

$$F_x = v^2 \cdot \rho \cdot A \cdot (1 - \cos\alpha)$$
(Eq. 4)

On v és la velocitat del fluid; ρ és la densitat de l'aigua, corresponent a 1000 kg/m^3 ; A és l'àrea mullada; i α és l'angle de sortida del gir.

L'àrea mullada depèn del cabal que circula per l'atracció aquàtica, relació que s'expressa mitjançant la fórmula de Manning, la qual es mostra a l'Equació 5.

$$Q = \frac{k}{n} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \quad (\text{Eq. 5})$$

On k és una constant relacionada amb el sistema d'unitats usat, amb valor de la unitat si tractem amb el S.I.; n és el coeficient de rugositat del material del tobogan, sent 0.008 pel FRP; A és l'àrea mullada; R_h és el radi hidràulic; i per últim, S_o , que correspon al pendent de cada tram del tobogan.

El radi hidràulic és la relació entre l'àrea mullada i el perímetre mullat. Quan es refereix al terme *mullat* (Figura 43), significa la zona del canal per on circula l'aigua. A l'Equació 6 es mostra l'expressió de càlcul del radi hidràulic.

$$R_h = A/p \quad (\text{Eq. 6})$$

On A és l'àrea mullada i P el perímetre mullat. Ambdós paràmetres es defineixen a partir de les propietats geomètriques d'un segment circular, representats a la Figura 43. A continuació es mostren les fórmules que els defineixen.

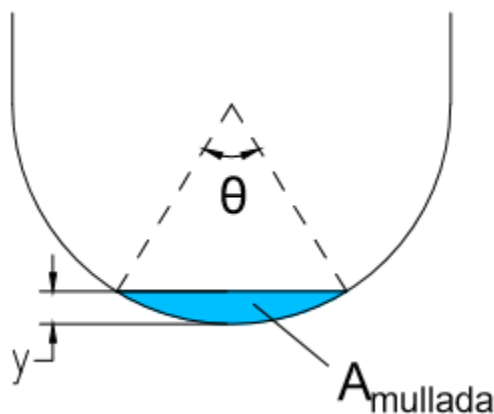


Figura 43. Representació d'un segment circular en el tobogan aquàtic. Font: Pròpia.

$$A (\text{Àrea}) = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \sin\theta)$$

$$P (\text{Perímetre}) = \frac{D}{2} \cdot \theta$$

$$y (\text{Profunditat}) = \frac{D}{2} \cdot (1 - \cos(\theta/2))$$

A partir de les equacions del segment circular i de l'Equació 6 del radi hidràulic, s'obté l'Equació 7.

$$R_h = \frac{\frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \sin\theta)}{\frac{D}{2} \cdot \theta} = \frac{D \cdot (\theta - \sin\theta)}{4 \cdot \theta} \quad (\text{Eq. 7})$$

Unint l'Equació 5 amb l'Equació 7 de la fórmula de Manning, s'obté l'Equació 8, la qual relaciona el cabal d'aigua amb l'angle θ de la Figura 43.

$$Q = \frac{k}{n} \cdot \frac{D^{8/3}}{8 \cdot 4^{2/3}} \cdot \left[\frac{(\theta - \sin\theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}} \right] \cdot S_o^{1/2} \quad (\text{Eq. 8})$$

I per altra banda, a partir de l'equació de continuïtat del cabal, la velocitat es pot definir a mitjançant l'Equació 9.

$$v = \frac{k}{n} \cdot \left[\frac{D \cdot (\theta - \sin\theta)}{4 \cdot \theta} \right]^{2/3} \cdot S_o^{1/2} \quad (\text{Eq. 9})$$

Cal remarcar que l'angle θ es calcula amb radianys en totes les equacions anteriors.

La majoria d'atraccions d'aquest estil operen amb un cabal proper als 100 m³/h, de manera que s'usarà un càlcul iteratiu per trobar en cada tram del tobogan quina velocitat té el fluid i l'àrea mullada corresponent, considerant les pèrdues d'aigua negligibles. A la Taula 21 es mostra el càlcul iteratiu comentat, juntament amb les dades del pendent de cada tram.

Taula 21. Càlcul de la velocitat i l'àrea mullada segons el cabal. Font: Pròpia.

Tram	Θ (°)	S_o	y (cm)	θ (°)	v (m/s)	Q (m3/h)	A (m ²)
3	6,95	0,122	3,2	39,28	3,33	95,06	0,00793
4	12,98	0,231	2,8	36,72	4,19	98,09	0,00650
5	21,68	0,398	2,5	34,68	5,11	100,92	0,00549
6	24,17	0,449	2,4	33,98	5,28	98,20	0,00517
7	2,53	0,044	4,1	44,53	2,36	97,49	0,01148
8	10,54	0,186	2,9	37,38	3,85	95,02	0,00685
9	9,74	0,172	3,0	38,02	3,78	98,18	0,00721
10	8,20	0,144	3,1	38,66	3,54	96,52	0,00757
11	8,34	0,147	3,1	38,66	3,57	97,34	0,00757
12	7,91	0,139	3,1	38,66	3,48	94,79	0,00757

A partir dels valors obtinguts a la Taula 21 s'obté el valor de la força de l'aigua sobre el tobogan en els girs, mitjançant l'Equació 4. La reacció de les components verticals i horitzontals es calcula segons l'Equació 10, i es mostra a la Taula 22.

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (\text{Eq. 10})$$

Taula 22. Força exercida per l'aigua sobre la paret del tobogan en els girs. Font: Pròpia.

Gir	v (m/s)	A (m2)	α (°)	F_x (N)	F_y (N)	F_t (N)	F_t (kN)
1	3,33	0,00793	57,27	40,36	13,95	42,70	0,043
2	4,19	0,00650	55,84	50,07	19,70	53,80	0,054
3	5,11	0,00549	34,67	25,42	61,71	66,74	0,067
4	5,28	0,00517	59,65	71,27	19,74	73,95	0,074
5	2,36	0,01148	58,31	30,33	9,52	31,79	0,032
6	3,85	0,00685	33,08	16,48	46,18	49,04	0,049
7	3,78	0,00721	27,85	11,95	54,99	56,27	0,056
8	3,54	0,00757	23,49	7,87	57,12	57,66	0,058
9	3,54	0,00757	30,00	12,72	47,49	49,16	0,049
10	3,57	0,00757	23,65	8,11	57,85	58,42	0,058
11	3,48	0,00793	34,90	16,47	39,20	42,52	0,043
12	3,48	0,00650	30,51	12,68	45,10	46,85	0,047

De la

Taula 22 s'extreu la conclusió que la força que exerceix l'aigua sobre el tobogan és molt més petita que el pes del propi tobogan i de la força centrífuga causada per l'usuari (Taula 24). Per tant, es considera que l'efecte de l'aigua sobre cada barra i sobre la columna metàl·lica és negligible.

A.4 Acció dels usuaris

Els usuaris exerceixen dues accions diferents sobre el tobogan aquàtic, tal com es mostra a la Figura 44: l'acció de la pròpia persona en lliscar, i l'acció de la força centrífuga.

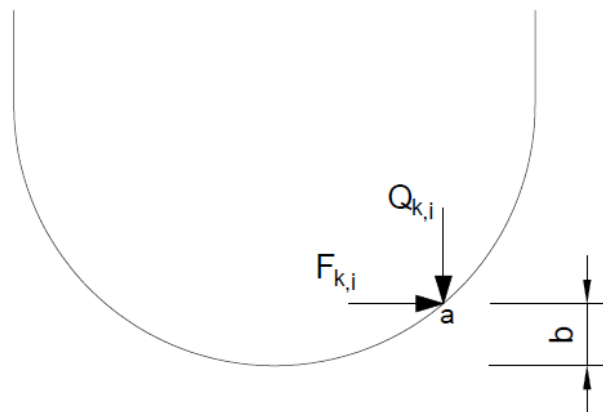


Figura 44. Distribució de forces de l'usuari sobre el tobogan. Font: *UNE-EN 1069*.

Llegenda

- a** Punt de determinació del radi d'una corba per $Q_{k,i}$ $F_{k,i}$
- b** 100 mm i 350 mm respectivament, segons la columna 6 de la Taula 23
- $F_{k,i}$** Força centrífuga (aplicada horitzontalment)
- $Q_{k,i}$** Acció exercida per una persona que llisca

El valor d'aquestes accions s'extreu de la Taula 23, classificada per cada tipus de tobogan, segons la Taula 1. L'acció produïda pels usuaris es considera variable i de curta duració.

Taula 23. Accions causades pels usuaris sobre el tobogan. Font: UNE-EN 1069.

Tipus	Accions exercides pels usuaris del tobogan $Q_{k,i}$	Longitud de la carga (m)	Dades pel càlcul de les forces centrífugues ^a $F_{k,i}$		
			Velocitat màxima dels usuaris (m/s)	Longitud d'aplicació de la carga (m)	Punt d'aplicació sobre el fons (m)
1	0,8 kN/m	-	-	-	-
2	0,8 kN/m	5,0	3,5	5,0	0,1
3	1,5 kN/m	5,0	3,5 8,0	5,0 1,0	0,1
4	1,5 kN/m	1,0	14,0	1,0	0,35
5	1,5 kN/m	1,0	16,0	1,0	0,35
6.1	1,5 kN/m	5,0	3,5 8,0	5,0 1,0	0,1
6.2	1,5 kN/m ^e	1,0	14,0	1,0	0,35
7	1,5 kN/m ²	-	8,0	5,0	0
	0,5 kN ^d	-		-	
8	1,5 kN/m	1,0	8,0	1,0	0,1
9	1,5 kN/m ²	-	14,0	5,0	0
10	1,5 kN/m ²	-	14,0	5,0	0,35
NOTA Els tipus 8, 9 i 10 s'han de considerar d'acord amb el seu tipus d'ús, per exemple el lliscament individual o en cadena. És important que la longitud de càrrega es defineixi correctament.					
^a Acceleració màx. d'una persona lliscant.					
^b Una sola persona.					
^c Sobre tota la superfície de lliscament.					
^d Força horitzontal sobre el costat del tobogan a una altura de 0,5 m sobre el fons.					
^e Cadena màx. de 5 persones.					

El tobogan aquàtic del present projecte es classifica en la tipologia 4 de la Taula 23, i per tant, s'hauran d'usar les càrregues que s'indiquen en ella. L'acció dels usuaris sobre el tobogan és $Q_{k,i} = 1,5 \text{ kN/m}$, mentre que en el cas de les forces centrífugues es proporcionen els paràmetres per calcular-la, juntament amb l'Equació 11.

$$F_{k,i} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (\text{Eq. 11})$$

On m és la massa de l'usuari en kg, v és la velocitat de l'usuari en m/s; i R és el radi dels girs. Les forces centrífugues actuen radialment cap a l'exterior, com es mostra a la Figura 44, mentre que en els canvis de pendent, actua verticalment en el sentit de la gravetat.

Com que cada gir té un radi diferent, cal calcular la força centrífuga en cada gir, procediment que es mostra a la Taula 24. Es considera un pes mitjà de l'usuari de 77,5 kg, i una velocitat màxima de 14 m/s segons la Taula 23.

Taula 24. Forces centrífugues en cada gir causades per l'usuari. Font: *Pròpia*.

Gir	R (m)	F (kN)
1	4,00	3,80
2	3,50	4,34
3	5,50	2,75
4	4,00	3,80
5	3,50	4,34
6	3,50	4,34
7	4,00	3,80
8	4,00	3,80
9	4,00	3,80
10	4,00	3,80
11	4,00	3,80
12	4,00	3,80

A.5 Carga de neu

L'acció produïda per la neu està relacionada amb el pes d'aquesta quan s'acumula sobre el tobogan. En el cas d'un tobogan amb recorregut obert, aquesta acció només es considera en casos on l'atracció es troba fora de servei.

El càlcul de les forces produïdes per la neu es realitza a partir de l'annex E de l'Eurocodi EN 1991-1-3 : 2003. Aquesta norma ens indica que aquesta càrrega es calcula a partir de l'Equació 12.

$$S_k = l_s \cdot h_s \cdot \gamma \quad (\text{Eq. 12})$$

On l_s és l'amplada d'influència; h_s l'altura de la neu, el valor de la qual es pot aproximar a un 30% del valor de l'amplada d'influència; i γ és la densitat de la neu, amb un valor de 2 kN/m^3 .

L'amplada d'influència l_s només es considera en zones amb pendent inferior a 60° . A la Figura 45 es mostra l'amplada d'influència per al tobogan del projecte, demostrada gràficament.

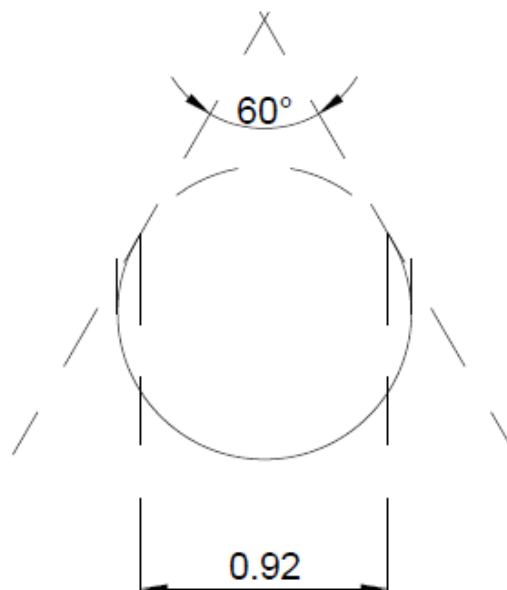


Figura 45. Amplada d'influència del tobogan a partir de la seva secció. Font: *UNE-EN 1069*.

A partir de l'amplada d'influència de la neu, i la densitat d'aquesta, es pot calcular la càrrega que exerceix aquest fenomen sobre l'atracció.

$$S_k = l_s \cdot h_s \cdot \gamma = 0,92 \cdot (0,3 \cdot 0,92) \cdot 2 = 0,508 \text{ kN/m}$$

A.6 Acció del vent

L'acció del vent actua tant sobre el propi tobogan com sobre les columnes que sostenen aquest. Es considerarà que el vent afecta de manera diferent a ambdós elements: l'acció d'aquest fenomen sobre el tobogan es calcularà a partir de la força de resistència del tobogan al pas de l'aire, mentre que per al càlcul del vent sobre les columnes se seguiran els passos indicats per la normativa EN 1991-1-4:2005.

A.6.1 Acció del vent sobre el tobogan

La força que exerceix el vent sobre el tobogan és la resistència que ofereix aquest element a l'aire, i es calcula a partir de l'Equació 13.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 13})$$

On C és el coeficient de *drag*; ρ és la densitat de l'aire; A és l'àrea d'influència del tobogan; i v és la velocitat del vent.

El coeficient de *drag* depèn de la forma del tobogan i de la zona on impacta el vent sobre aquest, tal com es mostra a la Figura 46. En situació real, el vent no impacta directament a la pista de lliscament, sinó en les parets verticals del tobogan. Per tant, es considerarà el cas més desfavorable, amb un coeficient de resistència a l'aire de 2,30.

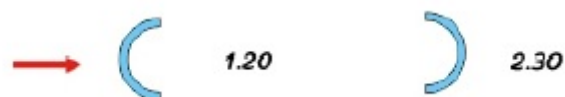


Figura 46. Valor del paràmetre C segons la zona d'impacte del vent. Font: *A2A Simulations*.

La velocitat del vent s'obté del Document Bàsic SE-AE, dins l'annex de càlcul de l'acció del vent. A la Figura 47 es mostra el mapa de l'estat espanyol dividit en diferents zones, segons la velocitat del vent.

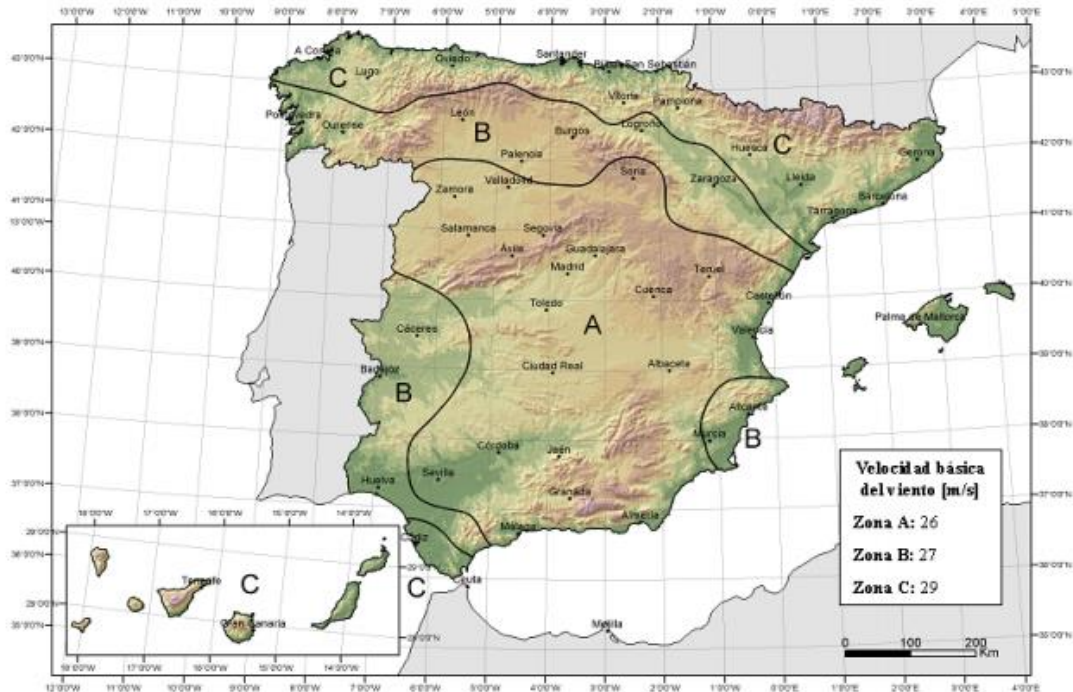


Figura 47. Mapa de velocitat del vent segons la zona d'Espanya. Font: DB-SE-AE.

L'atracció es situa a Catalunya, pertanyent a la zona C de la Figura 47, i per tant, la velocitat de càlcul del vent és de 29 m/s.

La força de l'Equació 13 representa una càrrega puntual sobre el tobogan, la qual no se sap amb exactitud sobre quin punt actua, de manera que es transformarà en una càrrega lineal aplicada a tota la longitud de la pista de lliscament.

L'àrea d'impacte del vent és la corresponent a la paret d'un cilindre, la qual s'obté de la multiplicació de la longitud del segment del tobogan pel diàmetre del tobogan. A l'Equació 14 es mostra l'expressió de la força del vent desenvolupant l'àrea.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot L \cdot D \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 14})$$

La càrrega lineal és la força exercida per l'aire F_D dividida entre la longitud del segment L . A l'Equació 15 es mostra l'expressió de la càrrega lineal del vent sobre el tobogan.

$$q_v = F_D/L = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot D \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 15})$$

A partir dels valors dels diferents paràmetres es pot calcular la força que exerceix el vent sobre el tobogan.

$$q_v = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 1,21 \cdot 1,1 \cdot 29^2 = 1,29 \text{ kN/m}$$

A.6.2 Acció del vent sobre la columna

La càrrega del vent sobre la columna es calcula a partir de la norma tècnica EN 1991–1-4. Es considera una acció variable de curta duració.

La força del vent que actua sobre una estructura cilíndrica es calcula segons l'Equació 16.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (\text{Eq. 16})$$

On $c_s c_d$ és un factor estructural que relaciona la pressió del vent i les vibracions que produeix; c_f és el coeficient de força; $q_p(z_e)$ és la pressió corresponent a la velocitat pic; i A_{ref} és l'àrea corresponent a la paret d'un cilindre, segons l'Equació 17.

$$A_{ref} = H \cdot D \quad (\text{Eq. 17})$$

On H és l'altura de la columna, i D és el diàmetre d'aquesta.

El factor estructural $c_s c_d$ ha de tenir en consideració dos paràmetres simultanis: l'efecte en l'acció del vent de la no simultaneïtat de pics de pressió sobre la superfície (c_s), i l'efecte de les vibracions de l'estructura a causa de turbulències (c_d).

Com que les columnes tenen una alçada inferior a 15 metres, el factor estructural $c_s c_d$ pren com a valor la unitat.

El coeficient de força c_f per estructures cilíndriques circulars es determina a partir de l'Equació 18.

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (\text{Eq. 18})$$

On $c_{f,0}$ és el coeficient de força per cilindres sense flux lliure de cua, que depèn de la rugositat i el nombre de Reynolds, que es determina a partir de la Figura 48; i ψ_λ és el factor de l'efecte cua.

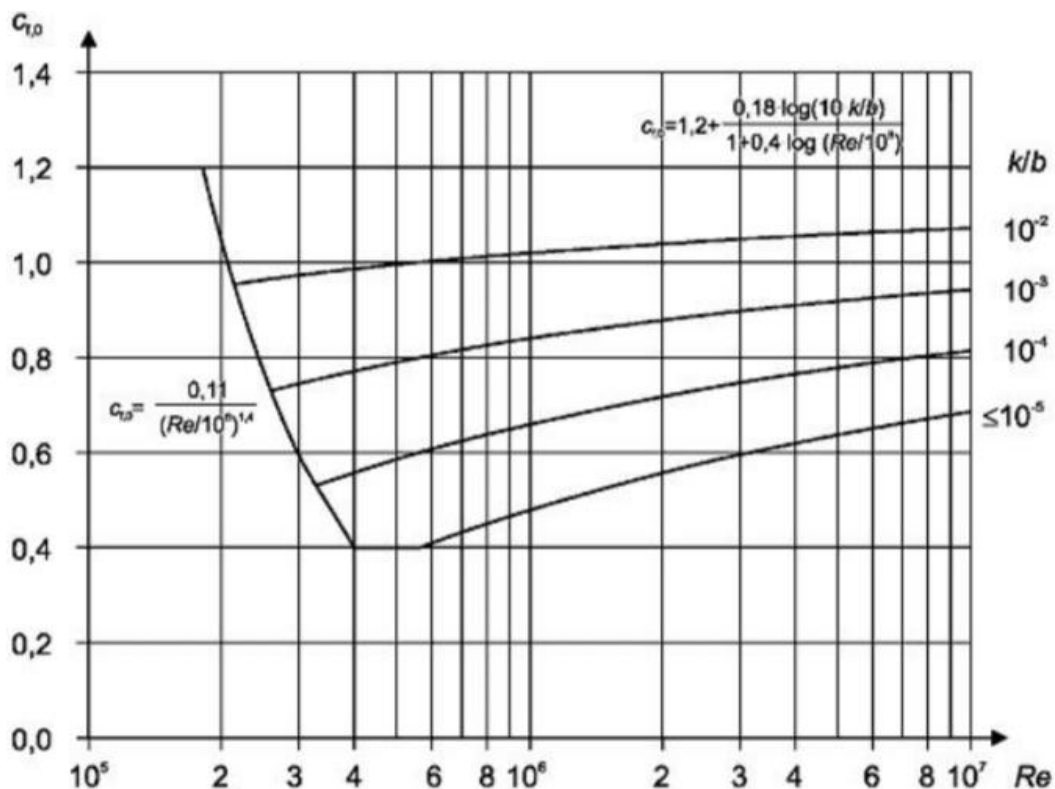


Figura 48. Càlcul del coeficient de força per cilindres sense flux lliure de cua. Font: UNE 1991-1-4.

El nombre de Reynolds es calcula a partir de l'Equació 19.

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \quad (\text{Eq. 19})$$

On b és el diàmetre de la columna; ν és la viscositat cinemàtica de l'aire, la qual té un valor de $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$; i $v(z_e)$ és la velocitat pic del vent a una altura z_e , la qual es considera de 29 m/s en tota la longitud de la columna (Figura 47).

A la Taula 25 es mostra el valor de la rugositat relativa, del nombre de Reynolds i del factor $c_{f,0}$ per a cada columna. La rugositat relativa es calcula a partir de l'Equació 20.

$$e = k/b \tag{Eq. 20}$$

On k és la rugositat absoluta de l'acer galvanitzat, el qual té un valor de 0,2 mm (valor extret de la normativa mateixa); i b és el diàmetre de la columna metàl·lica.

Taula 25. Valors del coeficient de força sense flux lliure de cua. Font: Pròpia.

Pilar	b (mm)	k/b	R_e	$c_{f,0}$
1	800	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^6$	0,65
2	1000	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^6$	0,70
3	1000	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^6$	0,70
4	700	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^6$	0,62
5	200	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,87 \cdot 10^5$	0,57

El factor d'efecte cua ψ_λ es relaciona amb l'esveltesa λ i la relació de solidesa ϕ mitjançant el gràfic de la Figura 50. El valor de l'esveltesa λ s'extreu de la Figura 49, mentre que la relació de solidesa ϕ és la solució de l'Equació 21.

No.	Posició de la estructura Direcció del viento normal al plano de la hoja	Esbeltez efectiva λ
1		<p>En secciones poligonales, rectangulares, con bordes vivos y estructuras de celosía:</p> <p>si $\ell \geq 50$ m, el menor valor de $\lambda = 1,4 \ell/b$ o $\lambda = 70$</p>
2		<p>si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = 2 \ell/b$ o $\lambda = 70$</p> <p>En cilindros circulares:</p> <p>si $\ell \geq 50$, el menor valor de $\lambda = 0,7 \ell/b$ o $\lambda = 70$,</p> <p>si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = \ell/b$ o $\lambda = 70$,</p>

Figura 49. Obtenció de l'esveltesa efectiva λ . Font: UNE 1991-1-4.

Les columnes del present projecte es classifiquen en la categoria 2. A la Taula 26 es mostra l'esveltesa per cadascuna d'aquestes columnes, on el paràmetre b correspon al diàmetre de la columna i l a l'altura d'aquesta.

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (\text{Eq. 21})$$

On A és la suma de les àrees projectades dels elements de l'estructura; i A_c és l'àrea evolvent real. Aquesta relació té el valor de la unitat, ja que en tractar-se l'estructura d'una columna cilíndrica sense orificis, el valor d'ambdues àrees és el mateix ($\varphi=1$).

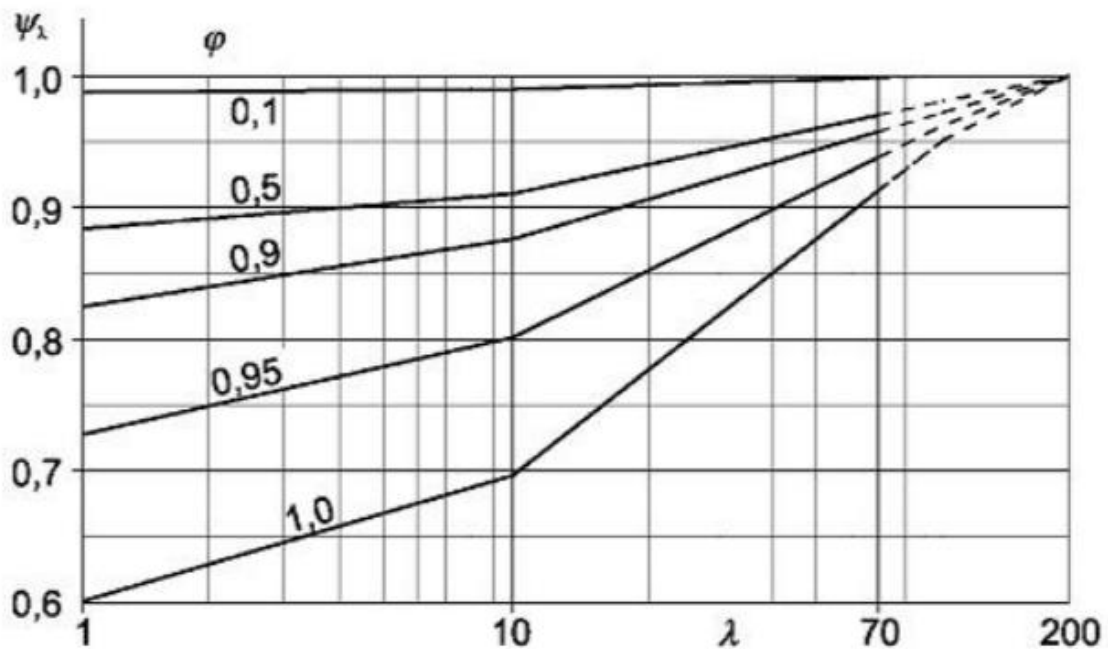


Figura 50. Gràfic per a l'obtenció del factor d'efecte cua. Font: UNE 1991-1-4.

A la Taula 26 es mostra el valor del factor d'efecte de cua per a cadascuna de les columnes, juntament amb el valor del coeficient de força, que com s'ha detallat anteriorment, es calcula a partir de l'Equació 18.

Taula 26. Esveltesa i factor d'efecte de cua de les columnes metàl·liques. Font: Pròpia.

Pilar	b (mm)	l (m)	λ	ψ_λ	c_f
1	800	12,30	15,38	0,75	0,49
2	1000	11,20	11,20	0,71	0,50
3	1000	9,80	9,80	0,70	0,49
4	700	5,60	8,00	0,68	0,42
5	200	0,70	3,50	0,64	0,36

El coeficient $q_p(z_e)$ correspon a la pressió de la velocitat de pic, i es calcula a partir de l'Equació 22.

$$q_p(z_e) = c_e(z) \cdot q_b \quad (\text{Eq. 22})$$

On $c_e(z)$ és el factor d'exposició; i q_b és la pressió bàsica produïda pel vent, la qual es calcula a partir de l'Equació 23.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\text{Eq. 23})$$

On ρ és la densitat de l'aire, amb un valor recomanat d'1,25 kg/m³; i v_b és la velocitat del vent, la qual es considera de 29 m/s en tota la longitud de la columna (Figura 47).

El factor d'exposició depèn de l'orografia del terreny, és a dir, de la categoria d'aquest i de l'alçada a la qual es troba la columna, la qual es mostra a la Taula 27.

Taula 27. Descripció de la categoria del terreny. Font: UNE 1991-1-4.

Categoria del terreny		z_o (m)	z_{\min} (m)
0	Mar o zona costanera exposada a mar obert	0,003	1
I	Llacs o zones planes i horitzontals amb vegetació negligible i sense obstacles	0,01	1
II	Zones amb vegetació baixa (gespa) i objectes aïllats (arbres, edificis)	0,05	2
III	Zones amb vegetació abundant, edificis o obstacles aïllats	0,3	5
IV	Zones amb un 15% de l'àrea coberta per edificis amb una alçada mitjana de 15 metres	1,0	10

La zona escollida per establir-hi el tobogan aquàtic està classificada com a zona II, ja que no hi ha vegetació alta i els edificis són aïllats. Per tant, el coeficient z_0 té un valor de 0,05.

A més, aquest terreny no presenta canvis abruptes en el seu relleu, i es pot considerar que la seva orografia és plana. Aquest fet representa que el coeficient d'orografia c_0 pren com a valor la unitat.

L'obtenció del valor del coeficient d'exposició s'obté a la Figura 51, a partir de la categoria del terreny i l'altura d'aquest en els punts on se situen les columnes.

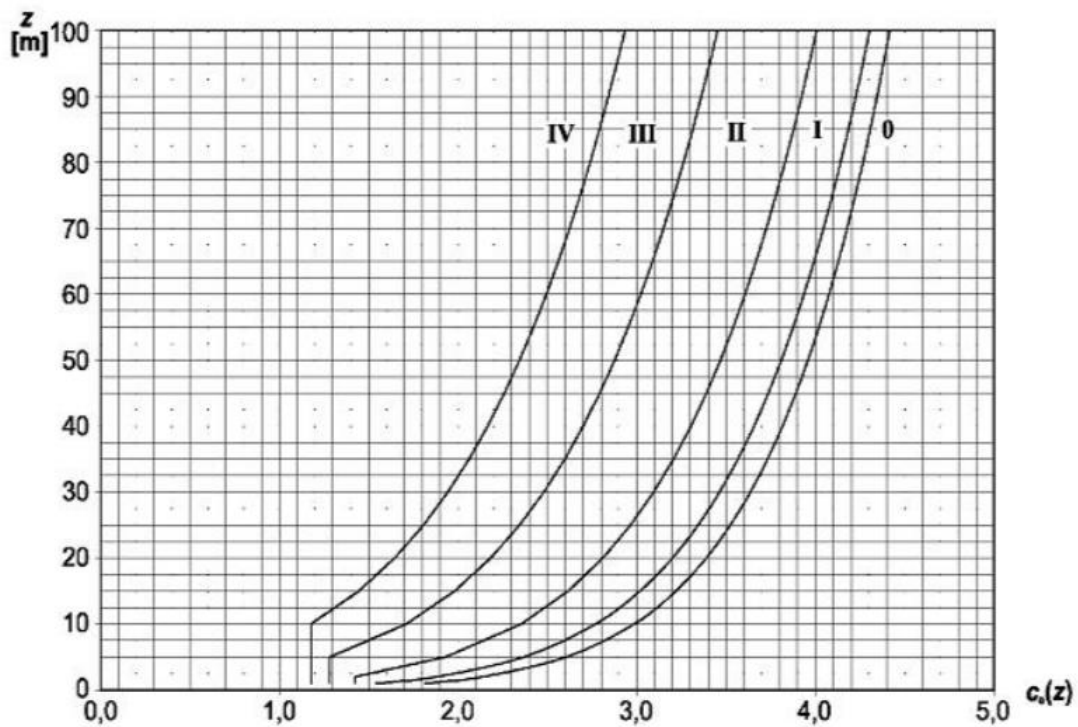


Figura 51. Gràfic per a l'obtenció del coeficient d'exposició. Font: UNE 1991-1-4.

A la Taula 28 es mostren els valors relacionats amb l'Equació 22.

Taula 28. Valors de la pressió de velocitat de pic. Font: Pròpia.

Pilar	z (m)	$c_e(z)$	$q_b(\text{N/m}^2)$	$q_p(z_e) (\text{N/m}^2)$
1	4,44	1,9	525,63	998,70
2	3,70	1,8	525,63	946,14
3	3,00	1,5	525,63	788,45
4	2,81	1,4	525,63	735,88
5	2,21	1,3	525,63	683,32

Un cop obtinguts tots els valors corresponents a l'Equació 16, cal transformar la força puntual en lineal, a partir de la longitud de la columna, com es mostra a l'Equació 24.

$$q_{v,c} = F_w/H = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot D \quad (\text{Eq. 24})$$

A la Taula 29 es mostren els valors corresponents a cada factor de l'Equació 22.

Taula 29. Valor de la força lineal del vent. Font: Pròpia.

Pilar	$c_s c_d$	c_f	$q_p(z_e) (\text{N/m}^2)$	D (mm)	$q_{v,c} (\text{kN/m})$
1	1,0	0,60	998,70	800	0,39
2	1,0	0,58	946,14	1000	0,47
3	1,0	0,58	788,45	1000	0,39
4	1,0	0,51	735,88	700	0,22
5	1,0	0,50	683,32	200	0,05

A.7 Combinació d'accions

La norma tècnica UNE-EN 1069-1 dicta que s'han d'incloure tres casos de càrrega en les combinacions d'accions, corresponents a l'estat en servei i fora de servei del tobogan, amb vent i neu com a acció principal respectivament en l'anàlisi en fora de servei.

Les combinacions d'ELU es detallen a la Taula 30, juntament amb els seus coeficients parcials i de simultaneïtat.

Taula 30. Combinacions en servei i fora de servei per ELU. Font: UNE-EN 1069.

	Pes tobogan	Neu		Pes usuari		Vent sobre el tobogan	
	$\gamma_{G,i}$	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0
En servei	1,35	1,5	0,25	1,5	1,0	1,5	0,3
Fora de servei (neu acció principal)	1,35	1,5	1,0	0,0	0,0	1,5	0,3
Fora de servei (vent acció principal)	1,35	1,5	0,25	0,0	0,0	1,5	1,0

Les combinacions corresponents a l'estabilitat (ELS) es mostren a la Taula 31, juntament amb els seus coeficients parcials i de simultaneïtat.

Taula 31. Combinacions en servei i fora de servei per ELS. Font: UNE-EN 1069.

	Pes tobogan	Neu		Pes usuari		Vent sobre el tobogan	
	$\gamma_{G,i}$	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0	$\gamma_{Q,1}$	ψ_0
En servei	1,0	1,0	0,25	1,0	1,0	1,0	0,3
Fora de servei (neu acció principal)	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,3
Fora de servei (vent acció principal)	1,0	1,0	0,25	0,0	0,0	1,0	1,0

A.8 Resultats i anàlisi

En l'estudi i anàlisi de l'estructura que suporta el tobogan, s'han tingut en compte diferents hipòtesis i consideracions, les quals s'exposen a continuació:

- El càlcul de l'estabilitat i resistència de l'estructura s'ha dividit en 3 parts: la primera correspon al primer pilar, la segona al segon i tercer pilar, i la tercera part als dos últims pilars. El motiu d'aquesta anàlisi per separat rau en la força de l'usuari, la qual és mòbil i s'aplica en diferents instants de temps, de manera que s'ha considerat la hipòtesi (molt conservadora, però més fàcil d'aplicar i analitzar) que l'usuari es mou prou ràpidament perquè en un instant petit de temps apliqui la força en diferents punts d'un tram.

- El càlcul s'ha executat mitjançant el programa *Diamonds*, el qual no permet trams corbs, de manera que s'ha simplificat la forma tobogan a partir de trams rectilinis.
- El vent pot provenir de dues direccions, nord o sud, sent els més potents a la zona del Baix Empordà. Aquest vent és desfavorable, ja que toca per un lateral del tobogan, de manera que afecta més els punts amb més mobilitat. Ambdós vents no són simultanis.

A.8.1 Disseny de l'estructura del tobogan

Prèviament a entrar en detall en l'anàlisi, es procedeix a mostrar el disseny de l'estructura escollida per suportar el tobogan. Aquesta es basa en una estructura en forma d'arbre, formada per una sèrie de pilars aïllats en el qual hi ha diverses barres que s'uneixen al tobogan.

Aquestes barres es reforcen amb tornapuntes per tal d'estabilitzar-les, element que redueix la càrrega de treball de les barres principals, i a més redueix el vinclament d'aquestes. Amb aquesta solució, reduïm les dimensions dels perfils de les barres, fet que resulta en menys pes i menys cost.

A la Figura 52 es mostra l'esquema simplificat de l'estructura del tobogan. L'element vermell identifica el propi tobogan, el color blau-lilós fosc representa les columnes metàl·liques, el blau-lilós clar s'identifica amb les barres horitzontals on es suporta el tobogan, i per últim, el color verd representa els tornapuntes.

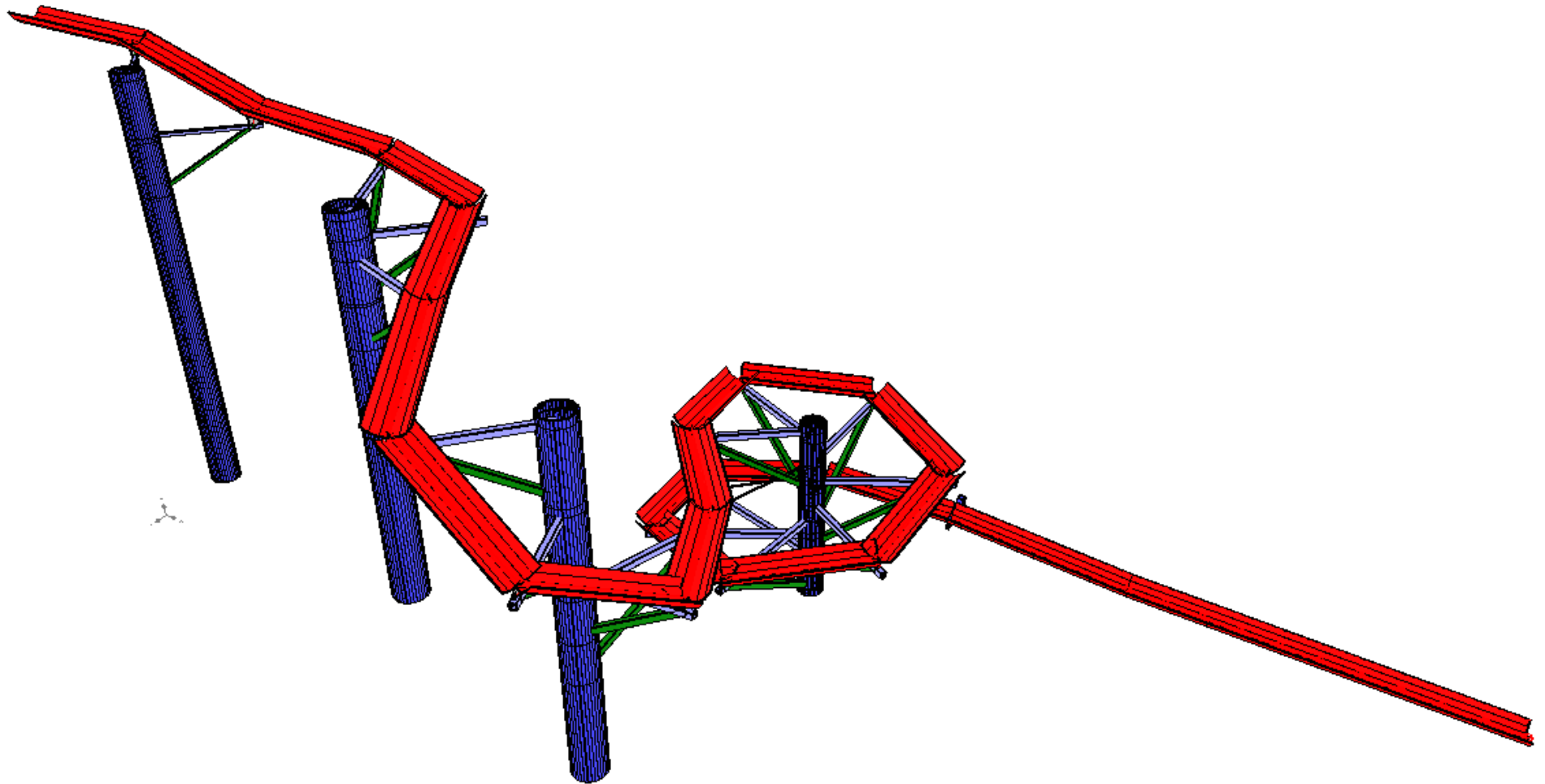


Figura 52. Disseny simplificat de l'estructura del tobogan, encarat al càlcul. Font: Pròpia.

A.8.2 Condicions d'entorn dels diferents elements

Les columnes metàl·liques estaran encastades en la seva part inferior, la qual està en contacte amb el terra, per tal de maximitzar la seva estabilitat. És important que la columna no es desplaci en excés, ja que causaria desplaçaments simultanis en els elements adjunts en ella.

La part final del tobogan es considera completament encastada, ja que estarà subjectada a terra, de manera que es considerarà que no tindrà cap classe de desplaçament.

Tant les barres com els tornapunts són elements units per soldadura, unió considerada com a rígida, ja que no permet ni desplaçaments ni girs. Per altra banda, els tirants que suporten les barres del quart pilar només treballen a tracció, i per tant, els extrems de les barres estan modelats com a articulacions.

Per últim, les unions entre el tobogan i les barres s'han suposat rígides el gir al voltant de l'eix x, segons la Figura 53.

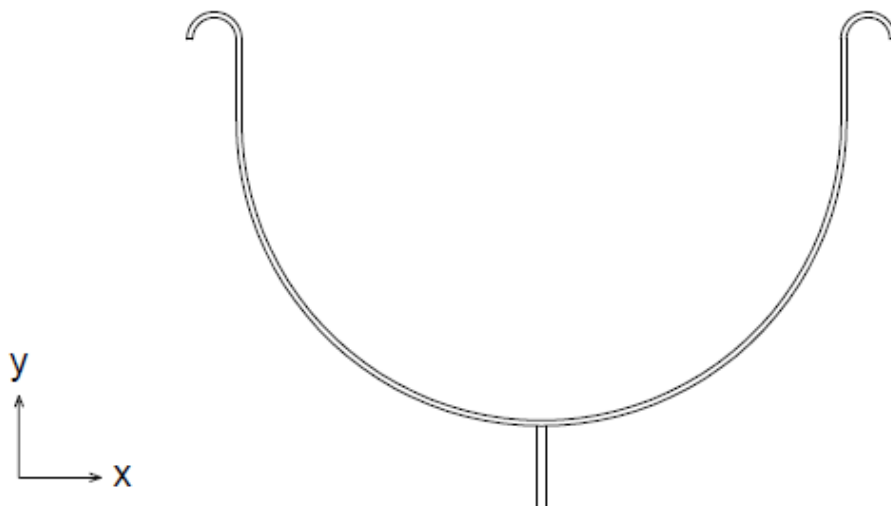


Figura 53. Localització de la secció dels tobogans segons els eixos x,y i z. Font: *Pròpia*.

A.8.3 Anàlisi 1

L'anàlisi 1, com s'ha comentat, comprèn el tram format pel primer pilar, el qual es mostra a la Figura 54.

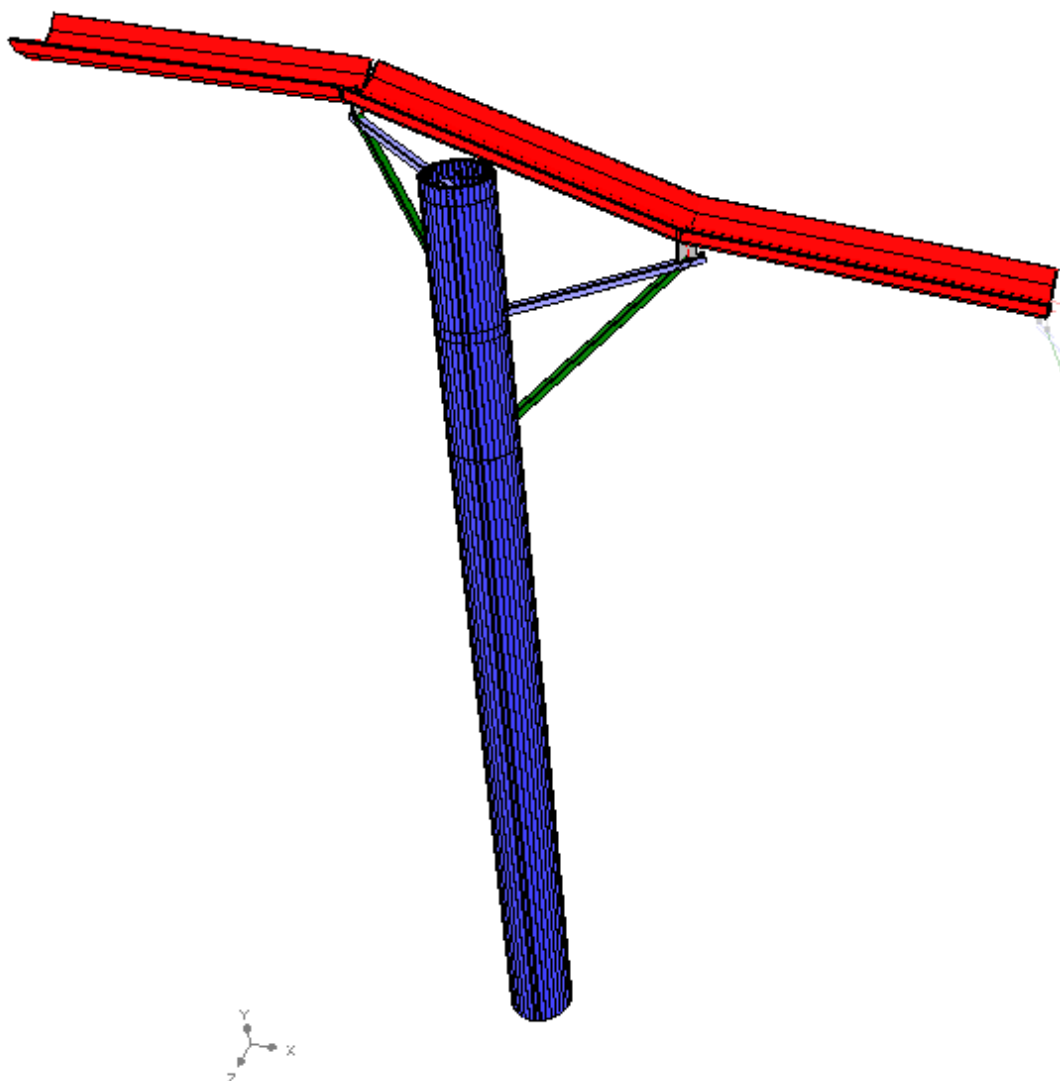


Figura 54. Esquema del primer tram d'anàlisi. Font: *Diamonds*.

A la Figura 55 es mostra la disposició de les càrregues de l'usuari a partir de la hipòtesi comentada, posicionant aquestes forces en els punts on el tobogan està suportat pel conjunt barra – tornapunta. El valor d'aquesta càrrega s'expressa en kN.

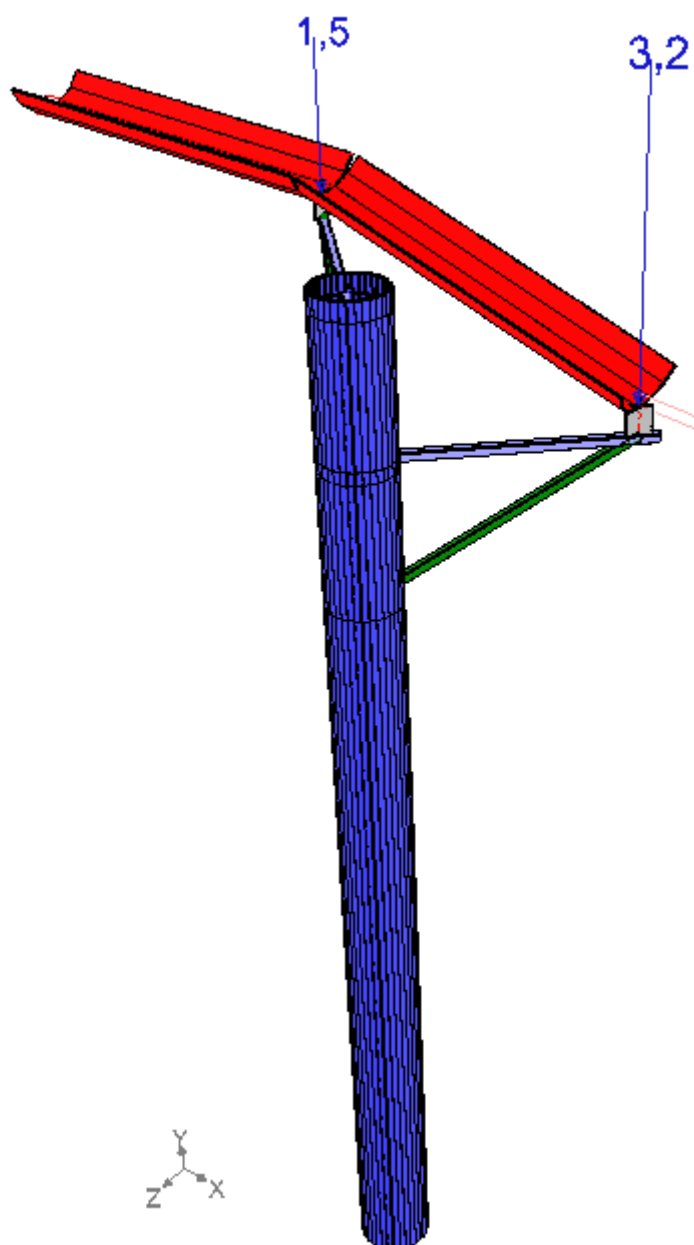


Figura 55. Càrregues de l'usuari en el primer tram del tobogan. Font: *Diamonds*.

A la Figura 56 es detalla la distribució de la càrrega de neu al llarg del primer tram d'anàlisi, introduint la càrrega obtinguda en l'apartat 0. El valor d'aquesta càrrega s'expressa en kN/m.

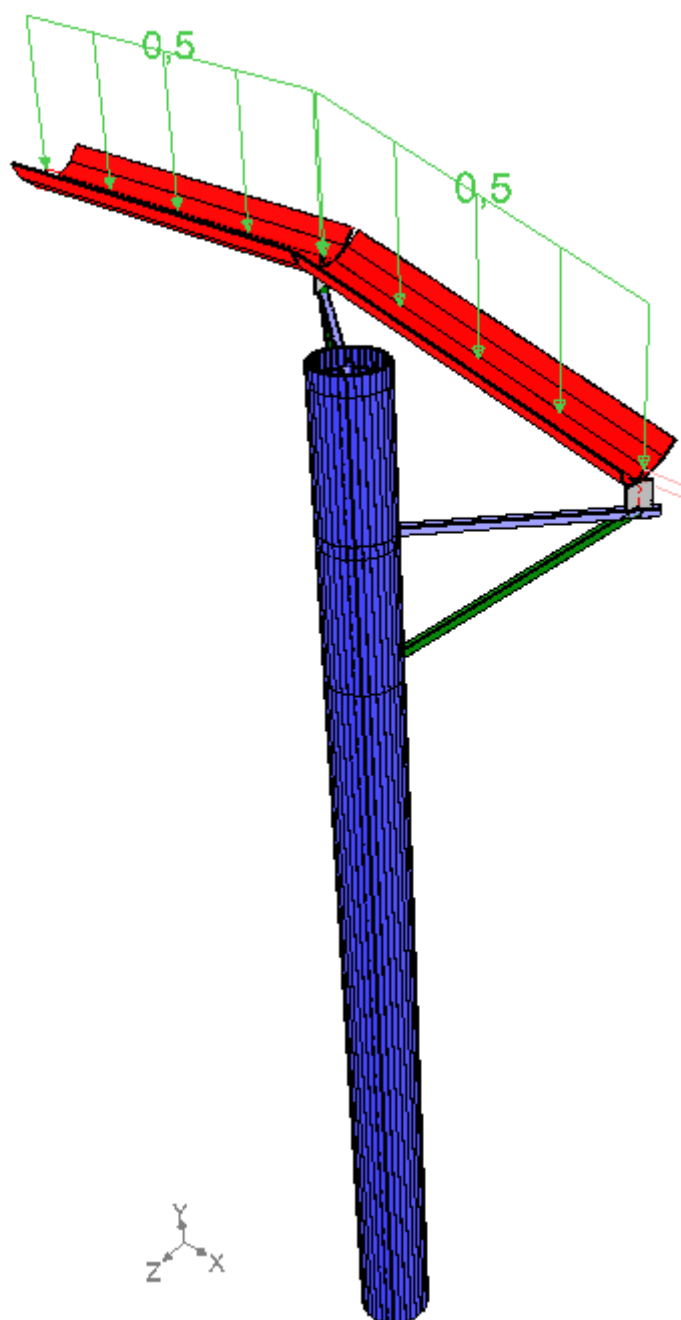


Figura 56. Distribució lineal de la càrrega de neu. Font: *Diamonds*.

Per altra banda, a la Figura 57 i a la Figura 58 es mostra les càrregues corresponents als dos vents segons la hipòtesi comentada anteriorment. Cal tenir en compte que el vent afecta de dues maneres: sobre el tobogan i sobre la columna.

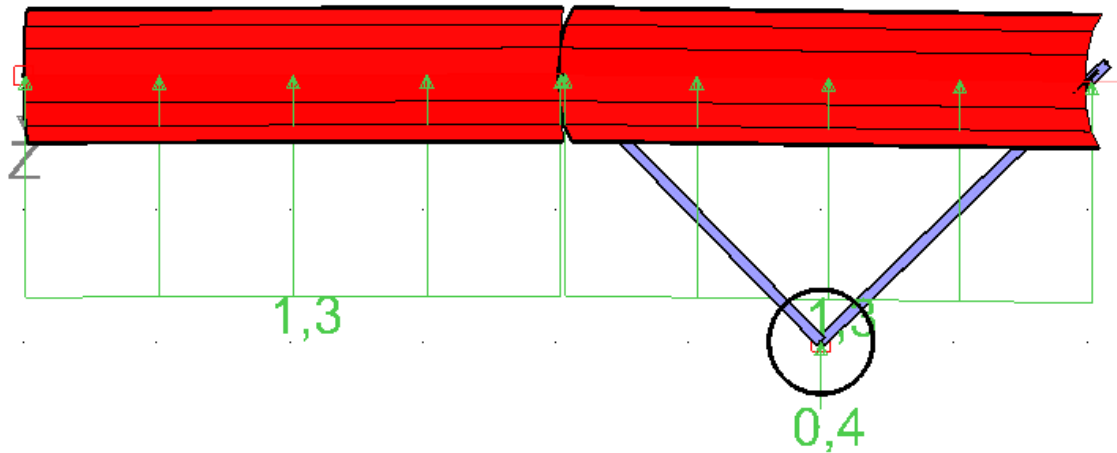


Figura 57. Càrrega del vent provinent del Sud. Font: *Diamonds*.

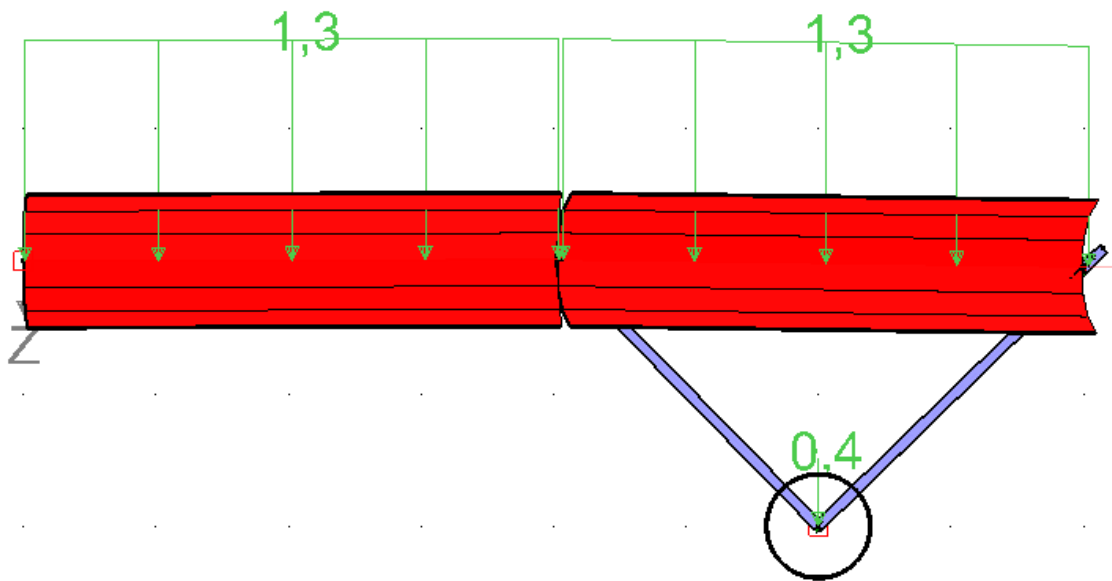


Figura 58. Càrrega del vent provinent del Nord. Font: *Diamonds*.

Un cop exposades les càrregues, es procedeix a mostrar els resultats de l'anàlisi d'aquest tram. Primerament es mostraran les fletxes corresponents als 3 eixos: l'eix y (vertical), l'eix x i l'eix z, sent els dos últims els corresponents a desplaçaments horitzontals.

A la Figura 59 es mostra la deformació vertical del tram 1 (eix Y), on es detalla que la fletxa màxima és de 2,3 mm.

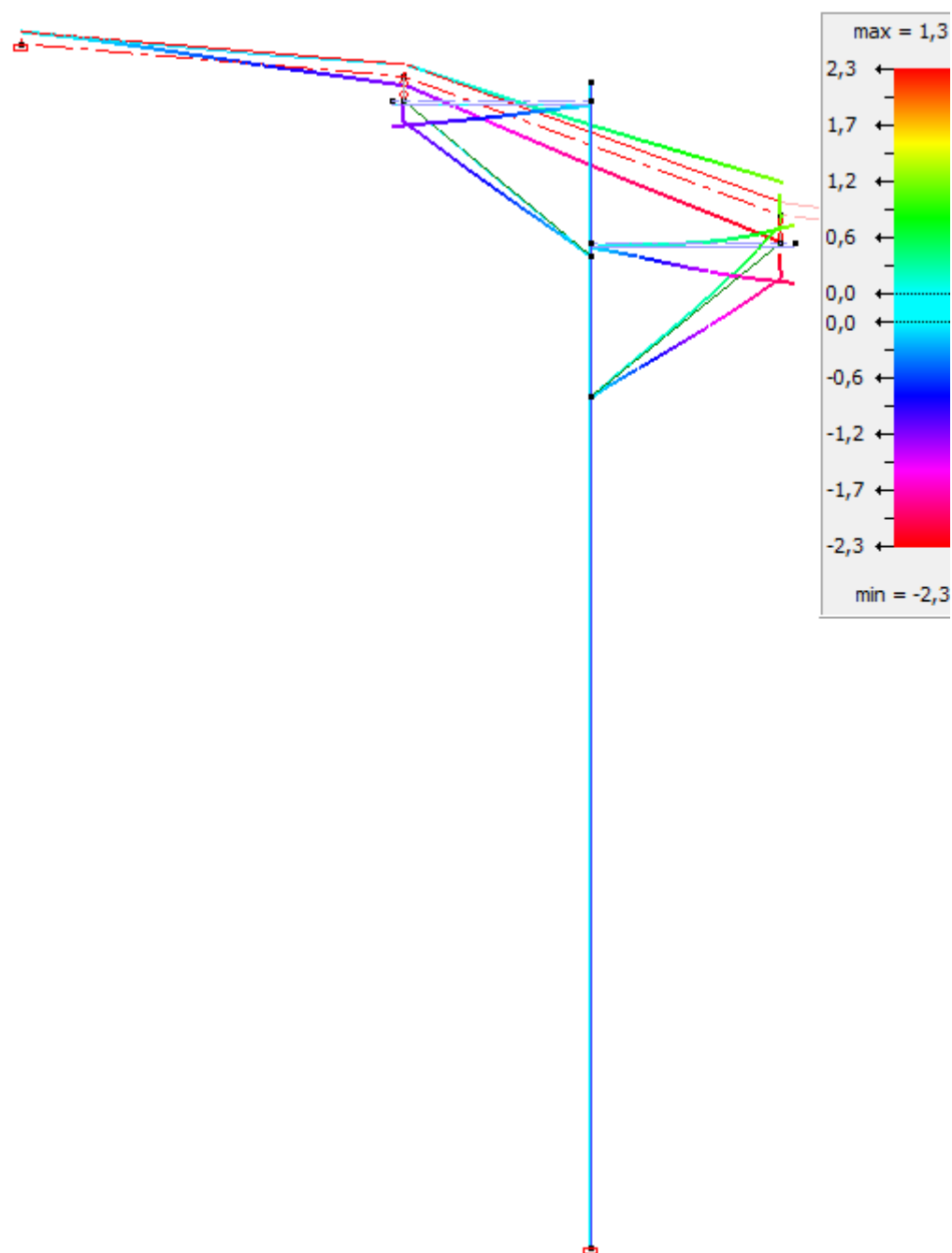


Figura 59. Fletxes en l'eix Y (verticals). Font: *Diamonds*.

A la Figura 60 es mostra el desplaçament horitzontal en l'eix X, amb una fletxa de 3,7 mm, mentre que a la Figura 61 es detalla el desplaçament horitzontal, el qual tindrà un valor de 6,6 mm.

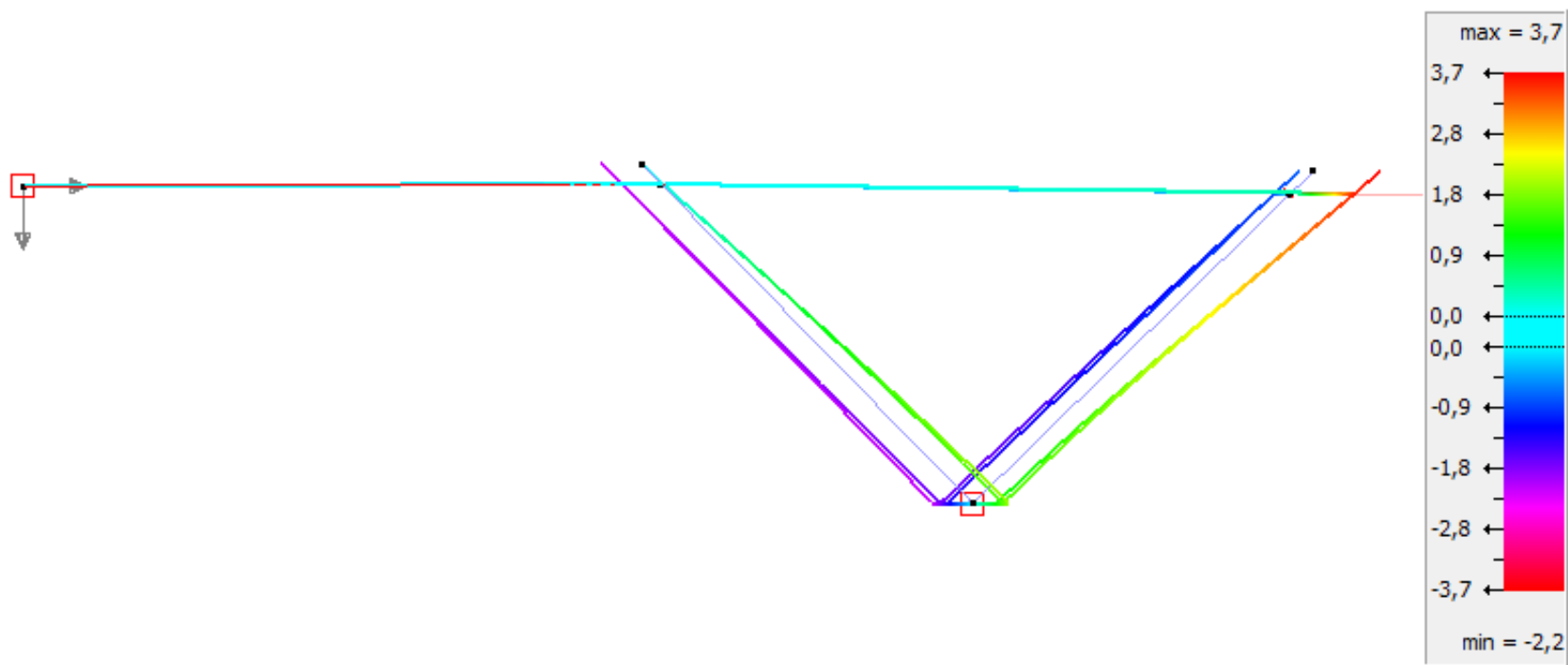


Figura 60. Desplaçaments horitzontals en l'eix X. Font: *Diamonds*.

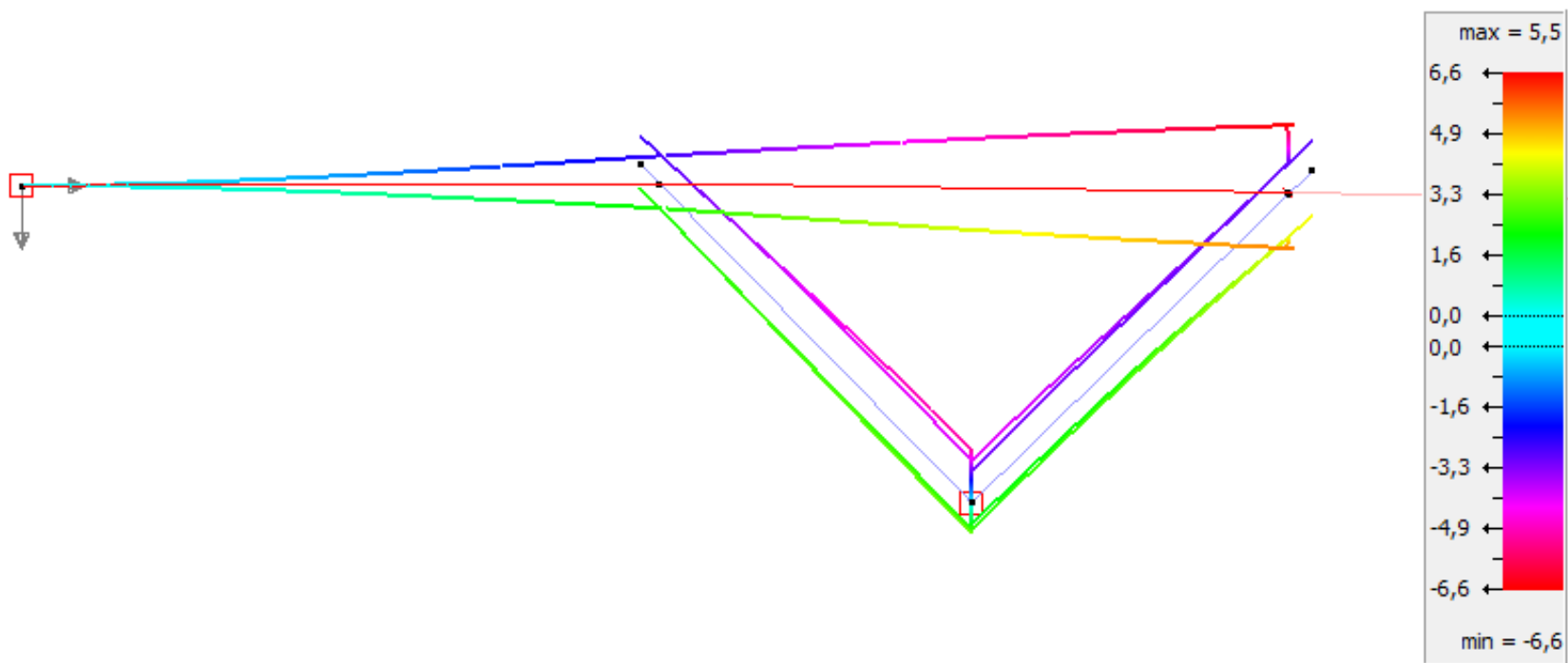


Figura 61. Desplaçaments horitzontals en l'eix Z. Font: *Diamonds*.

Analitzades les fletxes, es procedeix a estudiar la resistència i estabilitat de la barra, és a dir, si els elements metàl·lics són prou robusts tant a nivell de resistència a secció, considerant la corresponent classificació de secció, com a nivell de barra, on es té en compte l'esveltesa de la barra i el seu efecte sobre el vinclament.

A la Figura 62 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a resistència, d'on s'extreu que els elements estan poc sol·licitats, ja que les barres i tornapuntes estan sol·licitats un 5% aproximadament, les columnes prop de l'1% i les unions un 17%.

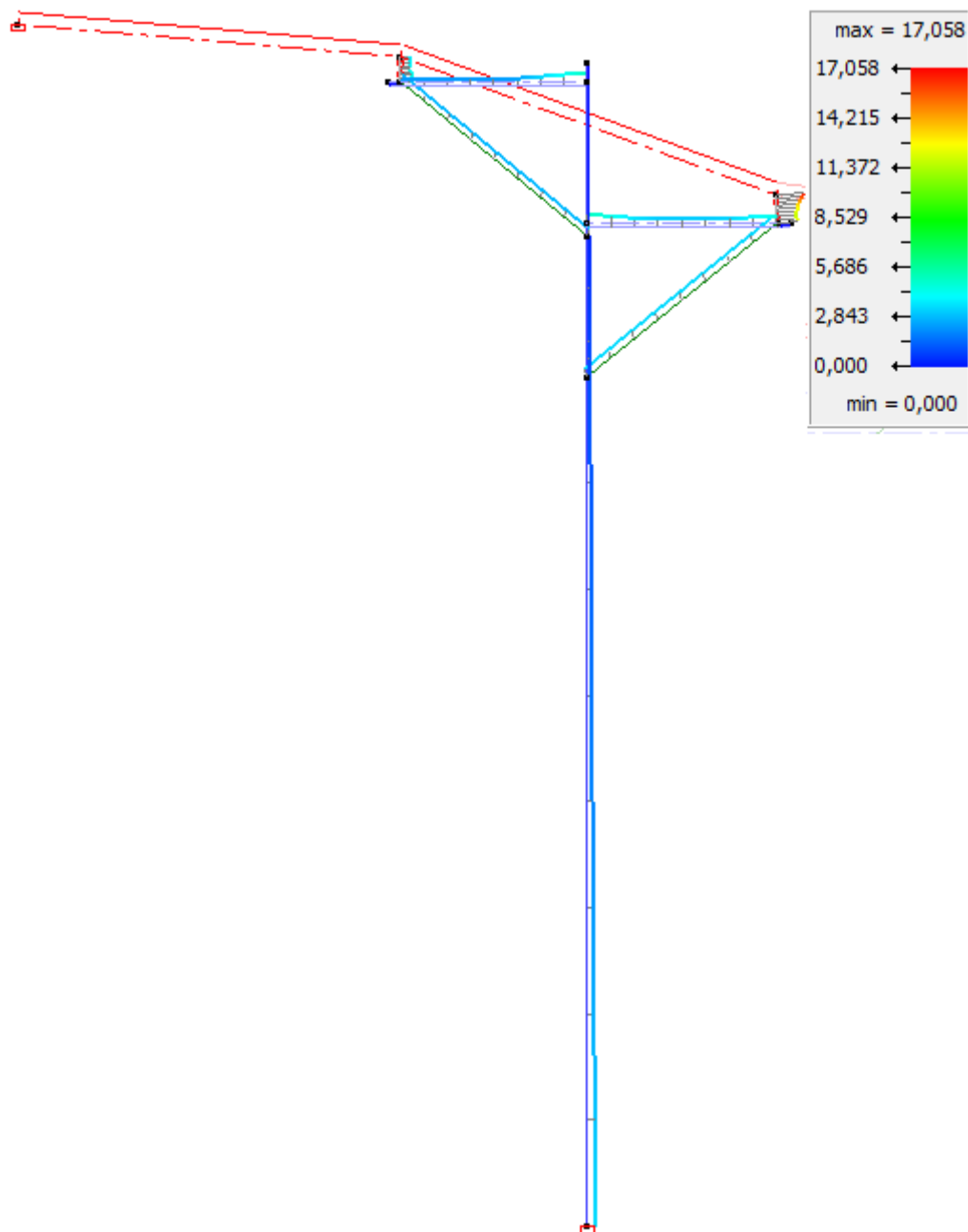


Figura 62. Capacitat de l'estructura del primer tram a resistència. Font: *Diamonds*.

A la Figura 63 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a estabilitat, els quals tampoc estan sol·licitats en excés, estant les barres sol·licitades entre un 2 i un 9%, els tornapunts aproximadament un 15%, les columnes entre un 2% la part superior i un 7% a la part inferior, i les unions són els elements més sol·licitats amb un 27% aproximadament.

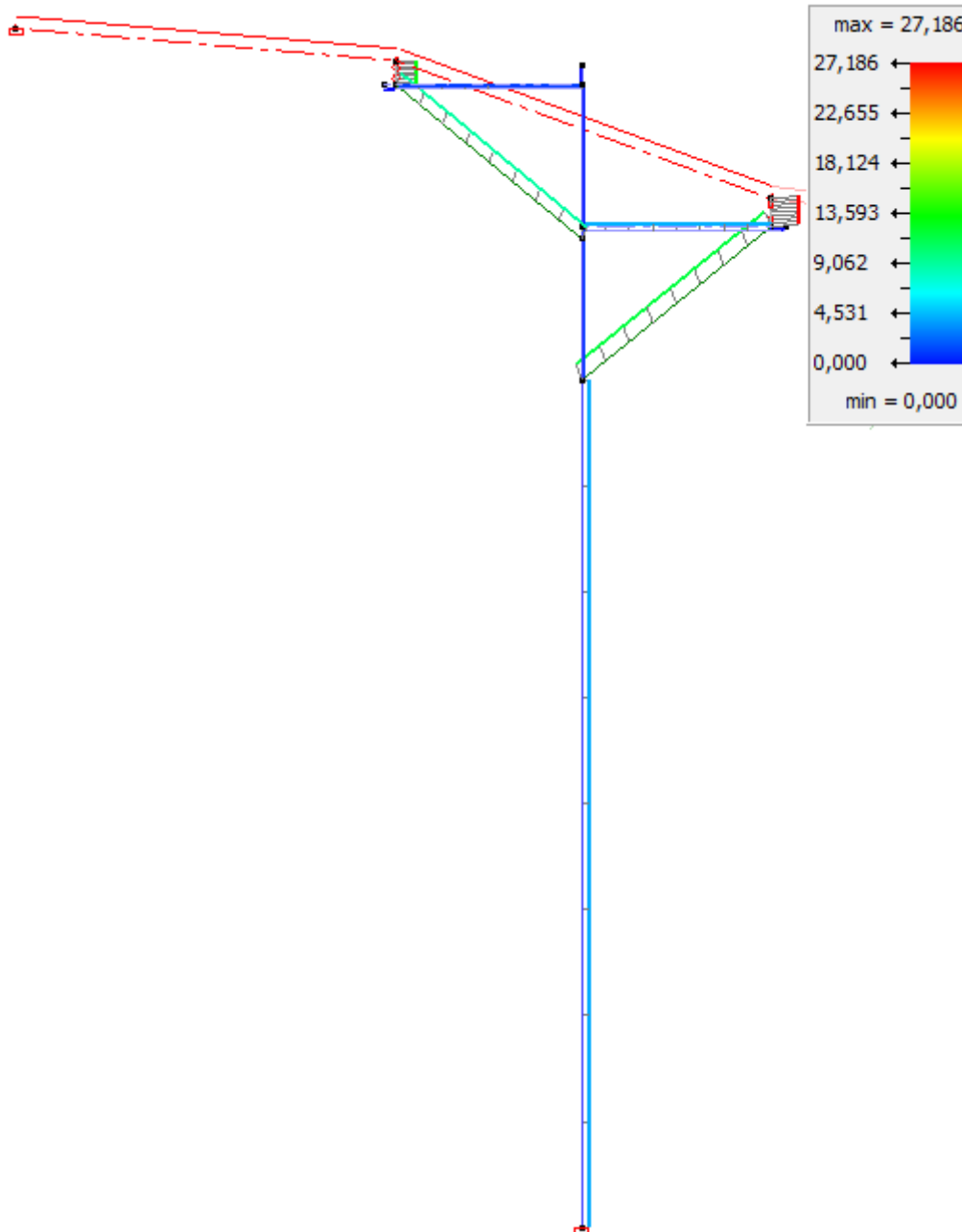


Figura 63. Capacitat de l'estructura del primer tram en estabilitat. Font: *Diamonds*.

A.8.4 Anàlisi 2

L'anàlisi 2, com s'ha comentat, comprèn el tram format pel segon i tercer pilar, els quals es mostren a la Figura 64.

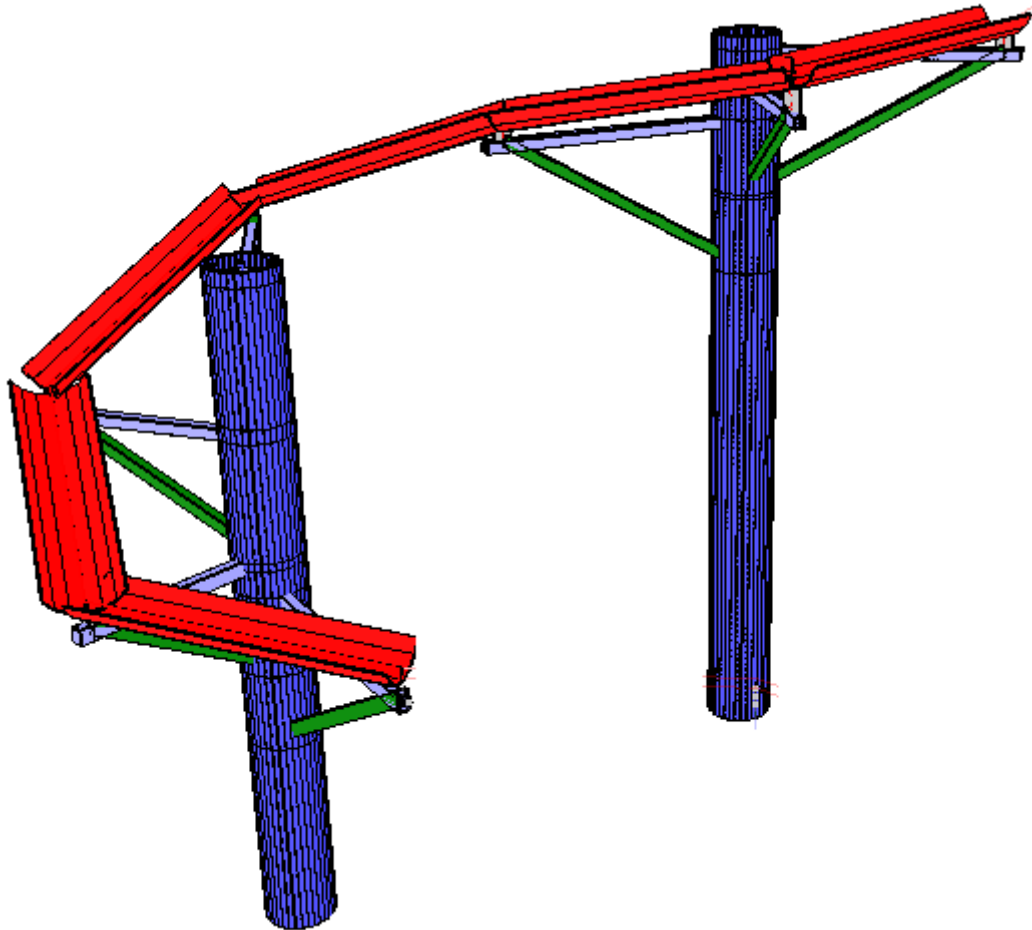


Figura 64. Esquema del segon tram d'anàlisi. Font: *Diamonds*.

A la Figura 65 es mostra la disposició de les càrregues de l'usuari a partir de la hipòtesi comentada, posicionant aquestes forces en els punts on el tobogan està suportat pel conjunt barra – tornapunta. El valor d'aquesta càrrega s'expressa en kN.

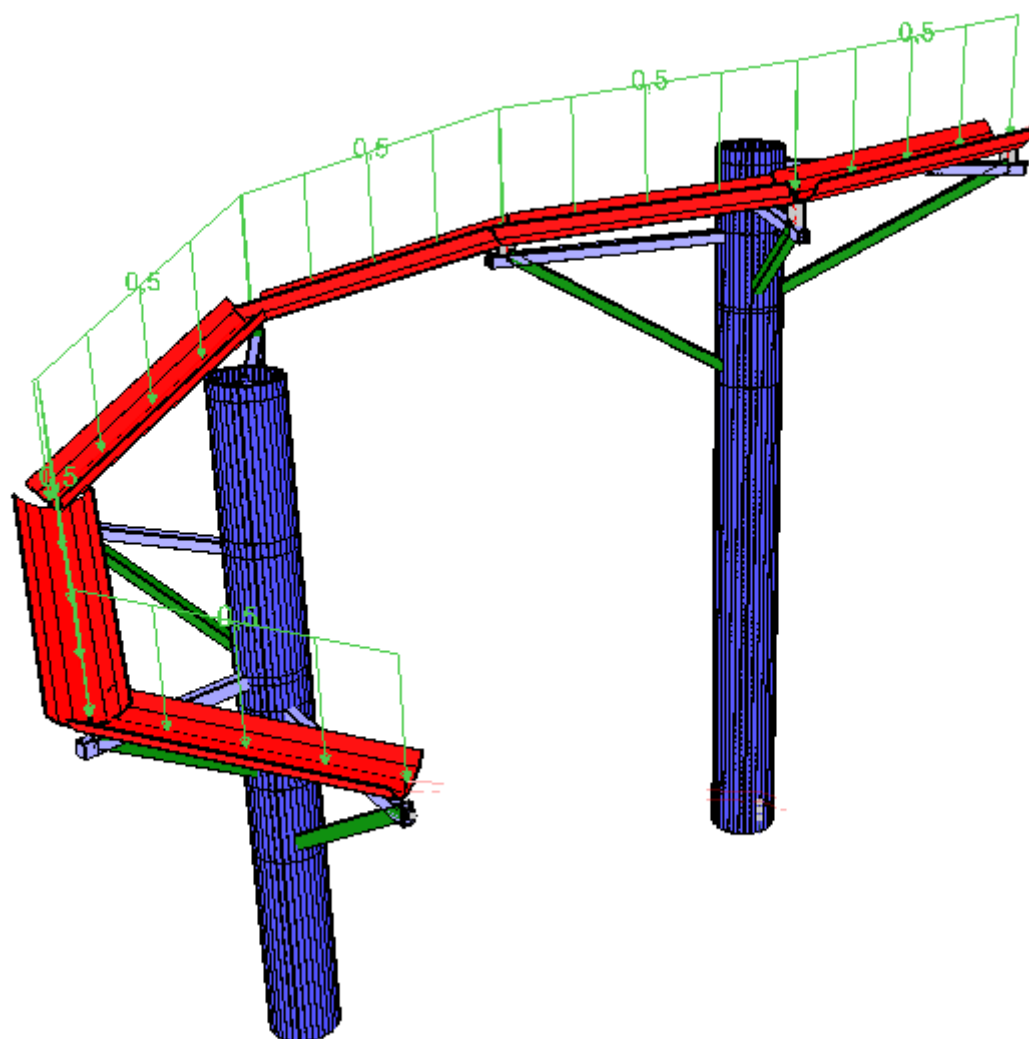


Figura 66. Distribució lineal de la càrrega de neu. Font: *Diamonds*.

Per altra banda, a la Figura 67 i a la Figura 68 es mostra les càrregues corresponents als dos vents segons la hipòtesi comentada anteriorment. Cal tenir en compte que el vent afecta de dues maneres: sobre el tobogan i sobre la columna.

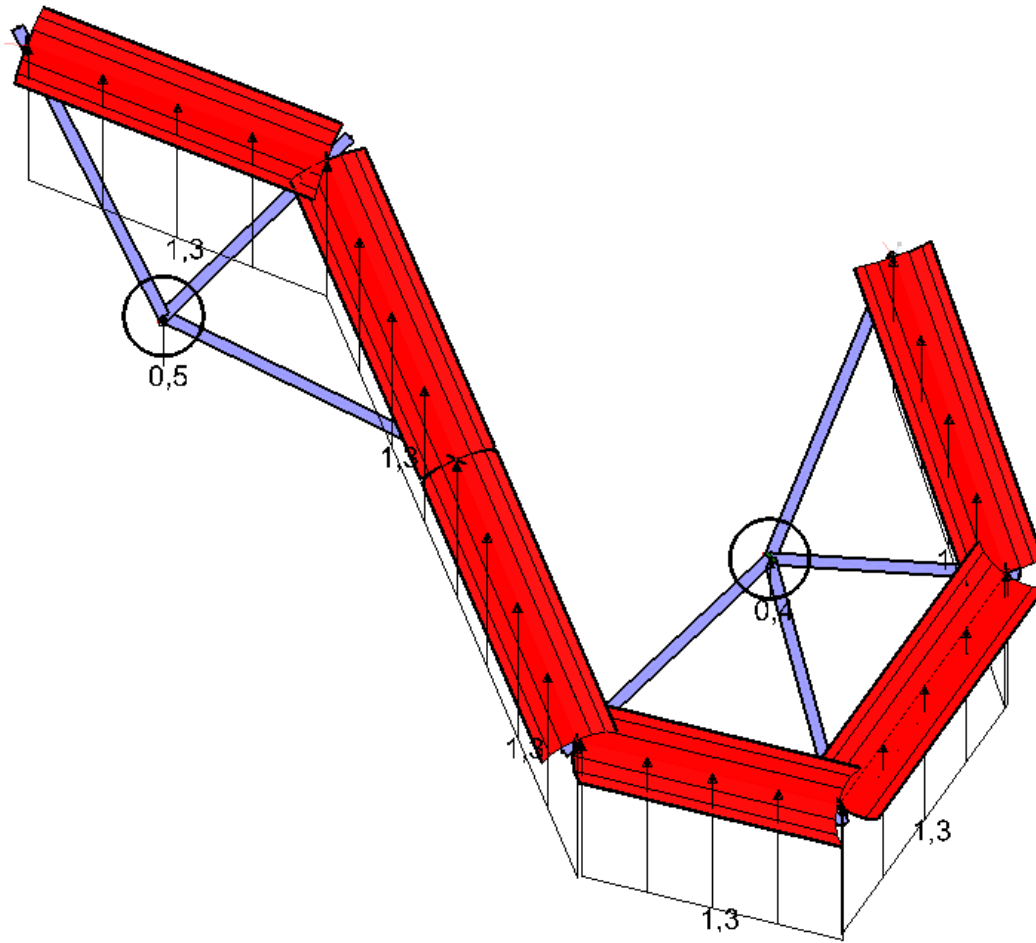


Figura 67. Càrrega del vent provinent del Sud. Font: *Diamonds*.

La distribució d'aquesta càrrega de vent es considera conservadora, ja que en la realitat, el vent no influeix de la mateixa manera en cada punt del tobogan. Per exemple, hi ha punts del tobogan on el vent impacte en tota la superfície d'una peça, mentre que d'altres peces estan més a recés, i per tant, el vent no impacte tan directament, o bé ho fa amb una força menor.

Aquesta consideració s'aplica tant a la càrrega de vent de la Figura 67 com a la de la Figura 68.

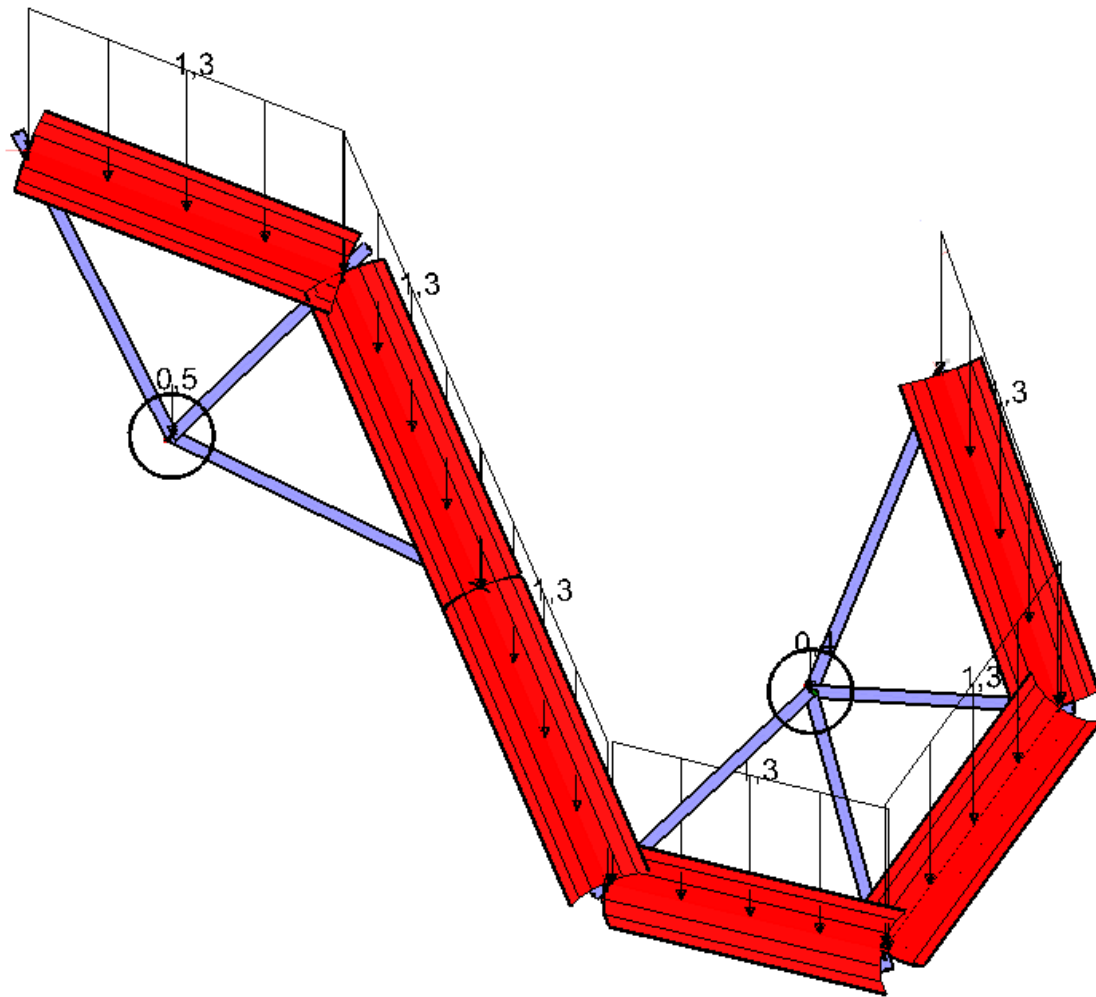


Figura 68. Càrrega del vent provinent del Nord. Font: *Diamonds*.

Un cop exposades les càrregues, es procedeix a mostrar els resultats de l'anàlisi d'aquest tram. Primerament es mostraran les fletxes corresponents als 3 eixos: l'eix y (vertical), l'eix x i l'eix z, sent els dos últims els corresponents a desplaçaments horitzontals.

L'anàlisi de les fletxes verticals (eix Y) d'aquest tram es dividirà en cadascun dels dos pilars per tal de facilitar la percepció en observar els resultats, ja que la quantitat d'elements que hi ha impedeixen mostrar amb claredat els resultats.

A la Figura 69 es mostra la deformació vertical del segon pilar, on es detalla que la fletxa màxima és de 2,6 mm.

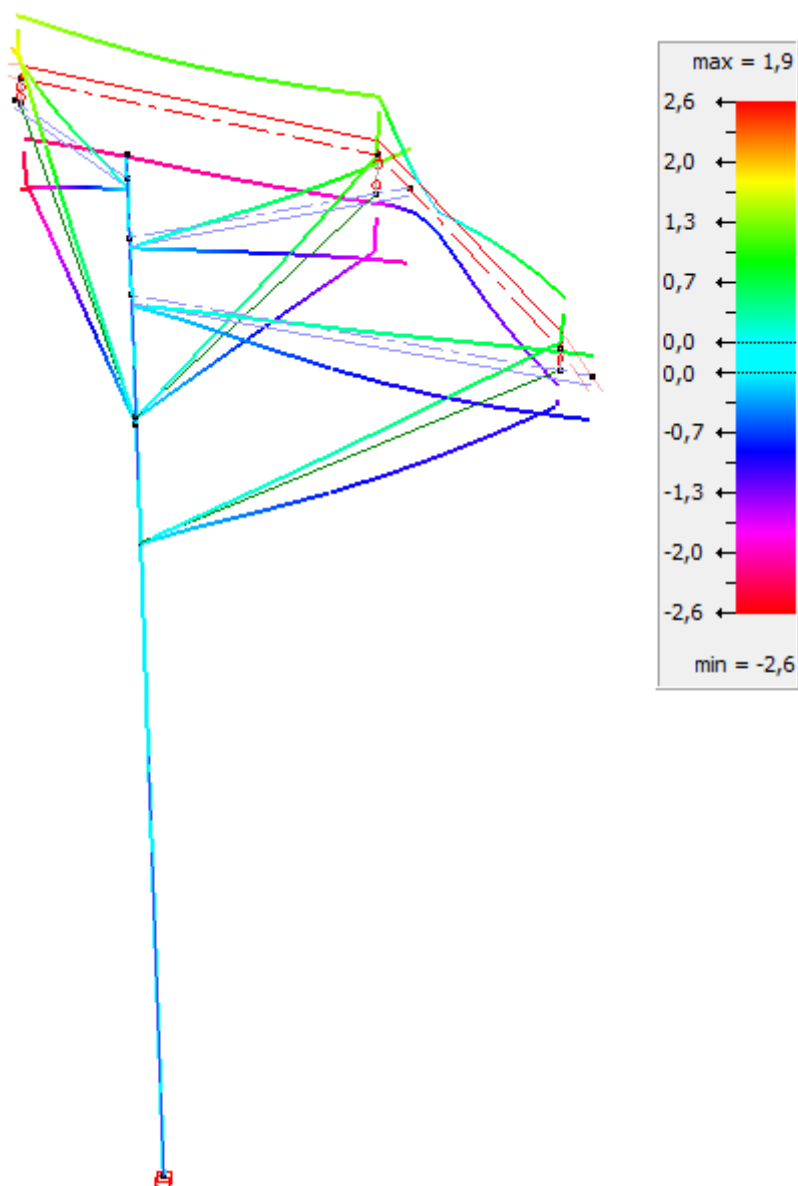


Figura 69. Fletxes en l'eix Y (verticals) del segon pilar. Font: *Diamonds*.

A la Figura 70 es mostra la deformació vertical del tercer pilar, on es detalla que la fletxa màxima és de 3,9 mm.

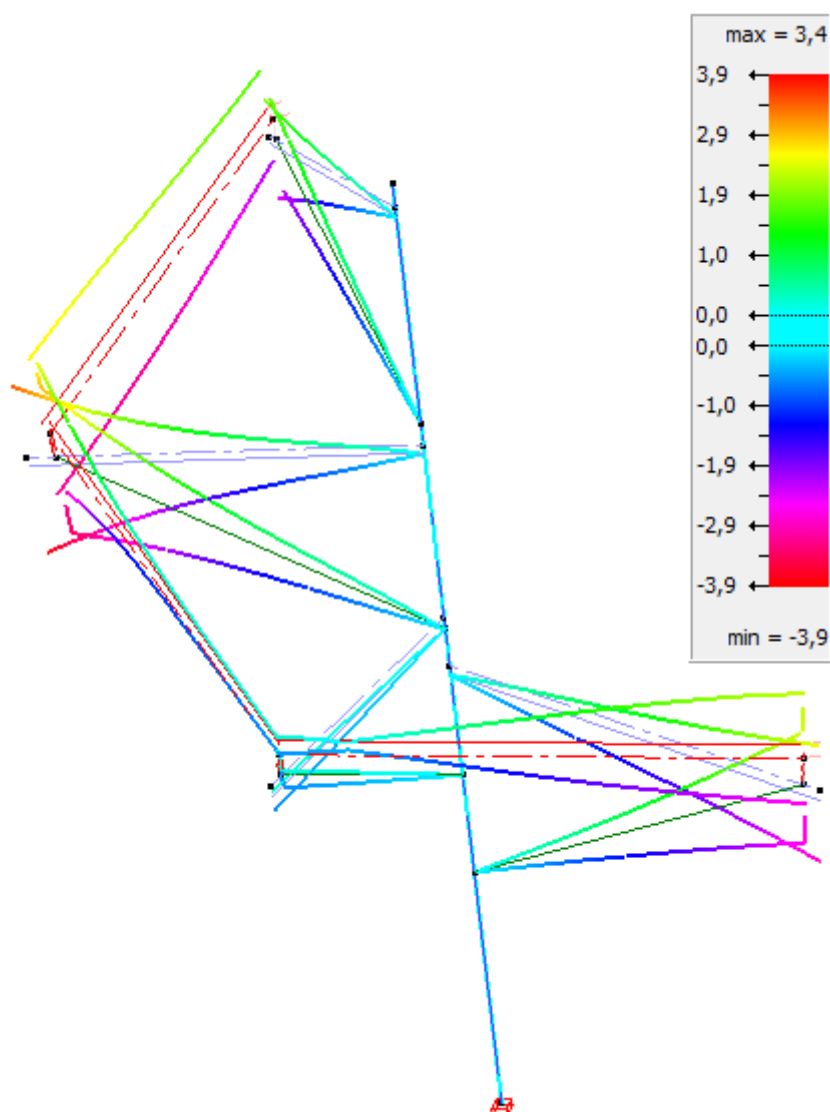


Figura 70. Fletxes en l'eix Y (verticals) del tercer pilar. Font: *Diamonds*.

A la Figura 71 es mostra el desplaçament horitzontal en l'eix X, amb una fletxa màxima de 6,9 mm, mentre que a la Figura 72 es detalla el desplaçament horitzontal, el qual tindrà un valor de 12,7 mm.

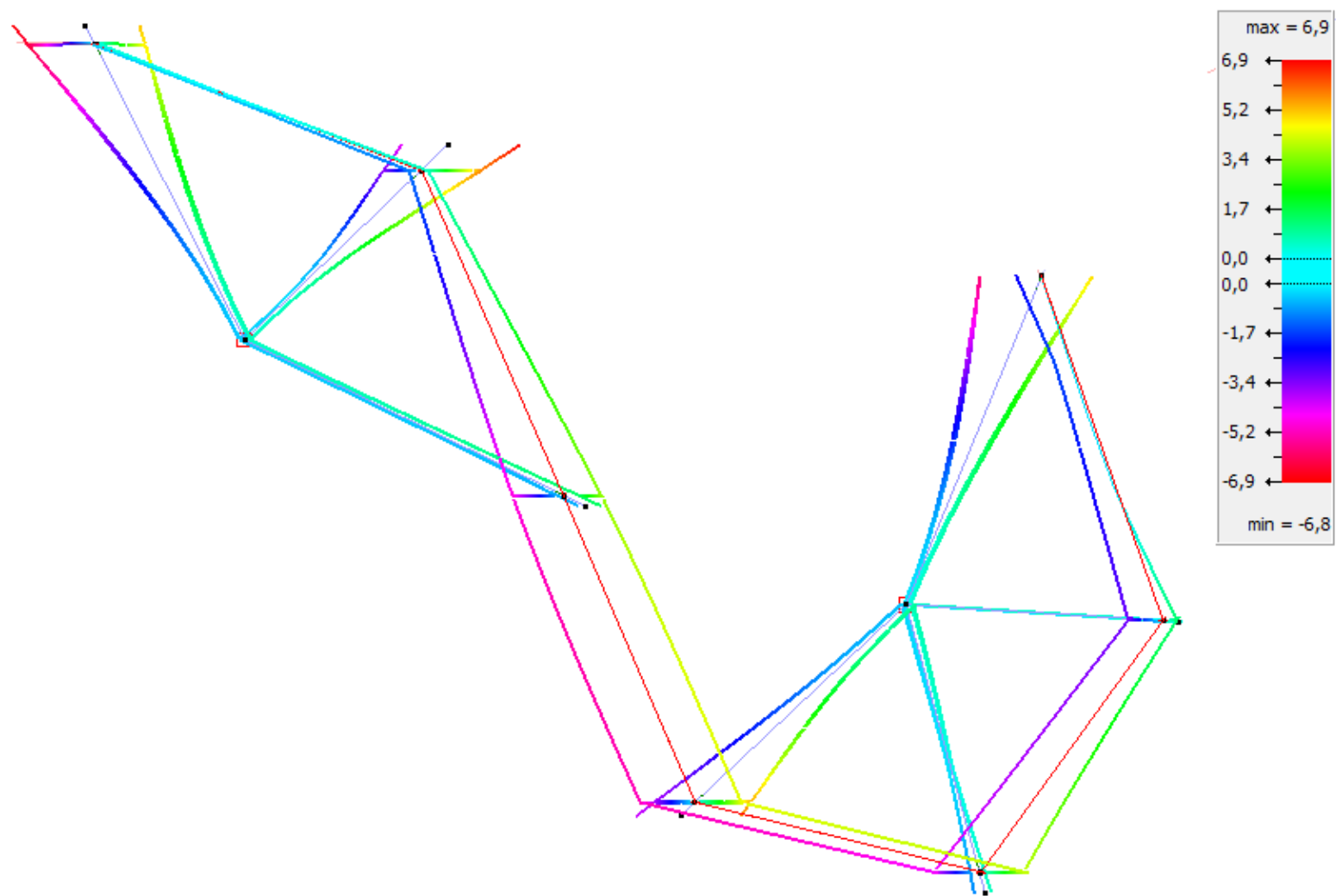


Figura 71. Desplaçaments horitzontals en l'eix X. Font: *Diamonds*.

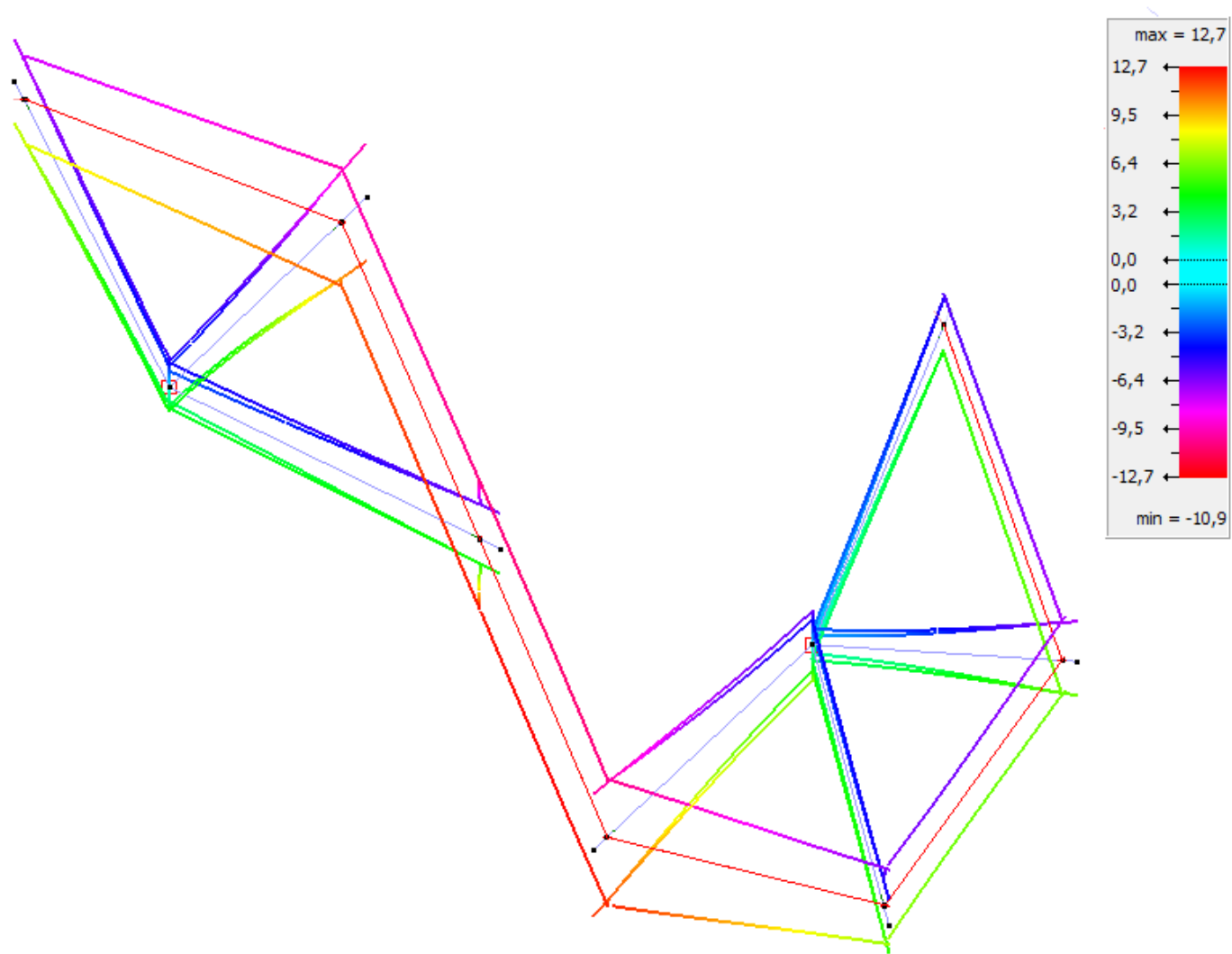


Figura 72. Desplaçaments horitzontals en l'eix Z. Font: *Diamonds*..

Un cop analitzades les fletxes, es procedeix a estudiar la resistència i estabilitat de l'acer, és a dir, si els elements metàl·lics són prou robusts per no trencar per flexió i tallant, o bé per vinclament, respectivament.

A la Figura 73 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a resistència del segon pilar, d'on s'extreu que els elements estan poc sol·licitats. La capacitat de les barres varia en la seva longitud, amb pics del 26%; els tornapunts estan sol·licitats entre un 3 i un 14% aproximadament; la part superior de la columna prop de l'1% i la inferior un 6-7%; i per últim, les unions són l'element més sol·licitat, amb un 12 i un 28%, depenent de la seva ubicació.

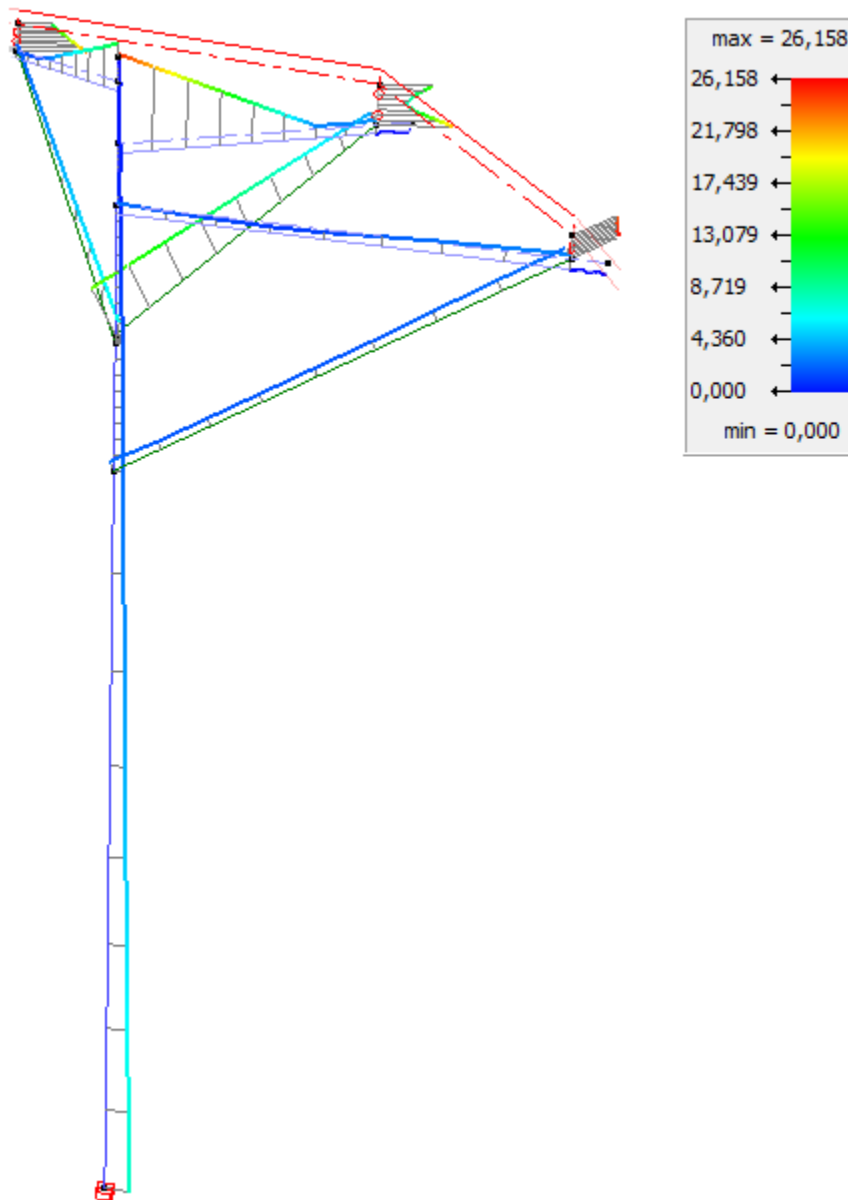


Figura 73. Capacitat de l'estructura del segon pilar a resistència. Font: *Diamonds*.

A la Figura 74 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a resistència del tercer pilar, d'on s'extreu que els elements com les barres i tornapuntes no estan tant sol·licitats com en l'anterior columna, ja que tenen una capacitat del 10% en un punt màxim, i prop del 5% en la majoria de la seva longitud. La part inferior de la columna també treballa menys, amb una capacitat del 14-15%, mentre que les unions si estan més sol·licitades que en l'anterior pilar, arribant al 58% aproximadament.

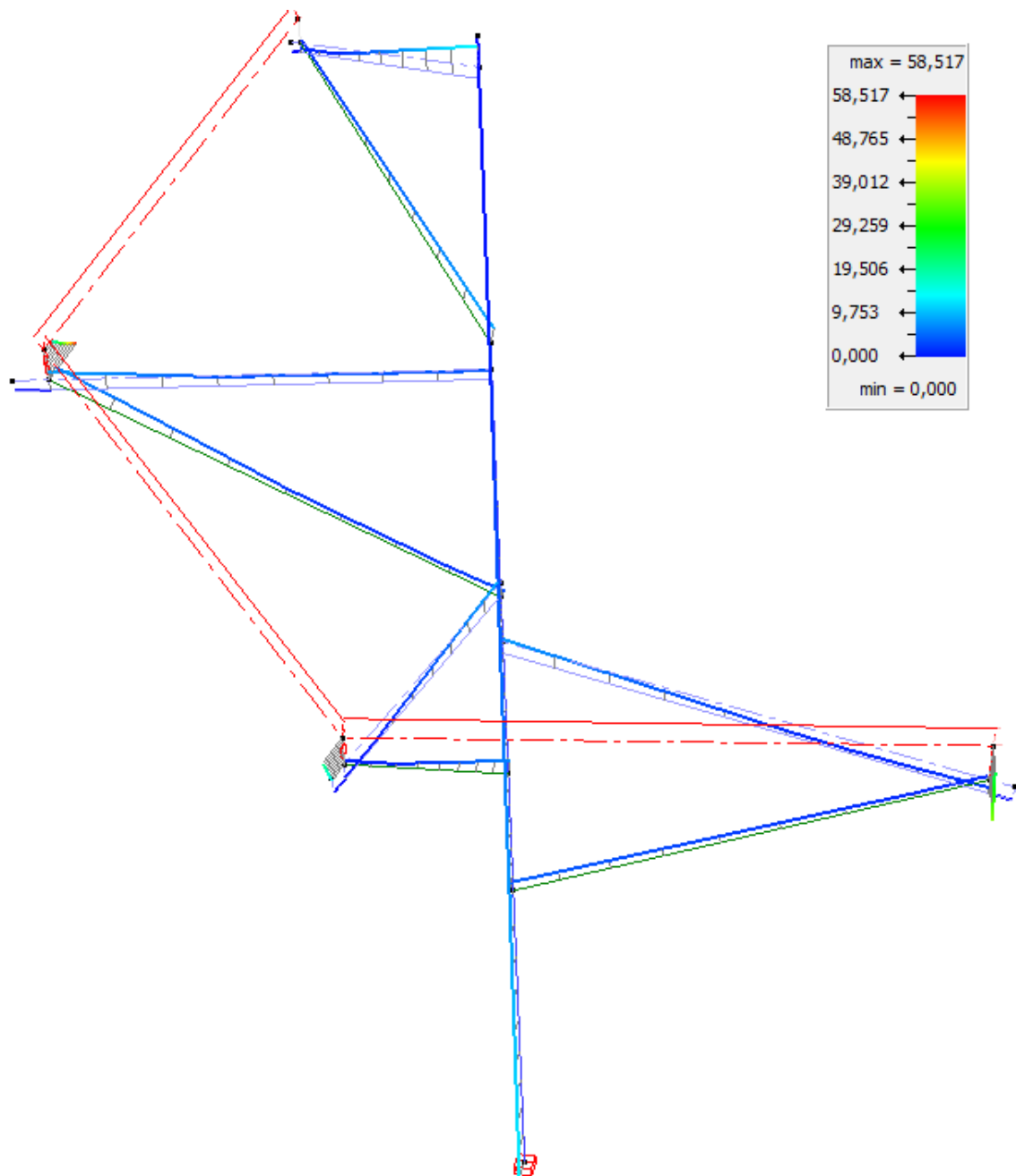


Figura 74. Capacitat de l'estructura del tercer pilar a resistència. Font: *Diamonds*.

A la Figura 75 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a estabilitat de la segona columna, els quals tampoc estan sol·licitats en excés, estant les barres sol·licitades un màxim de 20% de la seva capacitat, els tornapunts aproximadament un 15%, les columnes entre un 2% la part superior i un 7% a la part inferior, i les unions també estan sol·licitades amb un 27% aproximadament.

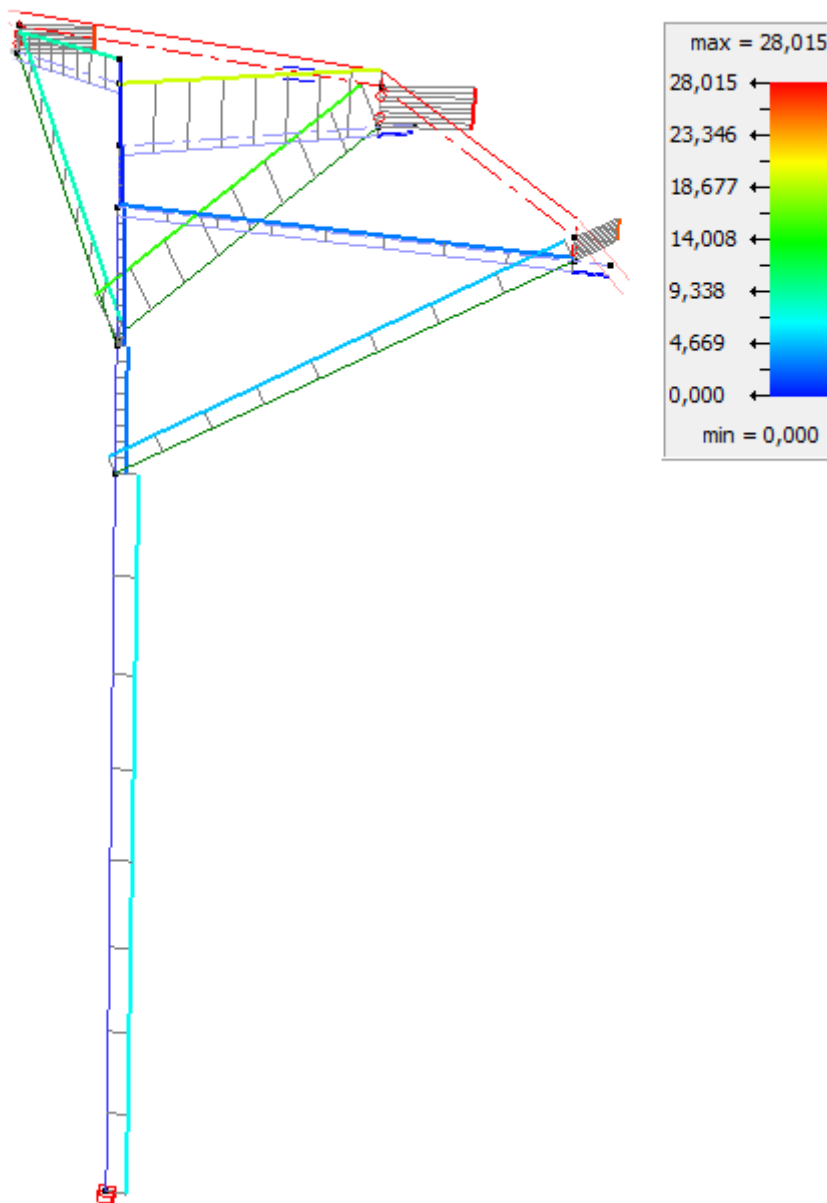


Figura 75. Capacitat de l'estructura de la segona columna en estabilitat. Font: *Diamonds*.

A la Figura 76 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a estabilitat del tercer pilar, on certs d'ells estan prop del 50% de la seva capacitat. Les barres estan sol·licitades un màxim de 12% de la seva capacitat, els tornapunts aproximadament un 8%, les columnes entre un 1% a la part superior i un 10% a la part inferior, i les unions són l'element més sol·licitat, arribant a un màxim del 49% de la seva capacitat aproximadament.

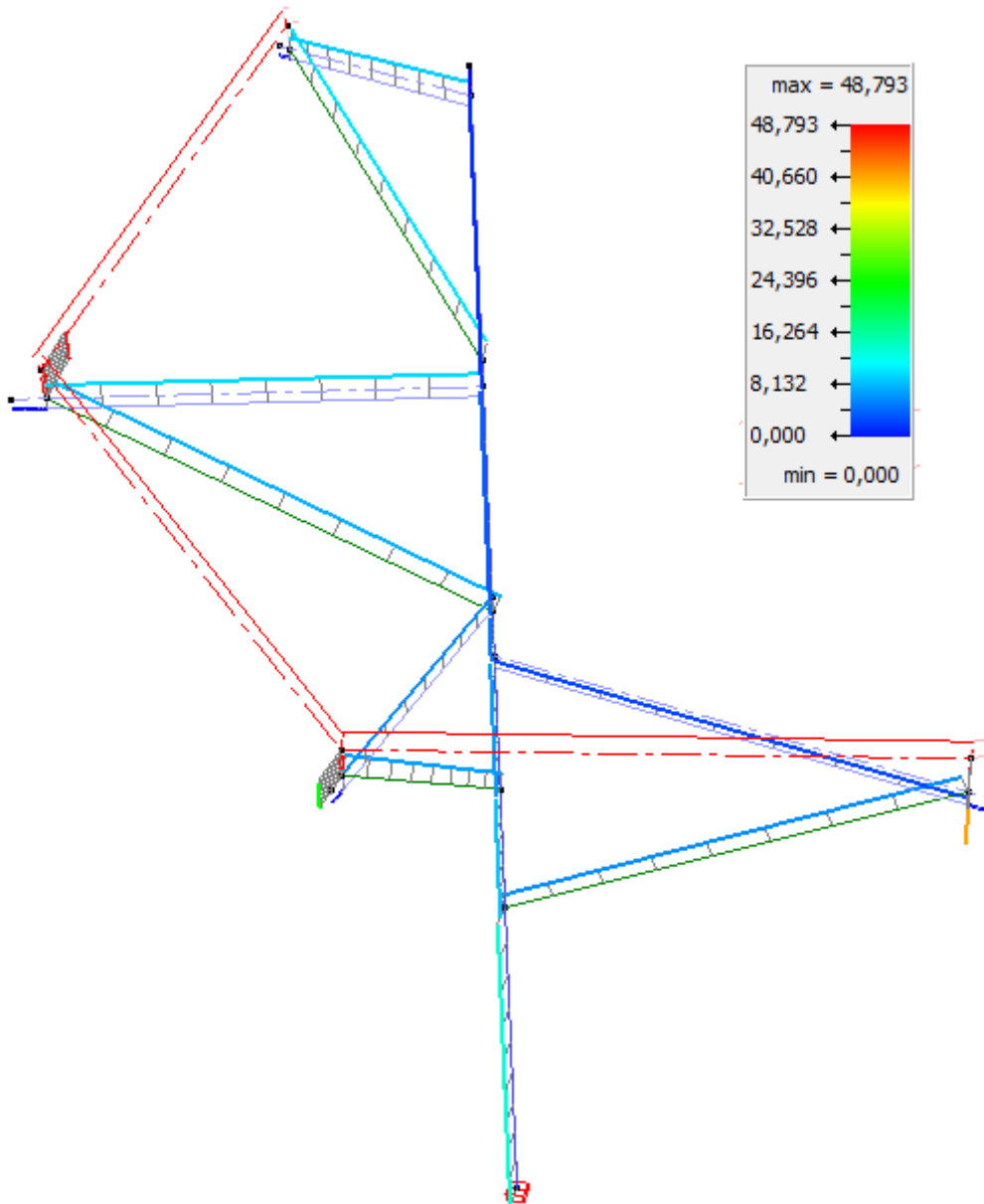


Figura 76. Capacitat de l'estructura de la tercera columna en estabilitat. Font: *Diamonds*.

A.8.5 Anàlisi 3

L'anàlisi 3, com s'ha comentat, comprèn el tram format pel quart i cinquè pilar, els quals es mostren a la Figura 77.

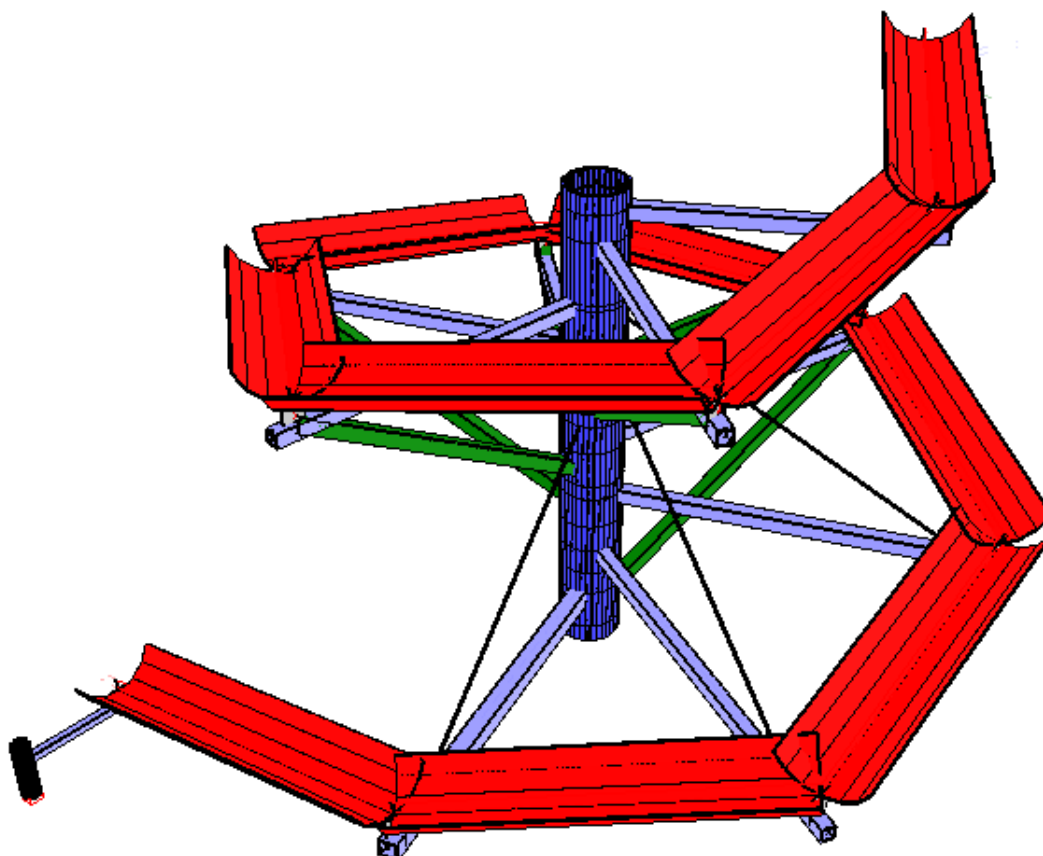


Figura 77. Esquema del segon tram d'anàlisi. Font: *Diamonds*.

A la Figura 78 es mostra la disposició de les càrregues de l'usuari a partir de la hipòtesi comentada, posicionant aquestes forces en els punts on el tobogan està suportat pel conjunt barra – tornapunta o el conjunt barra – tirant. El valor d'aquesta càrrega s'expressa en kN.

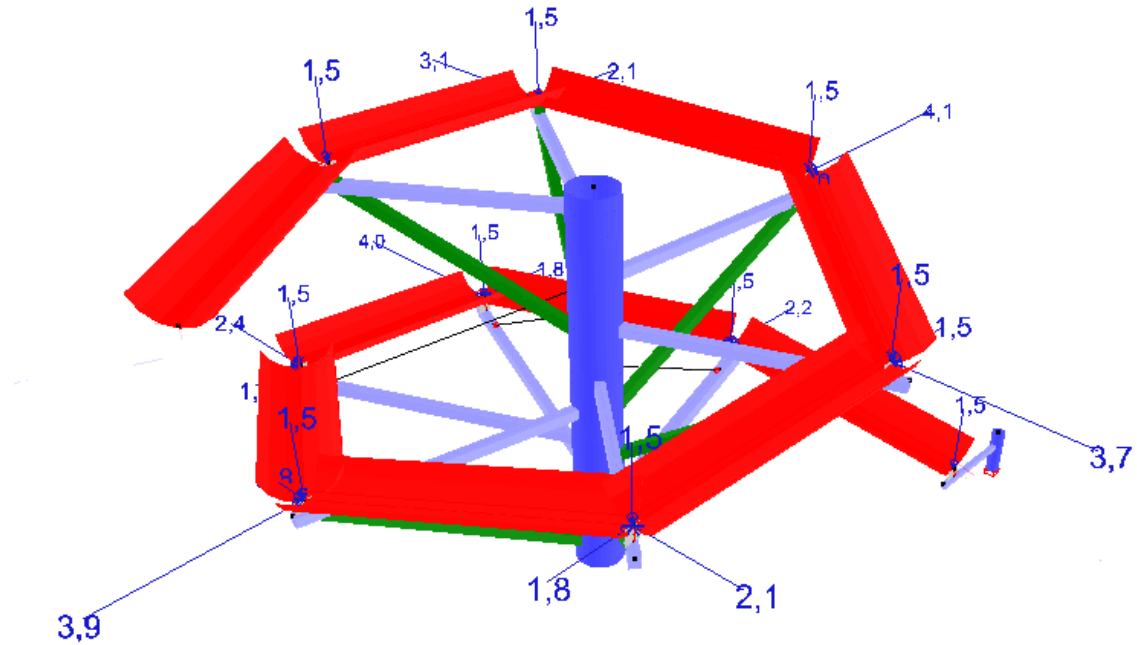


Figura 78. Càrregues de l'usuari en el segon tram del tobogan. Font: *Diamonds*.

A la Figura 79 es detalla la distribució de la càrrega de neu al llarg del tercer tram d'anàlisi, introduint la càrrega obtinguda en l'apartat 0. El valor d'aquesta càrrega s'expressa en kN/m.

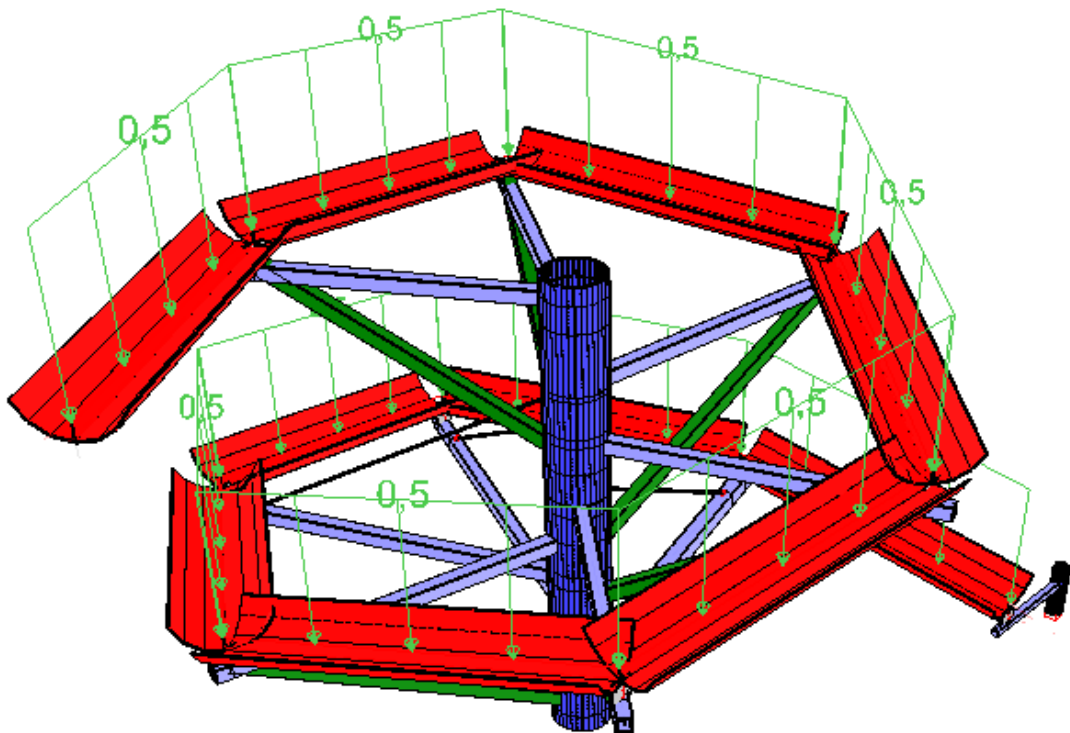


Figura 79. Distribució lineal de la càrrega de neu. Font: *Diamonds*.

Per altra banda, a la Figura 80 i a la Figura 68 es mostra les càrregues corresponents als dos vents segons la hipòtesi comentada anteriorment. Cal tenir en compte que el vent afecta de dues maneres: sobre el tobogan i sobre la columna.

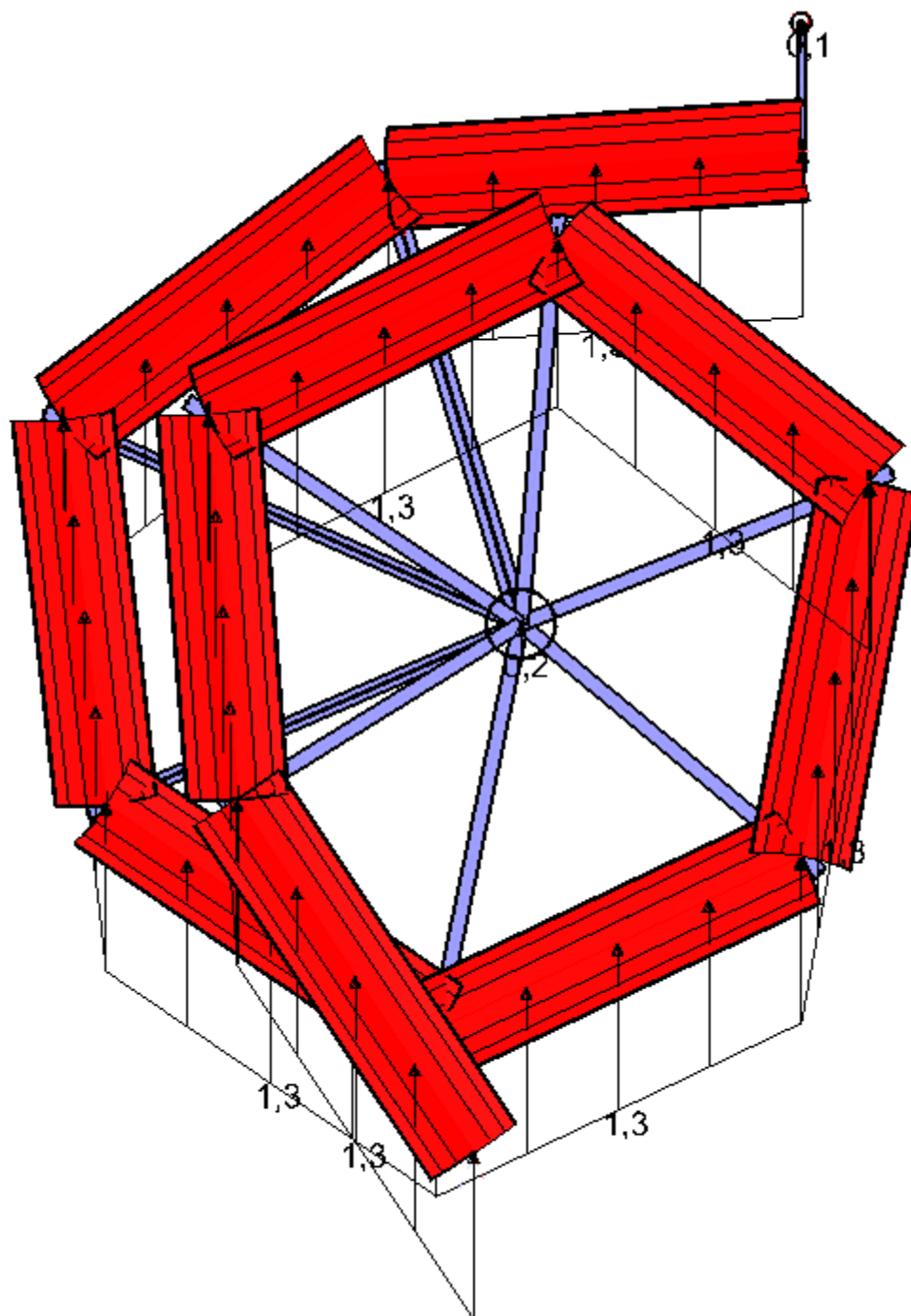


Figura 80. Càrrega del vent provinent del Sud. Font: *Diamonds*.

La distribució d'aquesta càrrega de vent es considera conservador, ja que en la realitat, el vent no influeix de la mateixa manera en cada punt del tobogan. Per exemple, hi ha punts del tobogan on el vent impacte en tota la superfície d'una peça, mentre que d'altres peces estan més a recés, i per tant, el vent no impacte tan directament, o bé ho fa amb una força menor.

Aquesta consideració s'aplica tant a la càrrega de vent de la Figura 80 com a la de la Figura 81.

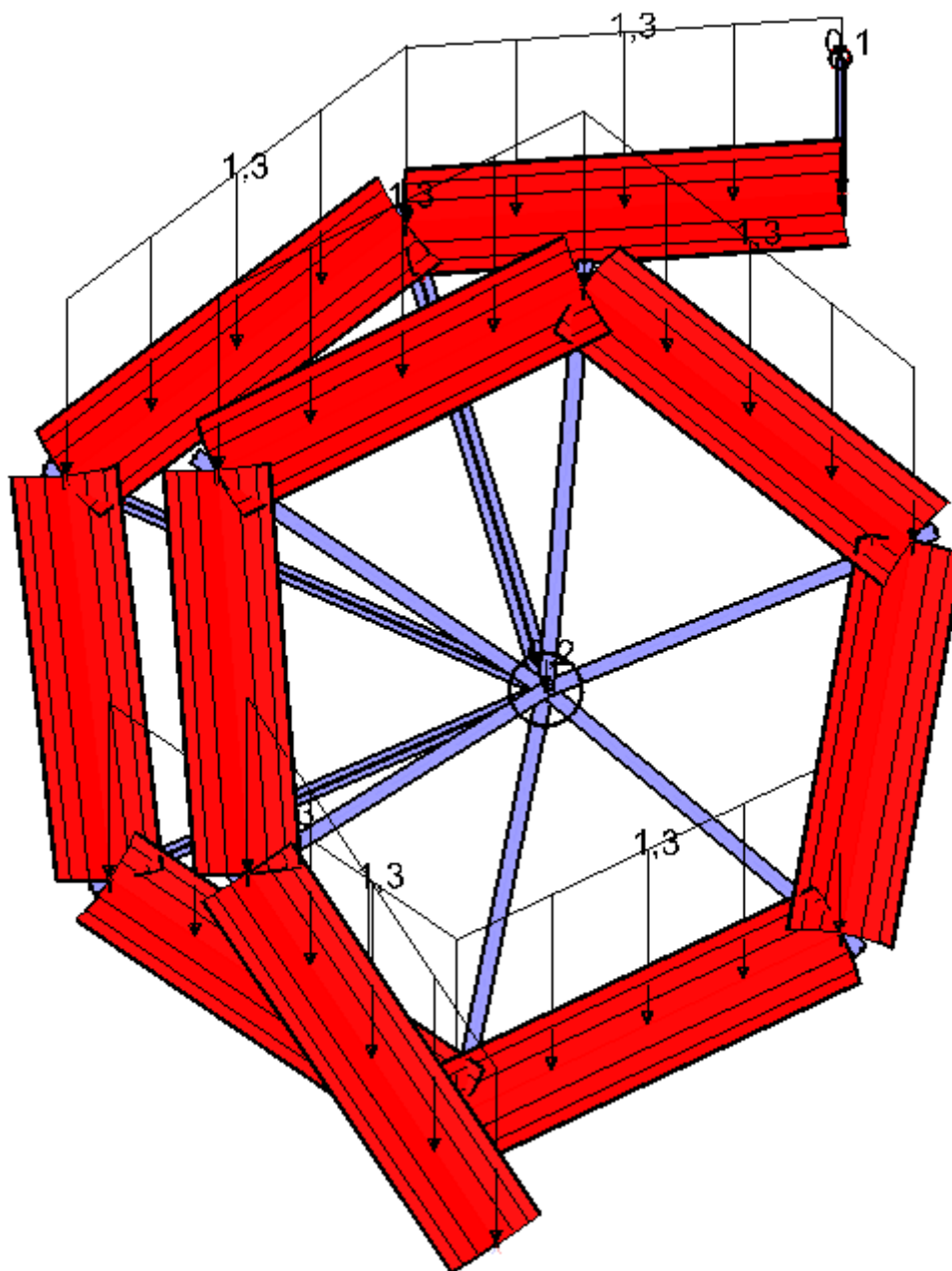


Figura 81. Càrrega del vent provinent del Nord. Font: *Diamonds*.

Un cop exposades les càrregues, es procedeix a mostrar els resultats de l'anàlisi d'aquest tram. Primerament es mostraran les fletxes corresponents als 3 eixos: l'eix y (vertical), l'eix x i l'eix z, sent els dos últims els corresponents a desplaçaments horitzontals.

L'anàlisi de les fletxes verticals (eix Y) d'aquest tram es mostrarà en dues imatges per tal de facilitar la percepció en observar els resultats, ja que la quantitat d'elements que hi ha impedeixen mostrar amb claredat els resultats. Aquesta divisió es farà per grup de barres en comptes de columnes.

A la Figura 82 es mostra la deformació vertical del primer grup de barres del quart pilar, on es detalla que la fletxa màxima és de 6,5 mm.

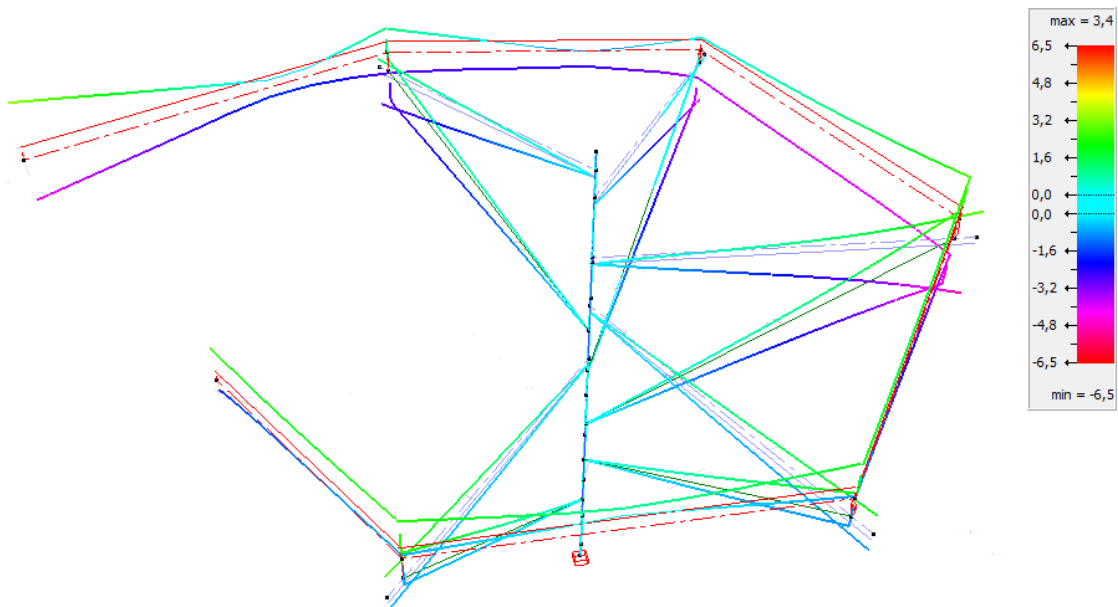


Figura 82. Fletxes en l'eix Y (verticals) del primer grup de barres del quart pilar. Font: *Diamonds*.

A la Figura 83 es mostra la deformació vertical del segon grup de barres de la quarta columna, juntament amb la de la cinquena columna, on es detalla que la fletxa màxima és de 8,3 mm.

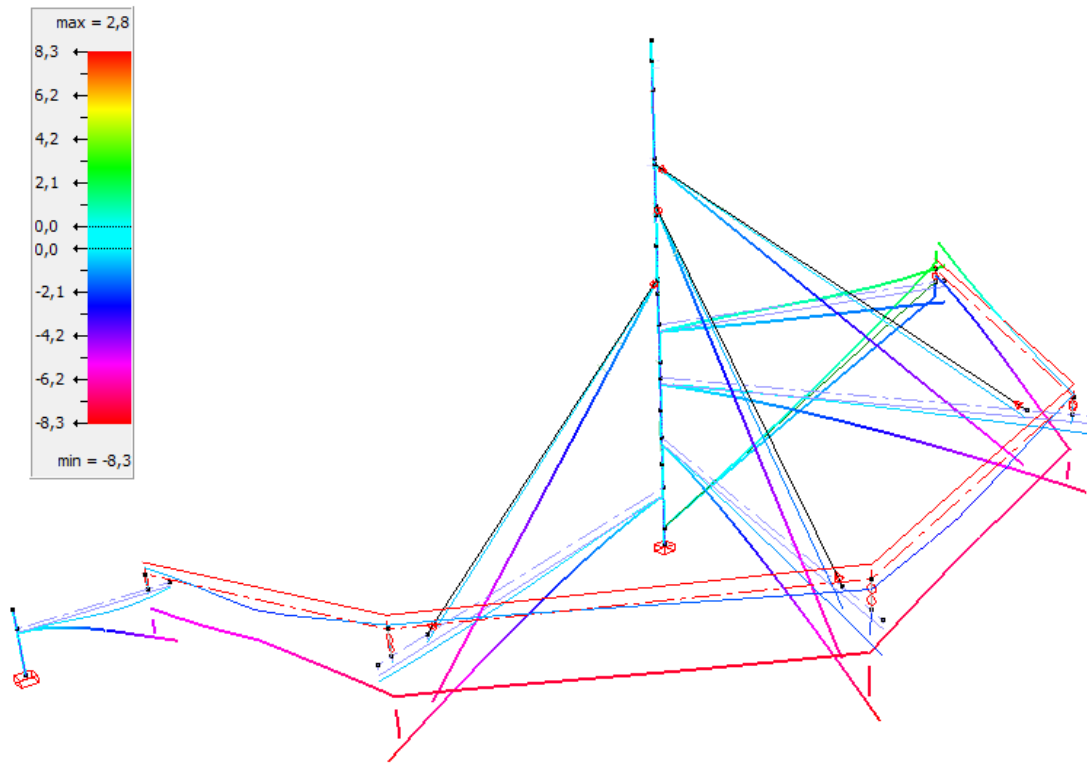


Figura 83. Fletxes en l'eix Y (verticals) del tercer pilar. Font: *Diamonds*.

L'anàlisi de les fletxes horitzontals (eix X i Z) d'aquest tram es mostrarà en dues imatges per tal de facilitar la percepció en observar els resultats, ja que la quantitat d'elements que hi ha impedeixen mostrar amb claredat els resultats, de la mateixa manera que s'ha realitzat amb les fletxes verticals.

A la Figura 84 es mostra el desplaçament horitzontal en l'eix X del primer grup de barres del quart pilar, els elements del qual tindran una fletxa màxima de 8,9 mm. Per altra banda, a la Figura 85 es mostra aquest mateix desplaçament per al segon grup de barres i el cinquè pilar, amb una fletxa màxima de 12,9 mm.

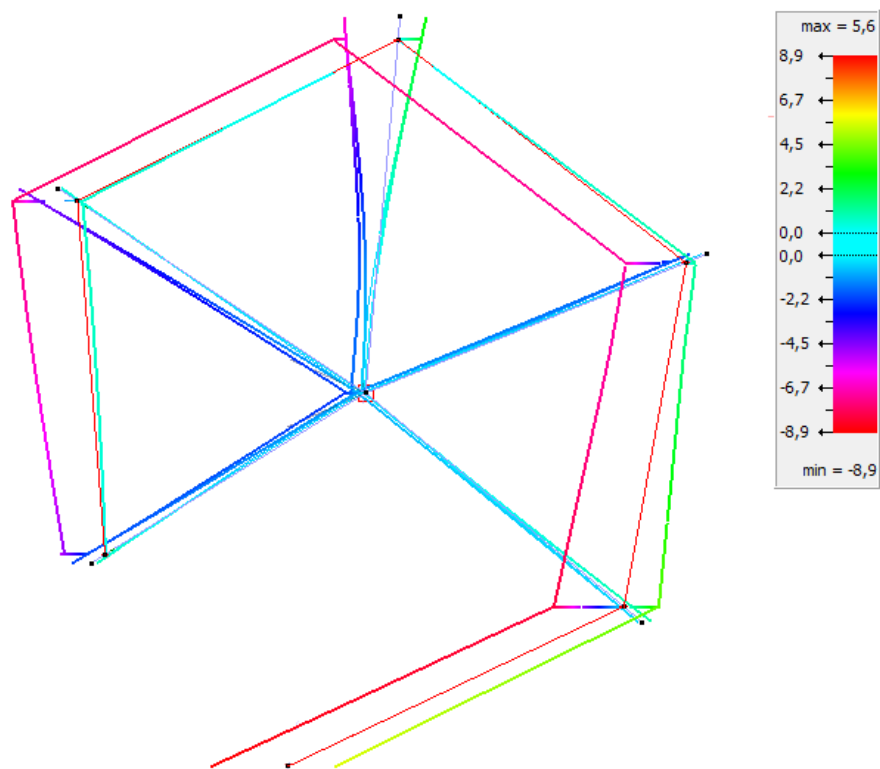


Figura 84. Fletxes horitzontals en l'eix X del primer grup de barres. Font: *Diamonds*.

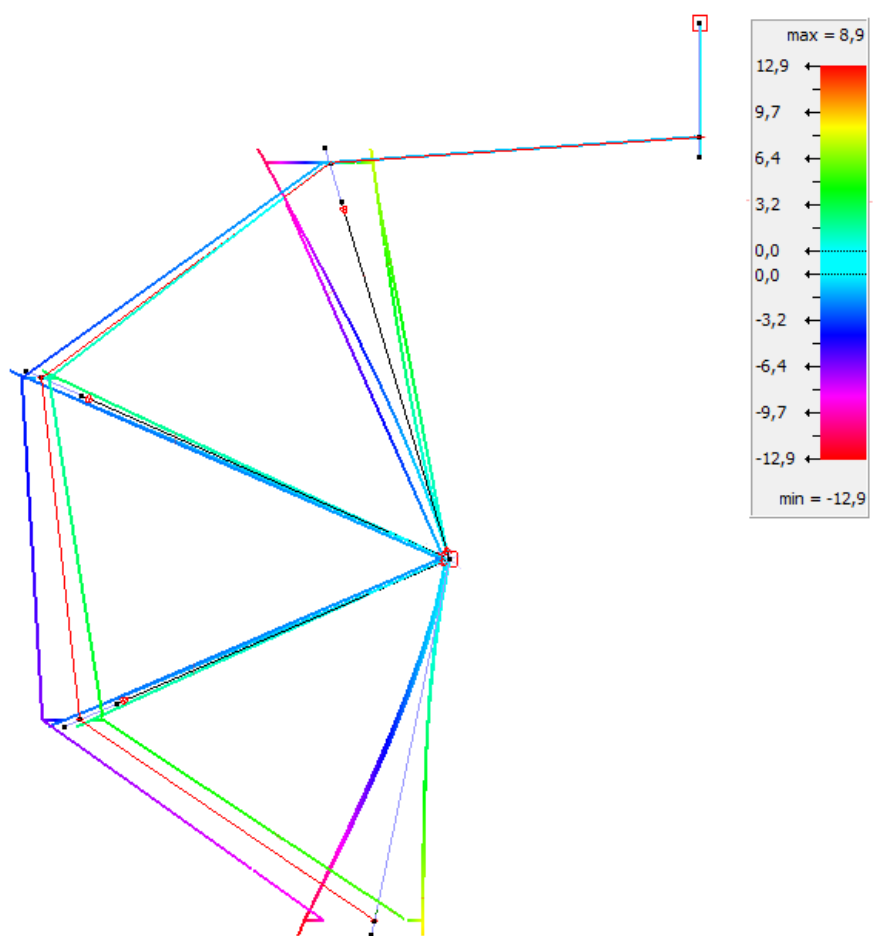


Figura 85. Desplaçaments horitzontals en l'eix X del segon grup de barres i el cinquè pilar. Font: *Diamonds*.

A la Figura 86 es mostra el desplaçament horitzontal en l'eix Z del primer grup de barres del quart pilar, els elements del qual tindran una fletxa màxima de 6,8 mm. Per altra banda, a la Figura 87 es mostra aquest mateix desplaçament per al segon grup de barres i el cinquè pilar, amb una fletxa màxima de 7,1 mm.

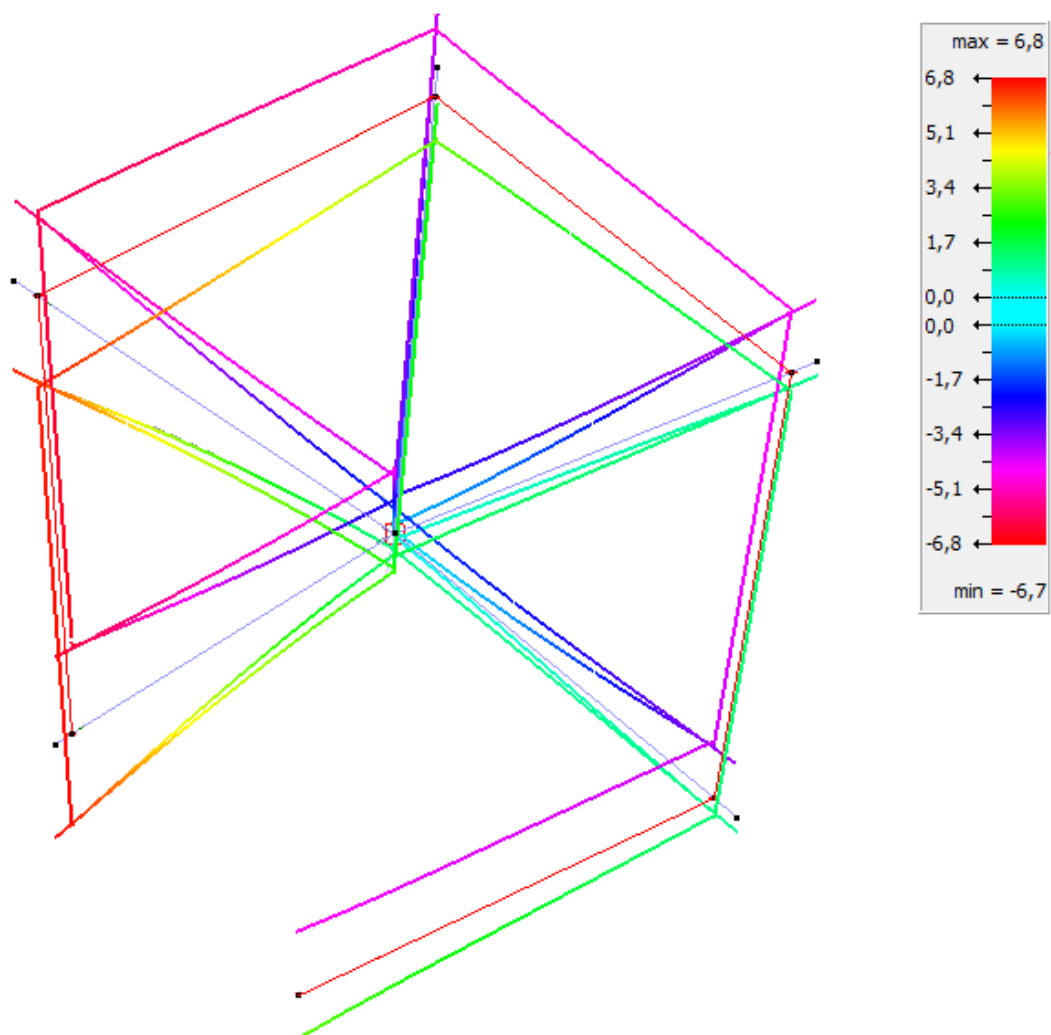


Figura 86. Desplaçaments horitzontals en l'eix Z del primer grup de barres. Font: *Diamonds*.

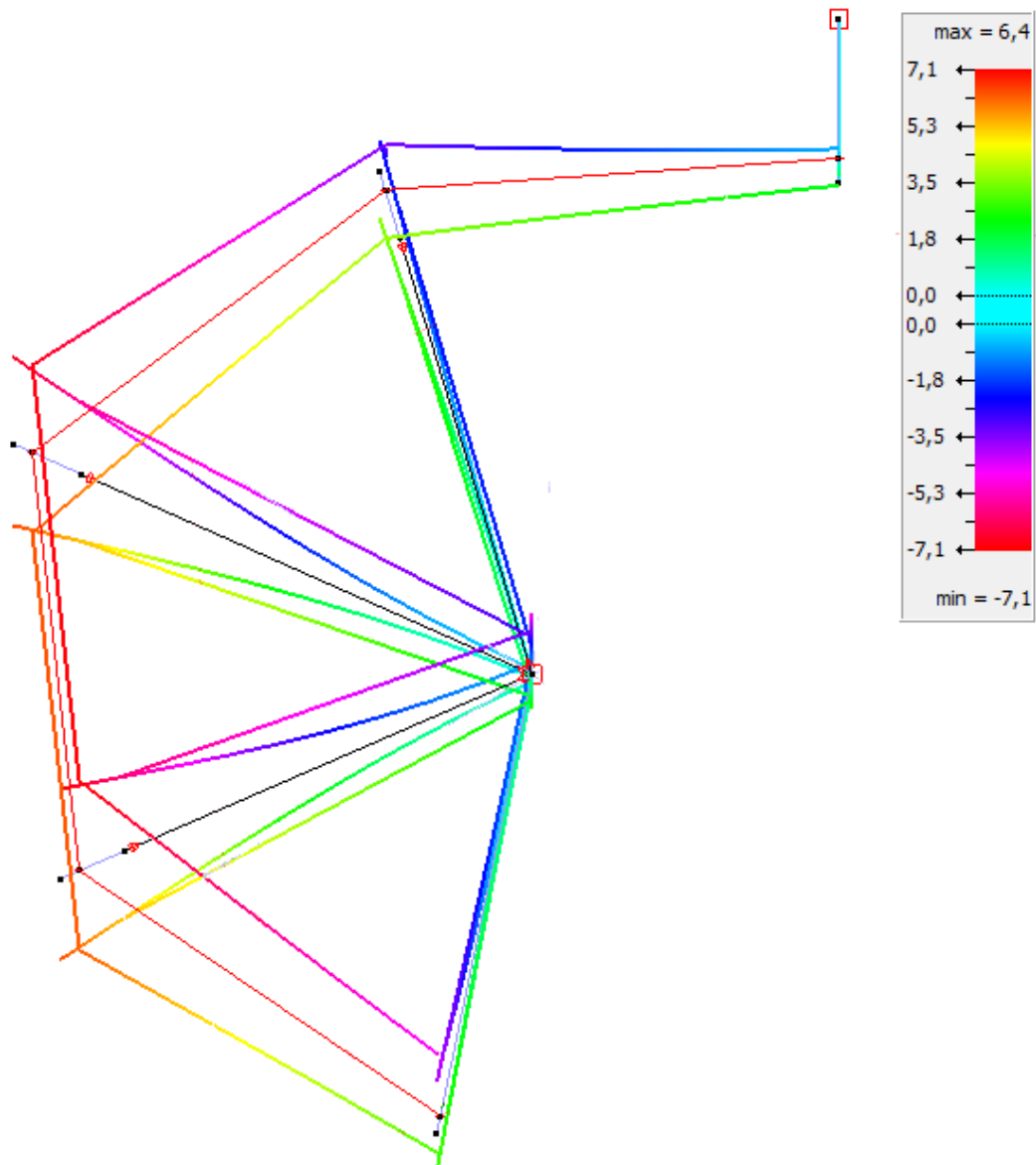


Figura 87. Desplaçaments horitzontals en l'eix Z del segon grup de barres i el cinquè pilar. Font: *Diamonds*.

Un cop analitzades les fletxes, es procedeix a estudiar la resistència i estabilitat de l'acer, és a dir, si els elements metàl·lics són prou robusts per no trencar per flexió i tallant, o bé per vinclament, respectivament.

A la Figura 88 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a resistència del quart i cinquè pilar. En aquest tram hi ha elements sol·licitats fins a un 52% de la seva capacitat, que tot i ser un valor més elevat respecte els anteriors trams, continua sent baix des d'un punt de vista de l'optimització.

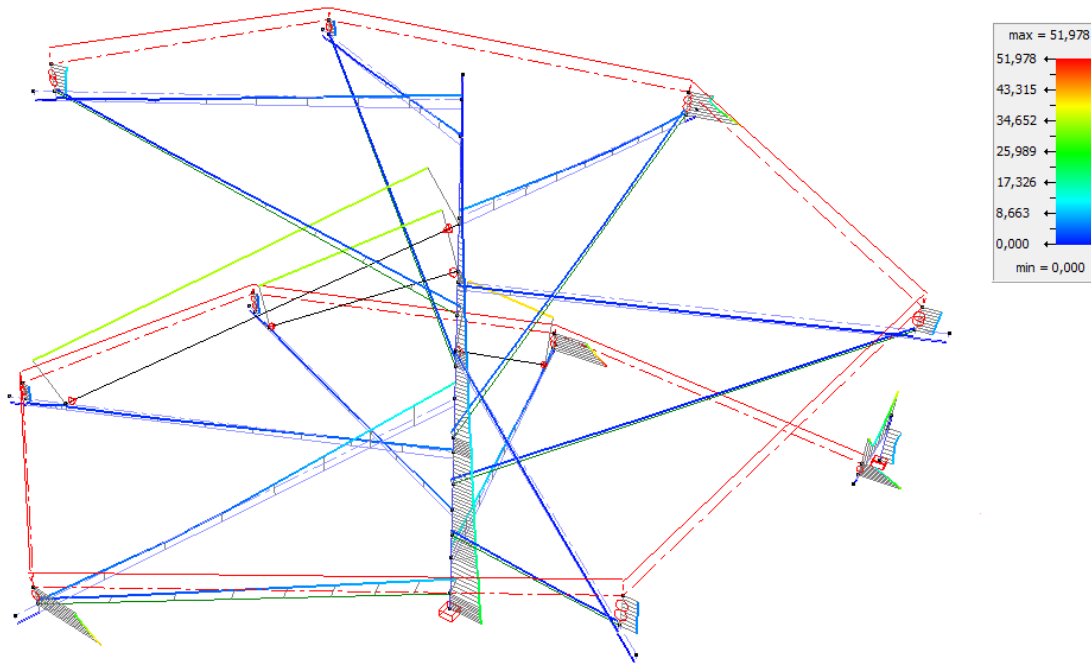


Figura 88. Capacitat de l'estructura del quart i cinquè pilar a resistència. Font: *Diamonds*.

La capacitat de les barres varia en la seva longitud, amb pics del 15%; els tornapunts estan poc sol·licitats, un 4% aproximadament; la part superior de la columna prop de l'1% i la inferior fins a un pic del 30%; els tirants de la setena i vuitena barra estan sol·licitats un 30% aproximadament, mentre que el de l'última barra arriba a un 40%; i per últim, les unions són l'element més sol·licitat, arribant a un 52%, depenent de la seva ubicació.

A la Figura 89 es mostra la capacitat dels elements metàl·lics a estabilitat de la quarta i cinquena columna, d'on s'extreu que els elements com les barres i tornapunts continuen estant pocs sol·licitats en paràmetres com vinclament lateral i per flexió, estant les primeres a una capacitat propera al 15%, i els segons sota del 8%.

Els tirants no estan tant sol·licitats en estabilitat, ja que són elements usats precisament per ajudar a reduir el vinclament, i només treballen a tracció. En la part superior del pilar no hi ha problemes de vinclament per flexió o lateral, mentre que la part inferior es troba a una capacitat d'estabilitat del 34% aproximadament.

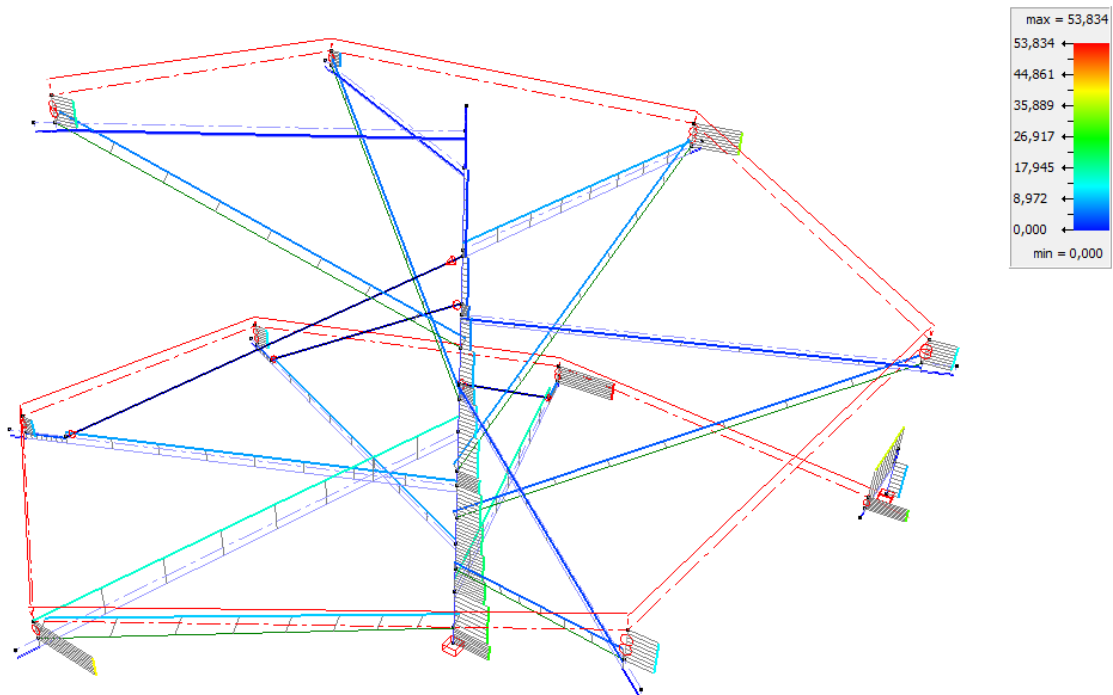


Figura 89. Capacitat de l'estructura del quart i cinquè pilar a resistència. Font: *Diamonds*.

A.8.6 Conclusions de l'estructura metàl·lica

Els perfils de les barres, tornapunts, columnes i tirants s'han escollit per tal que tinguin una fletxa acceptable, és a dir, que estèticament, l'estructura sigui agradable visualment. Com s'ha comentat, s'ha considerat que per la longitud d'aquests elements, una fletxa de 2 cm era imperceptible des d'una distància mitjana.

El fet d'haver restringit el compliment de l'estructura a la fletxa, provoca que en tema de resistència i estabilitat, l'estructura pugui estar sobredimensionada, ja que no s'arriba ni al 50% de la seva capacitat en la majoria d'elements i casos.

Per altra banda, tot i que perfils menors podrien complir amb la fletxa màxima marcada per normativa, o bé treballarien a les màximes possibilitats de resistència i estabilitat, de cara als usuaris, tenir perfils robusts també proporciona més seguretat o confiança al moment de gaudir de l'atracció.

A.9 Fonamentació

La fonamentació és l'element constructiu que permetrà transmetre els esforços de la columna al terreny mitjançant un bloc de formigó anomenat sabata. Aquesta té la funció de rebre i transmetre les càrregues provinents de l'estructura columna – arbre al terreny, mentre aquest últim ha de ser capaç de suportar-lo per tal d'evitar col·lapses.

En aquest apartat es detallarà el procediment de càlcul de la fonamentació necessària per suportar els elements columna – arbre, definint les característiques del terreny i el tipus de sabata, amb les seves dimensions i armadures.

A.9.1 Característiques del terreny

Degut a les limitacions econòmiques presents en un projecte d'aquest tipus, no es posseeix cap estudi geotècnic on es detalli amb precisió la caracterització del terreny i les seves propietats. Per tant, s'ha recollit la informació més precisa possible trobada en diferents estudis de la zona de Torroella de Montgrí, mentre que certs valors com la tensió admissible del terreny s'han suposat dins uns límits.

La primera capa de substrat es compon de limolites roges i gresos de gra fi, elements que provoquen que la caracterització del terreny sigui argila. No és necessari estudiar més capes, ja que aquesta arriba fins als tres metres, profunditat suficient per ubicar-hi les sabates.

A la Taula 32 es mostren els valors característics del terreny, obtinguts de l'*Informe geològic per al tràmit del pla especial urbanístic de millora urbana de Torroella de Montgrí*.

Taula 32. Valors característics del terreny. Font: Pròpia.

Densitat del terreny ρ (kg/cm ³)	Cohesió c (kg/cm ²)	Angle de fregament θ (°)	Tensió admissible σ_{adm} (kg/cm ²)
2,57	1,03	38,6	1,0

A.9.2 Càlcul de les sabates

La fonamentació escollida per al present projecte es basa en sabates aïllades per a cadascuna de les columnes. Es descarta l'opció de riestres entre les diferents sabates de cada columna, ja que la distància entre elles oscil·la entre els 6 i 9 metres, i el cost del formigó seria molt elevat.

Els valors que marcaran les dimensions i l'armadura de cadascuna de les cinc sabates aïllades són els corresponents a les sol·licitacions que transmetran les columnes o pilars al terreny, valors que es mostren a la Taula 33.

Taula 33. Sol·licitacions a la base de cadascun dels pilars. Font: *Pròpia*.

Pilar	N _d (kN)	V _{yd} (kN)	V _{xd} (kN)	T _z (kNm)	M _{yd} (kNm)	M _{xd} (kNm)
1	38,7	0,2	0,2	0,0	0,8	3,2
2	51,5	0,2	0,6	0,2	3,8	5,9
3	50,7	0,9	0,2	0,4	7,3	6,2
4	42,0	5,6	0,1	2,6	18,6	4,4
5	1,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,2

Primerament es realitza el predimensionament de la sabata, a partir del qual s'obtidran les mides reals. Com que no hi ha un moment dominant, i la norma *EHE-08* ho recomana, les sabates seran de planta quadrada. A partir de l'Equació 25 s'obté les dimensions de partida de la sabata, mostrades a la Taula 34.

$$\sigma_{adm} \leq 1,1 \cdot \frac{N}{A} = 1,1 \cdot \frac{N}{a \cdot b} \quad (\text{Eq. 25})$$

On σ_{adm} és la tensió admissible, en MPa; N és la força normal que rep cada columna, en N; A és l'àrea de la sabata, en mm²; mentre que a i b corresponen a la longitud de cada costat de la sabata, en mm.

Cal considerar que, encara que la sabata compleixi amb les dimensions segons l'Equació 25, també ha de complir amb la condició que el pilar pugui cabre totalment en la sabata. Per tant, el costat de la sabata ha de ser superior al diàmetre del pilar.

Taula 34. Predimensionament de la sabata. Font: Pròpia.

Sabata	A' (m ²)	a ₁ (m)	Ø _{pilar} (mm)	a (m)	b (m)	A (m ²)
1	0,434	0,659	0,8	1,0	1,0	1,00
2	0,578	0,760	1,0	1,2	1,2	1,44
3	0,569	0,754	1,0	1,2	1,2	1,44
4	0,471	0,686	0,7	1,0	1,0	1,00
5	0,016	0,125	0,2	0,	0,4	0,16

Pel nivell de fonamentació que requereix l'estructura metàl·lica, s'usaran sabates rígides, ja que el càlcul és més simplificat i no cal realitzar la comprovació a punxonament. La condició perquè una sabata sigui rígida, és que la volada de la sabata (v_{\max} en la Figura 90) sigui superior a dues vegades el cantell de la sabata (h en la Figura 90).

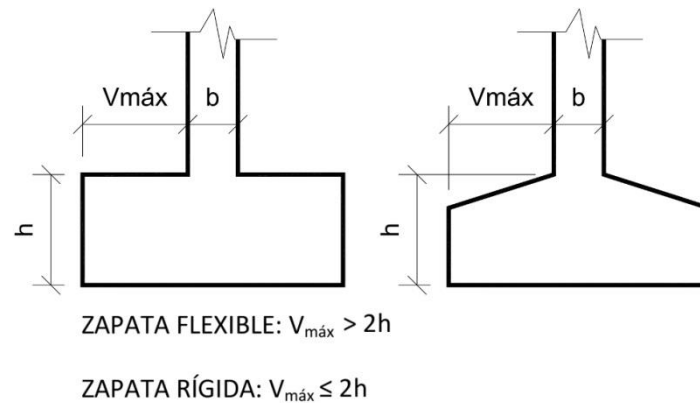


Figura 90. Condicions de sabata rígida i flexible. Font: UNAV.

Per tal que la sabata sigui rígida i treballi com a tal, s'haurà de complir l'expressió de l'Equació 26.

$$h \geq \frac{a - \phi_{pilar}}{4} \quad (\text{Eq. 26})$$

On h és el cantell de la sabata, en m; a és la longitud del costat de la sabata, en m; i ϕ_{pilar} correspon al diàmetre del pilar o columna sobre el qual recolza la sabata, en m. A la Taula 35 es mostra el cantell mínim d'aquestes, juntament amb les dimensions inicials que defineixen la geometria de la sabata.

Taula 35. Dimensions inicials de les sabates. Font: Pròpia.

Sabata	h_{\min} (m)	h (m)	a (m)	b (m)
1	0,05	0,3	1,0	1,0
2	0,05	0,3	1,2	1,2
3	0,05	0,3	1,2	1,2
4	0,075	0,3	1,0	1,0
5	0,075	0,3	0,5	0,5

A continuació es procedeix a calcular les càrregues que actuen sobre la sabata. La planta superior de la sabata es trobarà a nivell de la superfície, és a dir, que aquesta no estarà completament enterrada sota el terra. Aquesta característica implica que les forces del terra sobre la planta superior de la sabata siguin nul·les.

Per tant, a part de les forces transmeses per l'estructura metàl·lica, l'única força que es tindrà en consideració és el pes de la mateixa sabata, el qual es calcula a partir de l'Equació 27. Aquesta es fabricarà mitjançant formigó HA-25, el qual té una densitat de $2,5 \text{ T/m}^3$.

$$N_{sab} = \gamma \cdot A \cdot h \quad (\text{Eq. 27})$$

A la Figura 91 es mostra un esquema de les sol·licitacions totals que actuen sobre la sabata, amb els corresponents eixos.

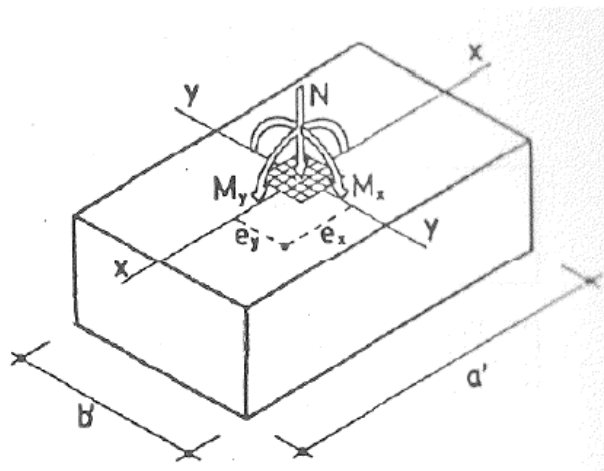


Figura 91. Esquema de les sol·licitacions sobre la sabata. Font: Hotmigónarmado (Montoya).

A l'Equació 28 es mostra la força normal total que actua sobre la sabata; a l'Equació 29 el moment que actua al voltant de l'eix Y i a l'Equació 30 el moment que actua al voltant de l'eix Z. Els valors que participen en aquestes equacions s'extreuen de la Taula 33.

$$N = N_d + N_{sab} \quad (\text{Eq. 28})$$

$$M_y = M_{yd} + V_{xd} \cdot h \quad (\text{Eq. 29})$$

$$M_x = M_{xd} + V_{yd} \cdot h \quad (\text{Eq. 30})$$

A la Taula 36 es mostren els valors de sol·licitacions que actuen sobre cadascuna de les sabates, obtinguts a partir de les equacions anteriors.

Taula 36. Sol·licitacions sobre les sabates. Font: *Pròpia*.

Sabata	N (kN)	M _y (kNm)	M _x (kNm)	T _z (kNm)
1	46,20	0,86	3,26	0,0
2	62,30	3,98	5,96	0,2
3	61,50	7,36	6,47	0,4
4	49,50	18,63	6,08	2,6
5	3,18	0,00	0,62	0,0

Les dimensions finals de la sabata es calculen a partir de la distribució de pressions del terreny sobre la base d'aquesta, distribució que depèn fonamentalment del tipus de sòl i de la rigidesa de la sabata. Per un sòl cohesiu, característic de terrenys argilosos, la llei de pressions es mostra a la Figura 92.

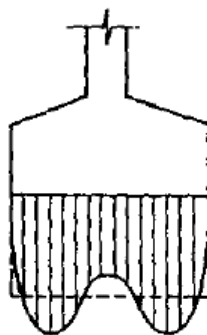


Figura 92. Pressions en una sabata rígida amb sòl cohesiu. Font: *Hormigónarmado (Montoya)*.

Per una sabata aïllada rectangular o quadrada, s'usa el mètode de l'àrea equivalent, suposant una distribució plàstica de les tensions amb la resultant vertical de les accions sobre la sabata. Mitjançant la distribució plàstica es simplifiquen bastant més els càlculs respecte de la distribució elàstica. A la Figura 93 es mostra l'àrea equivalent de la sabata, amb les accions aplicades.

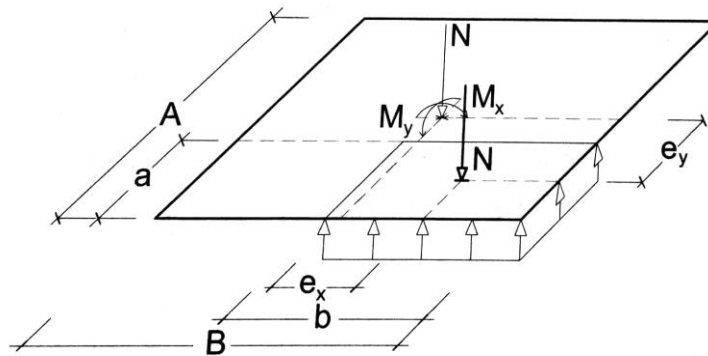


Figura 93. Àrea equivalent d'una sabata i distribució plàstica de tensions. Font: *Hormigón armado (Montoya)*.

L'àrea equivalent té una superfície sobre la qual actua una tensió de valor idèntic a la tensió admissible del terreny, estant aquesta àrea situada amb el seu centre de gravetat coincidint amb la posició de l'esforç normal (axil, N) i els moments que actuen sobre la base. Els costats de la sabata (A, B) es calculen a partir de l'Equació 31 i l'Equació 32 respectivament.

$$A = 2 \cdot e_y + a \quad (\text{Eq. 31})$$

$$B = 2 \cdot e_x + b \quad (\text{Eq. 32})$$

On e_x és la relació entre el moment M_x i la força N, i e_y és la relació entre el moment M_y i la força N, corresponents a les excentricitats produïdes per ambdós moments. A la Taula 37 es mostren els valors corresponents a les dues equacions anteriors, juntament amb les excentricitats de cada sabata (e_x i e_y). Cal considerar que els valors de A i B s'han d'arrodonir a decimals de 0,1, doncs els motlles de creació de sabates es mouen dins d'aquest rang.

Taula 37. Dimensions de la sabata segons la distribució de pressions. Font: Pròpia.

Sabata	e_x (m)	e_y (m)	A (m)	B (m)	A' (m)	B' (m)
1	0,07	0,02	1,04	1,14	1,20	1,20
2	0,10	0,06	1,33	1,39	1,50	1,50
3	0,11	0,12	1,44	1,41	1,50	1,50
4	0,12	0,38	1,75	1,25	1,90	1,90
5	0,20	0,00	0,50	0,89	1,00	1,00

Un cop s'han obtingut les dimensions de la sabata, la primera comprovació que s'ha de realitzar en sabates sotmeses a moments és la comprovació de bolc, que dependrà dels valors dels moments estabilitzadors i els desestabilitzants. A l'Equació 33 es mostra la condició per evitar el bolc de la sabata.

$$N \cdot \frac{A'}{2} \geq (M + T \cdot h) \cdot \gamma_E \quad (\text{Eq. 33})$$

On M correspon al valor del moment màxim entre M_y i M_x , i γ_E correspon al coeficient de seguretat que s'aplica al moment desestabilitzador, i té un valor de 1,80 segons la Taula 2.1 del CTE DB SE – C. A la Taula 38 es mostra la comprovació a bolc realitzada.

Taula 38. Comprovació a bolc de les sabates. Font: Pròpia.

Sabata	N (kN)	A' (m)	M (kNm)	T (kNm)	h (m)	Comprovació
1	46,20	1,20	3,26	0,0	0,3	Correcte
2	62,30	1,50	5,96	0,2	0,3	Correcte
3	61,50	1,50	7,36	0,4	0,3	Correcte
4	49,50	1,90	18,63	2,6	0,3	Correcte
5	3,18	1,00	0,62	0,0	0,3	Correcte

Com s'ha comentat anteriorment, les sabates no estan arriostrades, de manera que s'ha de realitzar la comprovació de seguretat a lliscament. La força estabilitzant correspon al fregament entre terreny i sabata, o bé la cohesió d'aquesta, mentre que la desestabilitzant correspon al tallant. L'expressió de comprovació per a sòls cohesius es mostra a l'Equació 34.

$$A \cdot 0,5 \cdot c \geq \gamma_R \cdot V \quad (\text{Eq. 34})$$

On A correspon a l'àrea de la sabata, en m^2 ; c és el valor de la cohesió segons la Taula 32, en kN/m^2 ; γ_R és el valor del coeficient de seguretat al lliscament, amb valor de 1,5 per a situació persistent; i V correspon al valor del tallant en X i Y respectivament. A la Taula 39 es mostren els resultats

Taula 39. Comprovació a lliscament de la sabata. Font: *Pròpia*.

Sabata	Lliscament en Y			Lliscament en X		
	A-0,5-c	$\gamma_R \cdot V_y$	Comp.	A-0,5-c	$\gamma_R \cdot V_x$	Comp.
1	71	0,30	Correcte	71	0,30	Correcte
2	110	0,30	Correcte	110	0,90	Correcte
3	159	1,35	Correcte	159	0,30	Correcte
4	237	8,40	Correcte	237	0,15	Correcte
5	71	2,10	Correcte	71	0,00	Correcte

Un cop realitzades ambdues comprovacions, cal dimensionar l'armadura que incorporarà la sabata per tal de suportar les traccions que es produeixen a la seva base inferior. Acord a la Instrucció Espanyola, el model de bieles i tirants que s'ha d'utilitzar per a una sabata rígida es representa a la Figura 94.

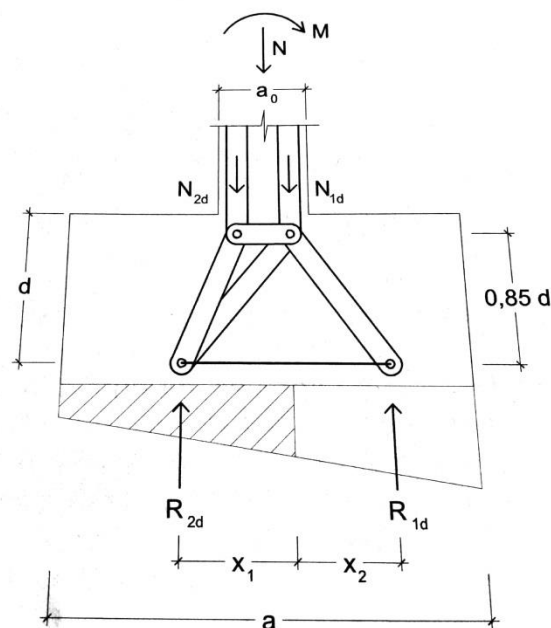


Figura 94. Model de bieles i tirants per a sabates rígides. Font: *Hormigónarmado (Montoya)*.

En el cas de compressió excèntrica, l'armadura principal ha de resistir la tracció T_d , l'expressió de càlcul de la qual es mostra a l'Equació 35.

$$T_d = \frac{R_{1d}}{0,85 \cdot d} \cdot (x_1 - 0,25 \cdot a) = A_s \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq. 35})$$

On la variable R_{1d} es calcula a partir de l'Equació 36; la variable x_1 es calcula mitjançant l'Equació 37; d equival a la distància a la qual es troba l'armadura, corresponent a 5 cm sobre la base inferior; A_s és l'armadura necessària per suportar la tracció T_d ; i f_{yd} és el límit elàstic de l'acer amb coeficient de minoració inclòs, el qual ha de ser superior a 400 N/mm².

$$R_{1d} = \frac{N_d}{2} \cdot (1 + 3 \cdot \eta) \quad (\text{Eq. 36})$$

$$x_1 = a \cdot \frac{1 + 4 \cdot \eta}{4 + 12 \cdot \eta} \quad (\text{Eq. 37})$$

Ambdues equacions incorporen la variable η , sent l'excentricitat relativa de la càrrega, la qual es calcula mitjançant l'Equació 38.

$$\eta = \frac{M_d}{N_d \cdot a} \quad (\text{Eq. 38})$$

A la Taula 40 es mostra el procediment de càlcul de l'armadura de les sabates per a la direcció de l'eix Y segons la Figura 91.

Taula 40. Armadura de les sabates en l'eix Y. Font: Pròpia.

Sabata	η	x_1 (m)	R_{1d} (kN)	d (mm)	T_d (kN)	A_s (mm ²)
1	0,02	0,30	24,18	250	10,87	27,18
2	0,04	0,39	35,13	250	18,32	45,81
3	0,07	0,47	36,88	250	28,94	72,35
4	0,17	0,61	37,45	250	10,96	27,40
5	0,00	0,30	1,59	250	1,87	4,67

A la Taula 41 es mostra el procediment de càlcul de l'armadura de les sabates per a la direcció de l'eix X segons la Figura 91.

Taula 41. Armadura de les sabates en l'eix X. Font: Pròpia.

Sabata	η	x_1 (m)	R_{1d} (kN)	d (mm)	T_d (kN)	A_s (mm ²)
1	0,06	0,31	22,94	250	10,87	27,18
2	0,06	0,40	30,68	250	18,32	45,81
3	0,06	0,47	29,79	250	28,94	72,35
4	0,06	0,58	24,36	250	43,68	109,19
5	0,16	0,33	0,96	250	1,87	0,37

L'excentricitat de les sabates 1, 2, 3 i 5 és pràcticament nul·la, i es podria considerar l'opció d'usar l'Equació 39 per al càlcul de la tracció T_d , la qual és característica per a sabates amb càrregues centrades.

$$T_d = \frac{N_d}{2 \cdot 0,85 \cdot d} \cdot \left(\frac{a}{4} - \frac{\emptyset_{pilar}}{4} \right) = A_s \cdot f_{yd} \quad (\text{Eq. 39})$$

Per últim, cal comprovar la quantia mínima de l'armadura a partir de l'Equació 40, ja que en cas de ser aquesta superior a les trobades mitjançant el mètode bieles i tirants, sempre s'ha de considerar la de valor més gran.

$$A_s \geq 0,0018 \cdot b \cdot d \quad (\text{Eq. 40})$$

A la Taula 42 es detalla l'armadura que ha de tenir cadascuna de les sabates per cada direcció. Es posarà la mateixa armadura en ambdós sentits, sempre la superior.

Taula 42. Armadura que ha de disposar cada sabata. Font: Pròpia.

Sabata	$A_{s,y}$ (mm ²)	$A_{s,x}$ (mm ²)	A_{min} (mm ²)	A_s (mm ²)	Barres
1	27,18	27,18	540	540	7Ø10 mm
2	45,81	45,81	675	675	6Ø12 mm
3	72,35	72,35	810	810	8Ø12 mm
4	27,40	109,19	990	990	5Ø16 mm
5	4,67	0,37	540	540	7Ø10 mm

A.9.3 Conclusions

Les sabates no requereixen ni d'unes grans dimensions ni de molta àrea d'armadura, ja que com s'ha comentat, respecte d'altres edificacions com naus industrials per exemple, les càrregues aplicades sobre les sabates són de valor baix. En aquest projecte es treballen amb axils de valor 60 kN aproximadament i moments baixos, sent el més gran de 20 kNm, ambdues càrregues aplicades a les sabates.

Això es demostra en la quantia mínima, ja que totes les sabates hauran de dur l'armadura mínima per geometria que imposa la norma. Encara que la sabata tingui càrregues diferents en la direcció X i Y, es posarà la mateix armadura en ambdós costats, ja que ambdues requereixen l'armadura mínima.

ANNEX B: SEGURETAT EN L'ATRACCIÓ

B Seguretat en l'atracció

A diferència de la resta d'atraccions, com poden ser les muntanyes russes, els tobogans aquàtics no tenen dispositius que proporcionin una seguretat addicional als usuaris. Per tant, la seguretat és de màxima prioritat en tots els aspectes de l'atracció, sent el punt més important el contacte permanent de l'usuari amb el tobogan.

B.1 Avaluació preliminar de riscos

Per abordar el tema de la seguretat en una atracció aquàtica, el primer pas és identificar i avaluar quins són els riscos presents. Aquesta avaluació detalla quins són els riscos potencials, les possibles mesures de protecció per disminuir-los, i si aquestes mesures aconseguen reduir el risc.

A la Taula 43 es mostra una avaluació inicial dels riscos presents al tobogan, detallant quin és el risc en qüestió, l'origen que el produeix, les conseqüències que té, el nivell de risc assignat, les mesures de protecció que s'adopten per reduir-lo, i per últim, una avaluació de si s'aconsegueix aquest objectiu.

Taula 43. Avaluació preliminar de riscos.

Perills, riscos i situacions perilloses	Origen	Possibles conseqüències	Estimació del risc	PM Mesures de protecció per reduir el riscs RR Risc residual	Avaluació del risc S'aconsegueix disminuir-lo
A1 Caigudes a la plataforma de sortida	La plataforma de sortida conté més usuaris dels permesos.	Lesions causades per la mateixa caiguda o empentes entre els usuaris.	Alt	PM Control previ del nombre de persones que accedeixen a l'inici del tobogan.	Si
A2 Caigudes a la plataforma de sortida	Els usuaris juguen o realitzen moviments perillosos, posant en risc la seva segureta i podent caure per les escales.	Lesions causades per la mateixa caiguda o empentes entre els usuaris.	Alt	PM Els socorristes adverteixen de mantenir-se a la zona de sortida amb posicions quietes, sense moviments bruscs entre usuaris. RR Els usuaris no fan cas de les indicacions.	No
B1 Col·lisió entre usuaris en el recorregut de lliscament	Diferents constitucions (pes i alçada) dels usuaris.	Lesions causades per un xoc entre els usuaris, sent la part del cos amb més probabilitat d'impacte l'esquena.	Mig	PM El socorrista a la plataforma de sortida ha de donar més temps d'espera si la persona és de constitució petita, ja que va més ràpid.	Si

<p>B2</p> <p>Col·lisió entre usuaris en el recorregut de lliscament</p>	<p>Els usuaris baixen pel tobogan amb una posició inadequada o bé canvien aquesta durant el seu transcurs</p>	<p>Lesions causades per un xoc entre els usuaris, sent la part del cos amb més probabilitat d'impacte l'esquena.</p>	<p>Alt</p>	<p>PM Recordatori senyalitzat i verbal (per part del socorrista) de la correcta posició de lliscament, i prohibició de les posicions segudes o agenollades.</p> <p>RR Els usuaris no fan cas de les indicacions del socorrista, ni de les senyalitzacions.</p>	<p>No</p>
<p>B3</p> <p>Col·lisió entre usuaris en el recorregut de lliscament</p>	<p>Mal funcionament en el cabal d'aigua, disminuint la velocitat dels usuaris.</p>	<p>Lesions causades per un xoc entre els usuaris, sent la part del cos amb més probabilitat d'impacte l'esquena.</p>	<p>Mig</p>	<p>PM Control per sensors del cabal en tot moment en l'atracció, donant avís al socorrista si canvia.</p> <p>RR Desfasament en el temps de comunicació.</p>	<p>No</p>
<p>B4</p> <p>Col·lisió entre usuaris en el recorregut de lliscament</p>	<p>Diferents velocitats de descens dels usuaris, causada per variància en els banyadors (tanga vs <i>boxer</i> llarg)</p>	<p>Lesions causades per un xoc entre els usuaris, sent la part del cos amb més probabilitat d'impacte l'esquena.</p>	<p>Mig</p>	<p>PM El socorrista a la plataforma de sortida ha de donar més temps d'espera si la persona porta un banyador més lleuger.</p>	<p>Si</p>

<p>B5</p> <p>Col·lisió entre usuaris en el recorregut de lliscament</p>	<p>Els usuaris salten imprudentment sobre la pista de lliscament i sense esperar la indicació del socorrista.</p>	<p>Lesions causades per un xoc entre els usuaris, sent la part del cos amb més probabilitat d'impacte l'esquena.</p>	<p>Alt</p>	<p>PM</p> <p>Control per semàfor dels temps de sortida, a més del socorrista.</p> <p>Entrada prèvia a la pista de lliscament a partir d'una petita piscina.</p> <p>RR</p> <p>Els usuaris no fan cas del semàfor o del socorrista.</p>	<p>No</p>
<p>C1</p> <p>Col·lisió entre usuaris a la piscina de recepció</p>	<p>Sortida amb retard de la piscina de recepció per part d'un usuari.</p>	<p>Lesions produïdes per l'impacte entre dos usuaris.</p>	<p>Alt</p>	<p>PM</p> <p>Indicacions per part del socorrista per agilitzar la sortida dels usuaris de la piscina de recepció.</p> <p>Raig d'aigua en la zona de recepció que empenta l'usuari cap a les escales.</p> <p>RR</p> <p>L'usuari ignora les indicacions del socorrista, i espera a altres usuaris.</p>	<p>No</p>

C2 Col·lisió entre usuaris a la piscina de recepció	Diferents velocitats de descens de dos usuaris consecutius, arriben a baix al mateix moment	Lesions produïdes per l'impacte entre dos usuaris.	Mig	PM El socorrista a la plataforma de sortida ha de donar més temps d'espera si la persona és de constitució petita, ja que va més ràpid.	Si
C3 Col·lisió entre usuaris a la piscina de recepció	Els usuaris retornen a la piscina de recepció per esperar un usuari conegut, entrant dins d'ella.	Lesions produïdes per l'impacte entre dos usuaris.	Baix	PM El socorrista a la piscina de recepció indica als usuaris que surtin de la piscina i es dirigeixin a l'exterior d'aquesta. RR Els usuaris no atenen a les indicacions dels socorristes i accedeixen igualment a la piscina.	No

B.2 Reducció de riscos

En aquest apartat es detallen les diferents solucions o normes a seguir per tal de reduir els riscos de la Taula 43. Cada subapartat correspon a un element físic de l'atracció, com pot ser la piscina o la plataforma de sortida, o bé a un marc normatiu com la senyalització.

B.2.1 Restriccions d'usuaris

L'entrada a l'atracció està restringida a grups de persones que no compleixin els requisits de seguretat d'aquesta. A la Taula 44es mostren les restriccions, juntament amb la justificació corresponent per no posar en risc la seva integritat física.

Taula 44. Justificació de la restricció d'usuaris.

Motiu de restricció	Justificació
Persona amb lesions	<p>Si la lesió és a la cama, es considera mobilitat reduïda.</p> <p>Si la lesió és en el braç, en el moment dels girs, és possible que la zona afectada contacti amb el tobogan, i en l'arribada, en el moment de contacte amb la piscina, la desacceleració pot afectar la lesió.</p>
Persones amb discapacitat	<p>La restricció de persones amb discapacitat depèn del grau d'aquestes. En tot cas, es recomana no permetre l'entrada a usuaris que puguin tenir atacs de nervis o bé que necessitin una ajuda o cuidat constant.</p>
Persones amb altura < 140 cm	<p>Les persones amb una altura inferior a 140 cm no podran accedir a l'atracció, ja que a causa de la profunditat de la piscina, poden tenir dificultats per sortir o bé per moure's cap a la sortida.</p>

Persones amb mobilitat reduïda	L'accés a la plataforma de sortida es realitza a través d'escales, de manera que les persones amb mobilitat reduïda poden tenir dificultats per accedir-hi, posant en risc la seva seguretat.
Persones amb dificultats per nadar	Tot i que la piscina de descàrrega no cobreix per a una gran majoria de persones, és important que els usuaris tinguin facilitat per nadar per tal de sortir amb més agilitat.
Dones embarassades	No es permet l'entrada a dones embarassades per evitar cops (com en el moment de caure a la piscina de recepció), o mareigs en el transcurs del recorregut.

B.2.2 Requisits de seguretat específics per tobogans del tipus 4

El tobogan aquàtic del present projecte té un recorregut obert, és a dir, no és un tub completament tancat. Per tant, la secció transversal d'aquest s'haurà d'ajustar a la de la Figura 95.

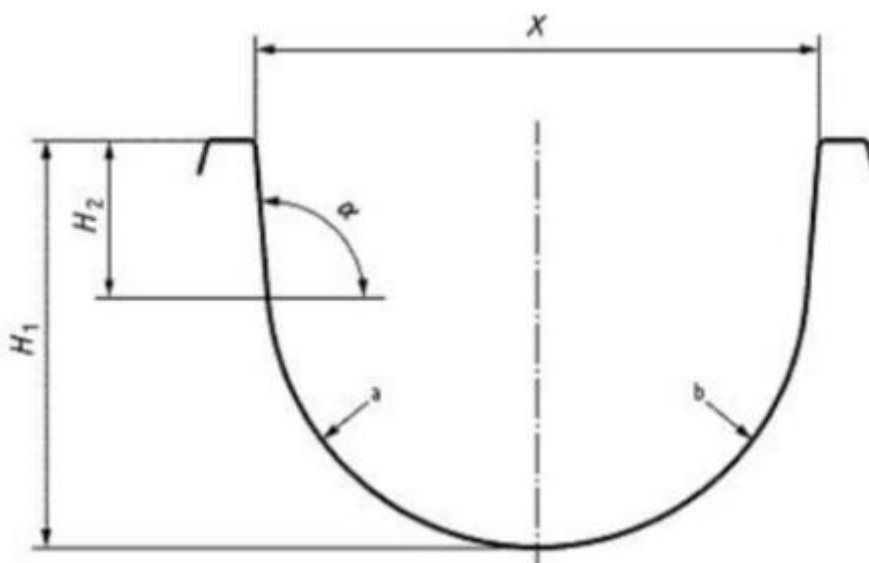


Figura 95. Secció tipus del tobogan. Font: UNE EN 1069 -1.

La Taula 45 mostra la llegenda de la Figura 95, establint els límits dimensionals de cada cota.

Taula 45. Llegenda corresponent a la Figura 95. Font: *UNE EN 1069 -1*.

$\alpha \leq 95^\circ$
$X \geq 800 \text{ mm}$
$H_1 \geq 700 \text{ mm}$
$H_2 \geq 200 \text{ mm}$
$a \rightarrow$ curva exterior
$b \rightarrow$ curva interior

Respecte a la piscina de recepció, es preveu que en un futur s'instal·li una altra atracció en el parc, els usuaris de la qual també descendeixin a la mateixa piscina. Per tant, serà necessari marcar els fons de la piscina amb una línia central, a més de situar sureres flotants per delimitar la zona d'arribada de cada tobogan, com es mostra a la Figura 96.



Figura 96. Imatge de les sureres de separació entre diferents tobogans aquàtics. Font: *Aqualandia*.

B.2.3 Zones d'atrapament

Per definició, les zones d'atrapament són parts de l'atracció on hi ha orificis que poden causar que alguna part del cos de l'usuari queda atrapada, fet que pot arribar a provocar lesions. La normativa UNE-EN 13451-1:2012+A1:2018 regula l'obertura màxima d'aquests orificis per tal de minimitzar els riscos i lesions.

A la Taula 46 es mostra l'obertura que han de tenir els elements presents a l'atracció, i que estiguin a l'abast dels usuaris, segons la part del cos que pot quedar atrapada.

Taula 46. Obertura dels orificis i zones potencials d'atrapament. Font: *Pròpia*.

Part del cos	Obertura	Zona d'atrapament potencial
Dits (mà/peu)	$\leq 8 \text{ mm}$	Escalons de l'escala, els dits del peu poden quedar atrapats en els forats.
Peu i mà	$\geq 25 \text{ mm i } \leq 110 \text{ mm}$	Baranes de l'escala i plataforma de sortida, entre els puntals verticals pot haver-hi un espai suficient perquè hi passi una extremitat.
Cap	$\geq 110 \text{ mm i } \leq 230 \text{ mm}$	El tobogan aquàtic no incorpora cap element susceptible on entri el cap d'una persona, però entre puntals de baranes podria ser possible que hi cabés un cap de petites dimensions.

Un altre aspecte molt important relacionat amb l'atrapament de parts del cos és els cabells. En el moment de lliscar pel tobogan, els cabells d'una persona estan en contacte amb la superfície de la pista, de manera que si hi ha alguna junta del tobogan que està desencaixada, pot provocar que els cabells hi quedin enganxats, causant un dolor elevat als usuaris.

Per tant, és important un muntatge rigorós per evitar irregularitats en la pista de lliscament, i problemes d'encaixament de juntes.

B.2.4 Zona de sortida

La zona de sortida es troba en la plataforma de sortida, i és la part prèvia a l'entrada al tobogan. En aquesta zona s'ha d'habilitar una extensió inicial del tobogan, com la que es mostra a la Figura 97, on l'usuari es pugui incorporar amb seguretat abans d'iniciar el recorregut.



Figura 97. Extensió inicial del tobogan per a la incorporació dels usuaris. Font: *Waterslidedatabase*.

Aquesta extensió proporciona seguretat en dos aspectes: el primer, l'usuari està obligat a sortir des d'una posició de repòs, de manera que s'impedeix que les persones surtin en posicions incorrectes que poden produir impactes forts sobre el tobogan i posar en perill la integritat de la mateixa persona; i el segon aspecte, s'evita empentes d'altres usuaris sobre la persona que inicia el recorregut, que de la mateixa manera, posen en risc la seguretat de l'usuari.

A més, en aquesta zona de sortida s'ha d'instal·lar un travesser situat a una altura dins un rang de 800 – 1000 mm sobre la superfície del tobogan. En aquest punt també s'instal·la un control semafòric, amb l'objectiu de controlar la distància entre els usuaris i poder donar pas de manera segura.

A la Figura 98 es mostra la sortida al tobogan amb els diferents elements de seguretat, com el travessant i el semàfor, així com la piscina prèvia per asseure's.



Figura 98. Elements de seguretat en la sortida la pista de lliscament. Font: *Polin Games*.

Es preveu que el socorrista a la zona de sortida tingui control sobre l'accés a l'atracció, així com una visió global del recorregut de l'usuari en el seu pas pel tobogan. Aquest tindrà coneixement de la posició de les persones, i usará la informació per donar pas al següent usuari.

L'amplada de la plataforma de sortida ha de ser superior a l'amplada de la pista de lliscament, per tal que l'usuari tingui un espai extra per poder acomodar-se, i evitar aglomeracions entre usuaris i/o socorrista. A més, l'inici del tobogan ha d'estar alineat amb la plataforma de sortida, per tal que l'usuari, a l'entrar a la piscineta no descendeixi directament, sinó que es trobi en una posició de repòs.

B.2.5 Requisits de les baranes

La plataforma de sortida i les escales dels tobogans aquàtics han d'incorporar barreres de seguretat, dissenyades amb l'objectiu de donar estabilitat als usuaris que pugin per l'escala, o bé que estiguin esperant a la plataforma de sortida. A més, el disseny d'aquestes baranes ha d'incloure una consideració addicional: que no puguin ser saltades.

Les baranes s'han d'estendre per tota la longitud de la plataforma de sortida i de l'escala, incorporant passamans de 10 cm, sent una amplada suficientment per tal d'agafar-se amb facilitat, ja que una distància superior podria implicar problemes al moment d'agafar-s'hi.

L'altura de les baranes s'obté a partir de la Taula 47, i té relació amb l'altura que es troba l'usuari respecte el terra.

Taula 47. Altura de les baranes. Font: *UNE EN 1069 -1*.

Posició de l'usuari sobre el terra m	Altura de la barana H^a m
≥ 12,0	≥ 1300
≥ 1,0	≥ 1000
≥ 0,6	≥ 700 ^b
<p>a Mesura des del punt més alt en el que es pot situar una persona dins d'una distància de 1000 mm des de les pròpies barreres de protecció.</p> <p>b En funció del resultat de l'avaluació preliminar de riscos, especialment en el que concerneix els usuaris i a l'altura real de la caiguda, H es pot reduir a 350 mm.</p>	

Els usuaris es troben a una altura de 13 metres quan es troben a la plataforma de sortida, per tant, segons la Taula 47, les baranes han de tenir una altura igual o superior a 1300 mm. En el cas de l'escala, l'altura a la qual es troben les persones va augmentant a mesura que puguen, de manera que segons la Taula 47, l'altura de les baranes hauria de canviar per cada tram d'altura.

Per tal que el procés de fabricació sigui més estàndard, tant les baranes de la plataforma com les de l'escala tindran una altura de 1300 mm, posicionant el projecte del costat de la seguretat.

L'obertura entre la superfície de la plataforma i la cantonada inferior de la barana no ha de ser superior a 8 mm, per tal que no hi hagi atrapament de dits del peu. Aquest valor s'extreu de la Taula 46, taula de la qual també s'extreu que la distància entre els puntals de la barana no ha de ser superior a 110 mm.

A la Figura 99 es mostra un esquema de la barana que s'instal·larà en la plataforma de sortida i a les escales.

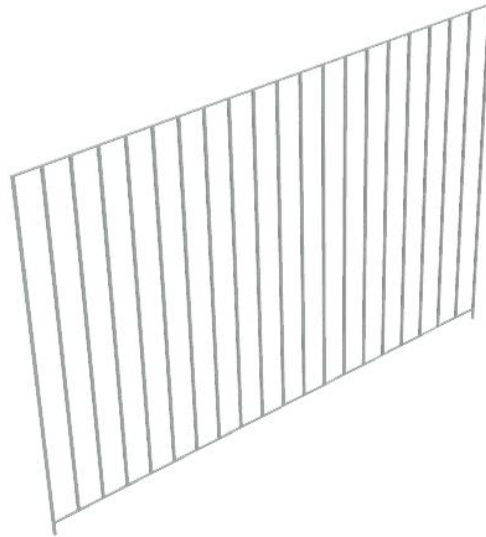


Figura 99. Model de la barana instal·lada a les escales i a la plataforma de sortida. Font: *Pròpia*.

B.2.6 Superfícies

La pista de lliscament del tobogan ha d'estar lliure d'irregularitats que puguin causar irritacions o petites ferides als usuaris. Per tant, la superfície del tobogan haurà de ser suau, i les juntes no hauran de ser perceptibles pels usuaris.

B.2.7 Vores dels tobogans

Per a tota la zona d'influència de l'usuari, en tot el recorregut, les vores del tobogan hauran de ser arrodonides, amb un radi recomanat de 3 mm.

B.2.8 Recorregut del tobogan

La seguretat en el llit del tobogan es basa a determinar quins aspectes s'han d'evitar durant el recorregut de l'atracció. De manera anàloga a aquest apartat, s'ha estudiat la curvatura del tobogan en l'annex D, per tal d'analitzar el recorregut.

Com es menciona anteriorment, la manca de dispositius de seguretat com cinturons impossibilita el volteig de l'usuari en el transcurs del tobogan. De la mateixa manera, en el disseny de l'atracció s'eviten girs excessivament tancats que puguin provocar xocs directes de l'usuari contra el tobogan.

De la mateixa manera, la sortida del tobogan per part d'un usuari és impossible, ja que per una part hi ha un mur de 75 cm que impedeix que les persones surtin per la tangent en els girs, mentre que per altra banda, no es contempla la possibilitat que un usuari es posi de peus sobre la pista de lliscament.

B.2.9 Zona d'arribada

A la part final del tobogan els usuaris adquireixen velocitats altes a causa de l'última baixada de descàrrega, de manera que aquesta zona s'ha de preparar per garantir una arribada segura pels usuaris.

La solució més senzilla i més comuna és una piscina de recepció, sent un sistema apte per a qualsevol mena de tobogan aquàtic. L'usuari ha de tenir una velocitat màxima de 10 m/s en aquesta zona.

La normativa defineix les magnituds mínimes que ha de tenir la piscina de recepció, definint l'amplada, la longitud i la profunditat. A la Figura 100 es mostren les separacions mínimes, anotades amb la lletra b i el subíndex corresponent.

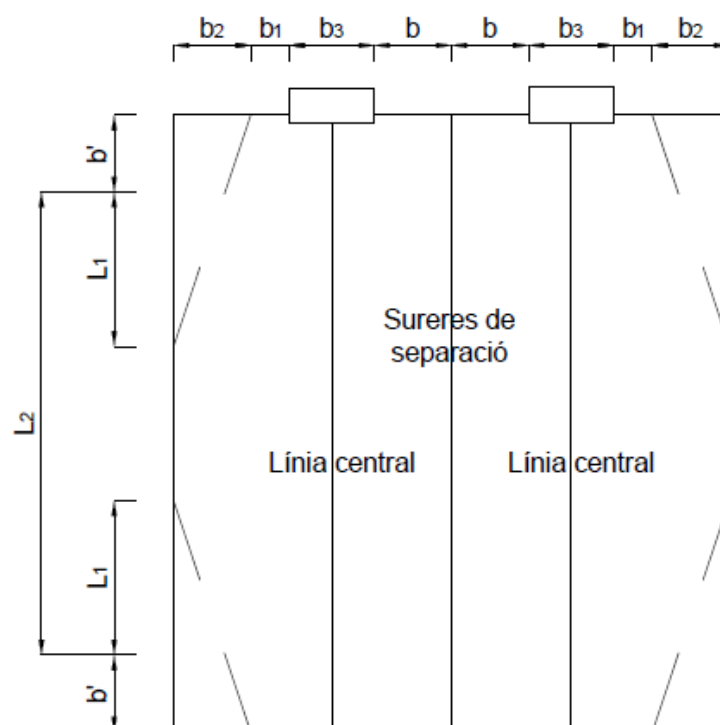


Figura 100. Dimensions de la piscina segons la normativa. Font: Pròpia.

Les distàncies b i b' no són pròpies de la normativa, però s'afegeixen per donar uns metres més de seguretat. Per altra banda, la dimensió b_3 correspon al diàmetre del tobogan, i la distància resultant entre L_2 i L_1 correspon a la zona habilitada per a les escales de sortida. A la Taula 48 es mostren els valors de cada separació.

Taula 48. Dimensions de la piscina corresponents a la Figura 100. Font: *Pròpia*.

Dimensió	Valor mínim (mm)	Valor assignat (mm)
b_1	500	500
b_2	1000	1000
b_3	-	1100
b	-	500
b'	-	1000
L_1	2000	2000
L_2	6000	6000

S'ha optat per escollir els valors mínims que marca la normativa, i donar uns metres més de seguretat, de manera que la piscina té unes dimensions que afavoreixen l'arribada segura dels usuaris (no hi ha impactes amb usuaris d'altres atraccions, i té la sortida de la piscina suficientment lluny com per no impactar al sortir del tobogan, i suficientment a prop per agilitzar la sortida).

La profunditat de la piscina ve determinada per la diferència de caiguda entre el tobogan i el nivell d'aigua, com es mostra a la Taula 49, extreta de la normativa.

Taula 49. Profunditat de la piscina. Font: *UNE-EN-1069*.

Distància de caiguda d_f (mm)	Profunditat de l'aigua per al tipus 4 (mm)
$0 < d_f < 200$	≥ 1000
≤ 600	≥ 1800

La distància de caiguda és de 20 cm, de manera que la profunditat de l'aigua ha de ser superior a 1 metre. La piscina tindrà una fondària d'1,10 metres, donant 10 cm de marge de seguretat respecte al valor de la Taula 49.

Aquesta profunditat té dos punts positius: per un costat, en ser una alçada relativament baixa comparada amb la dels usuaris del tobogan, aquests tenen facilitat per sortir caminant de la piscina, mentre que per altra banda, és una fondària suficient per a no impactar contra el terra al sortir de l'atracció.

La sortida dels usuaris de la piscina de recepció ha de ser ràpida i eficaç per evitar impactes amb els altres individus dels tobogans. La sortida s'efectuarà mitjançant escales.

Anàlogament, un socorrista es situarà a la zona final per comunicar que els usuaris han arribat amb seguretat, o bé per informar de retards en la sortida de les persones de la piscina. Aquest treballador també pot actuar en el cas que l'usuari que acabi d'arribar necessiti socors, previ avís al socorrista de la zona de sortida, per tal que aquest aturi el pas de persones.

B.3 Senyalització en el tobogan

La senyalització és un resultat de l'avaluació preliminar de riscos, i té l'objectiu de proporcionar informació sobre el correcte comportament dels usuaris en el seu recorregut per tot el tobogan aquàtic, des de la sortida, passant per la pista de lliscament, fins a la piscina de recepció.

La senyalització mínima s'ha de mostrar de manera clara a l'entrada del tobogan, és a dir, a la plataforma de sortida. La senyalització ha de seguir la plantilla que es mostra a la Figura 101, juntament amb la seva llegenda a la Taula 50.



Figura 101. Senyalització mínima a l'entrada del tobogan. *UNE EN 1069 -1.*

Taula 50. Llegenda de la Figura 101. *UNE EN 1069 -1.*

Índex	Descripció
1	Imatge de com s'ha d'efectuar la sortida de l'atracció.
2	Imatge de la posició de lliscament obligatòria.
3	Imatge de l'altura i edat mínima.

A continuació es mostren els paràmetres necessaris de senyalització per al tobogan del present projecte.

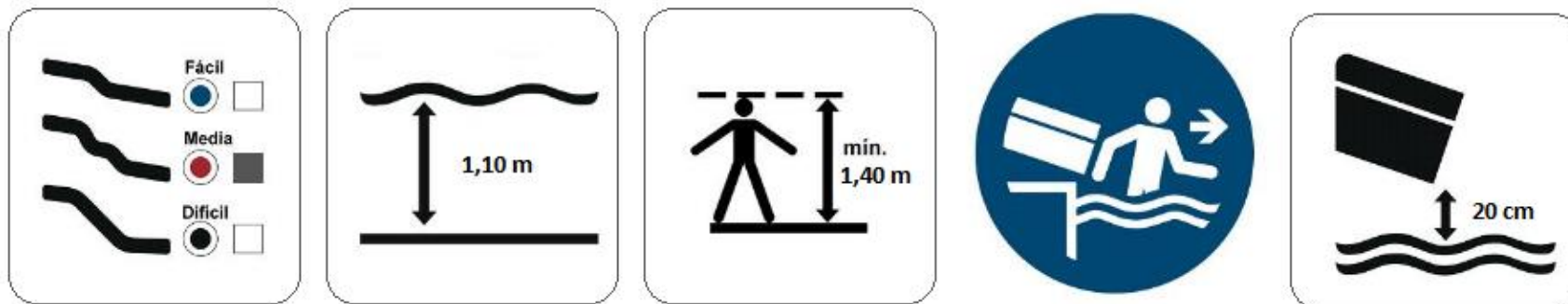
- El color vermell indicarà que el recorregut és de dificultat mitja, sent aquesta la característica dels tobogans aquàtics de classificació tipus 4.
- L'altura mínima de l'usuari serà de 140 cm.
- La profunditat de l'aigua en la piscina de recepció serà d'1,10 metres.
- La diferència de caiguda és de 20 cm.

A la Figura 102 es mostra la senyalització corresponent al tobogan aquàtic del present projecte, la qual estarà present tant a l'inici del tobogan aquàtic, com just abans de les escales.

Per altra banda, els socorristes han de controlar els accessoris que duen els usuaris, tals com joies, collarets, braçalets, claus de taquilla... En general es permetrà l'entrada d'aquests sempre i quan estiguin lligats al canell, de manera que sigui molt improbable que caiguin durant el transcurs del recorregut.

No es permetrà l'entrada a la pista de lliscament si l'usuari porta un accessori al coll, per evitar que aquest s'enrosqui al voltant d'aquesta part del cos, o bé porta un accessori que pugui caure amb facilitat, per tal que no quedi enmig del recorregut i pugui ferir al següent usuari, o no s'acumuli al fons de la piscina de descàrrega.

Información básica



Posición de deslizamiento obligatoria



Figura 102. Senyalització present en l'inici de l'atracció. Font: UNE-1069/ Pròpia.

ANNEX C: INSTAL·LACIÓ HIDRÀULICA

C Dimensionament de la instal·lació hidràulica

L'aigua és l'element que permet lliscar als usuaris, de manera que és necessari un cabal constant d'aigua que eviti possibles aturades de les persones enmig de la pista de lliscament del tobogan.

L'objectiu d'aquest capítol és presentar els càlculs realitzats per escollir la bomba d'aigua adequada per a la instal·lació proposada, mitjançant el càlcul del punt de funcionament de la bomba.

Abans de realitzar els càlculs corresponents, cal determinar les propietats de les canonades, tals com diàmetre, longitud i rugositat, així com la longitud equivalent dels elements. Aquesta informació es representa a la Taula 51.

Per altra banda, a la Figura 103 es mostren les dimensions de la instal·lació hidràulica, juntament amb la notació dels punts 1 i 2, que corresponen respectivament a la piscina de descàrrega i a la piscineta d'entrada. Ambdós punts serviran de referència per al càlcul de l'altura necessària de la bomba.

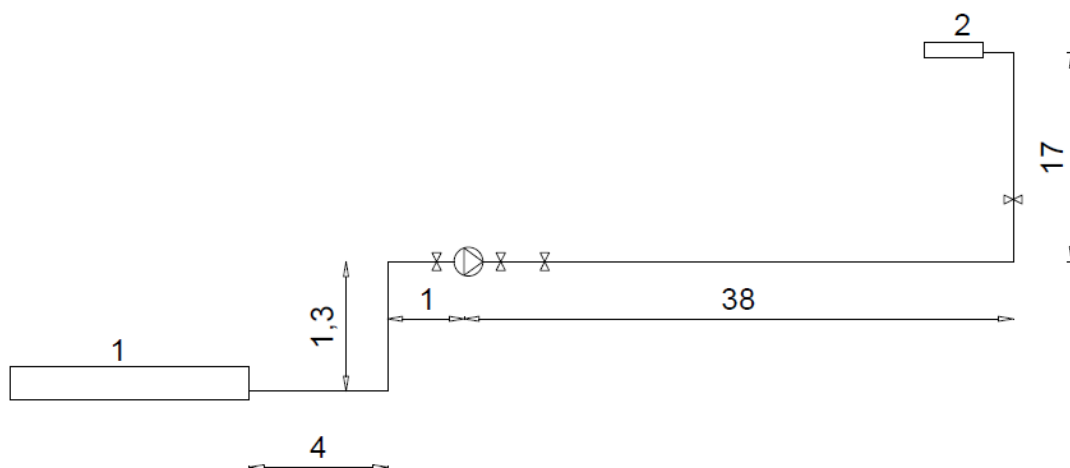


Figura 103. Dimensions de la instal·lació hidràulica. Font: *Pròpia*.

C.1 Predimensionament de la instal·lació

En aquest apartat es realitza una primera aproximació del dimensionament de la bomba i de les canonades. El motiu de ser un predimensionament té una explicació senzilla: es fa una hipòtesi dels valors del diàmetre de la canonada, però aquests poden no coincidir amb els valors comercials.

El mateix cas succeeix amb la bomba, ja que aquesta pot tenir un diàmetre diferent del de la canonada, produint un estrenyiment o una ampliació, les quals comporten una corresponent pèrdua de càrrega.

El diàmetre de la canonada d'impulsió ve determinat pel cabal d'aigua necessari, el qual és de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, i la velocitat de sortida de l'aigua, la qual ha de ser propera a 3 m/s . Amb aquesta velocitat s'aconsegueix que la làmina d'aigua sigui l'adient per tal que l'usuari llisqui i no variï la seva velocitat.

Aquest diàmetre es calcula a partir de l'equació de continuïtat, la qual s'expressa a l'Equació 41.

$$Q = v \cdot A \quad (\text{Eq. 41})$$

$$Q = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,0278 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{Q}{v} \rightarrow \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0278}{\pi \cdot 3}} = 0,1086 \text{ m}$$

Se selecciona un diàmetre d'11 cm per a la canonada d'impulsió, mentre que per la canonada d'aspiració s'utilitzarà un diàmetre de 22 cm, el doble de l'anterior, ja que en l'aspiració, l'aspecte més important és la quantitat d'aigua que s'absorbeix.

La longitud de les canonades, així com els diferents elements presents en el circuit hidràulic provoquen una sèrie de pèrdues anomenades pèrdues de càrrega, les quals es classifiquen en primàries (fricció del fluid amb la canonada) i secundàries (pròpies d'elements com colzes). El valor d'aquestes s'obté a partir de l'Equació 42.

$$H_r = \lambda \cdot \frac{8 \cdot Q^2 \cdot (L_{canonada} + L_{equivalent})}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (\text{Eq. 42})$$

On λ és el factor de fricció; Q és el cabal que circula per la canonada, en m³/s; $L_{canonada}$ és la longitud de la canonada en m; $L_{equivalent}$ és a longitud equivalent dels diferents elements del circuit, en m; i D és del diàmetre de la canonada, en m.

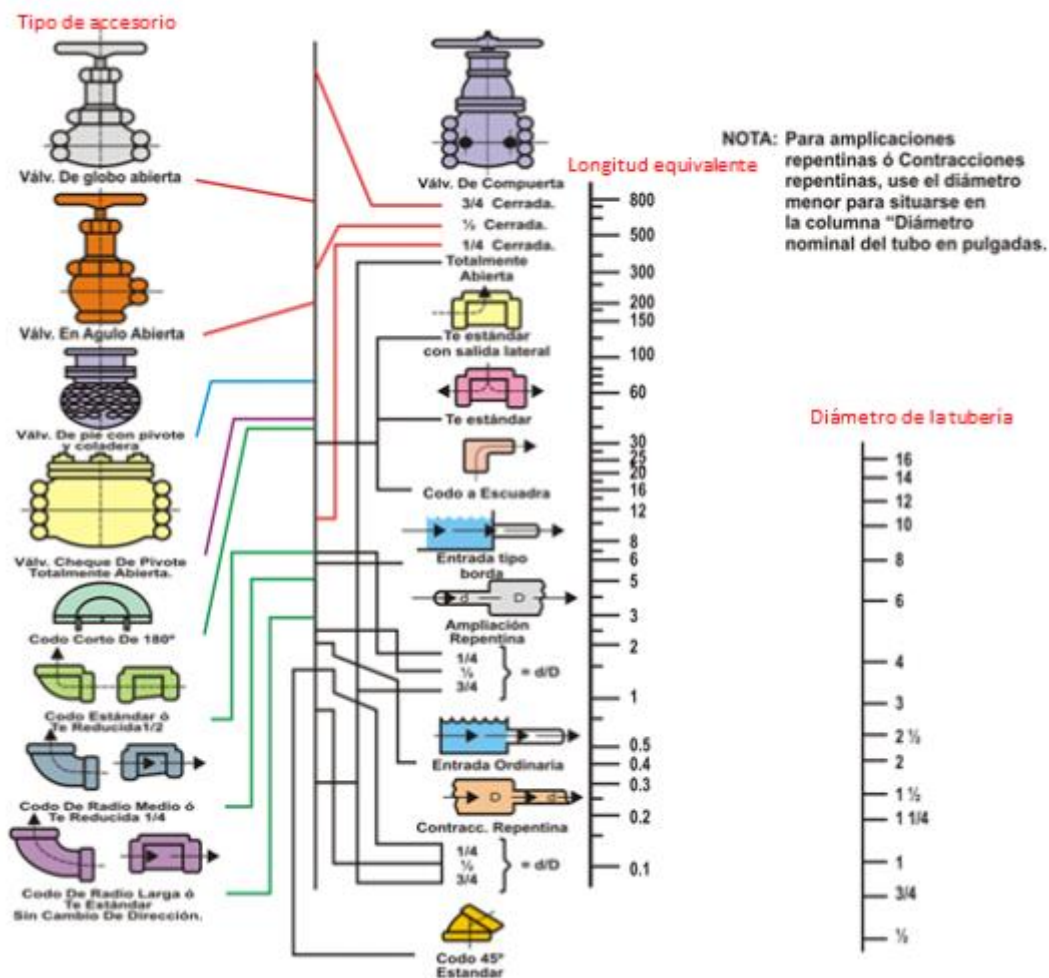


Figura 104. Gràfic per l'obtenció de la longitud equivalent. Font: *Energía y Potencia*.

Les longituds equivalents dels elements de la Figura 25 s'obtenen a partir de la Figura 104, la qual representa un gràfic on es procedeix de la següent manera: se selecciona l'element el qual es desitja trobar la longitud equivalent, els quals se situen a l'esquerra del gràfic. Posteriorment se selecciona el diàmetre interior de la canonada, el qual se situa a la dreta del gràfic. Entre aquests dos punts es traça una línia que els uneixi, la qual tallarà la línia corresponent a la longitud equivalent de l'element.

A la Taula 51 es mostren les característiques de cada element.

Taula 51. Característiques geomètriques dels accessoris del circuit hidràulic. Font: *Pròpia*.

Element	D (cm)	L (m)	L _{eq} (m)	k(mm)
Canonada d'impulsió	11	6,3	-	0,0015
Canonada d'aspiració	22	55	-	0,0015
Colze de radi llarg (imp.)	11	-	2,5	-
Colze de radi llarg (asp.)	22	-	5,0	-
Vàlvula de retenció	11	-	9,0	-
Vàlvula de comporta (imp.)	11	-	0,8	-
Vàlvula de comporta (asp.)	22	-	1,5	-
Vàlvula de regulació (oberta)	11	-	0,8	-

El factor de fricció λ s'obté a partir del diagrama de Moody (Figura 105), i dels valors del nombre de Reynolds, calculat a partir de l'Equació 43, i la rugositat relativa, calculada mitjançant l'Equació 44.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \nu} \quad (\text{Eq. 43})$$

On Q és el cabal en m^3/s ; D el diàmetre en m; i ν la viscositat cinemàtica, la qual té un valor de $101 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\varepsilon = \frac{k}{D} \quad (\text{Eq. 44})$$

On k és la rugositat absoluta del material, sent aquest cas de 0,0015 mm pel polietilè; i D és el diàmetre de la canonada, en mm.

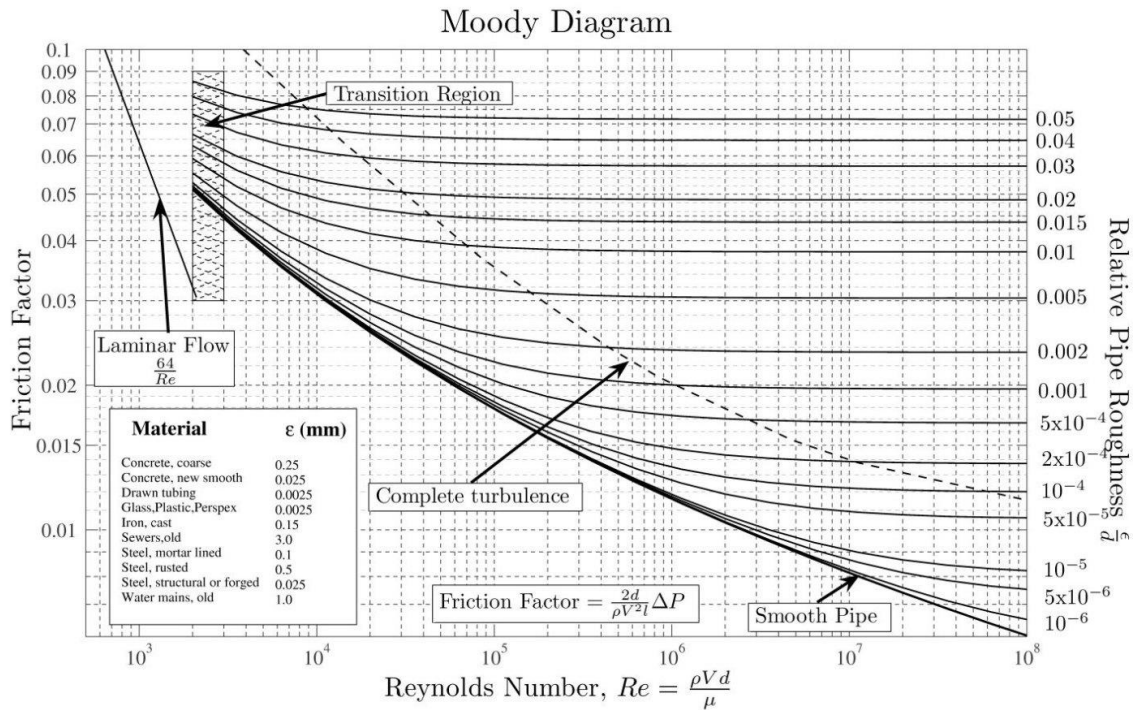


Figura 105. Diagrama de Moody. Font: *Mecánica de Fluidos (UNAH)*.

Presentades les equacions necessàries, es procedeix a calcular les pèrdues de càrrega de la canonada d'aspiració.

$$\epsilon = \frac{0,0015}{220} = 6,82 \cdot 10^{-6}$$

$$Re = \frac{4 \cdot 0,0278}{\pi \cdot 0,22 \cdot 101 \cdot 10^{-8}} = 1,59 \cdot 10^5$$

Situant els dos valors al diagrama de Moody de la Figura 105, s'obté un coeficient de fricció $\lambda = 0,016$. La longitud equivalent dels accessoris presents a la canonada d'aspiració correspon a les longituds equivalents de dos colzes de radi llarg i una vàlvula de comporta.

$$L_{eq,asp} = 2 \cdot L_{eq,colze} + L_{eq,vàlvula\ comporta} = 2 \cdot 5 + 1,5 = 11,5 \text{ m}$$

$$H_{r,asp} = 0,016 \cdot \frac{8 \cdot 0,0278^2 \cdot (6,3 + 11,5)}{\pi^2 \cdot 9,81 \cdot 0,22^5} = 0,036 \text{ m}$$

A continuació es procedeix a calcular les pèrdues de càrrega corresponents a la canonada d'impulsió.

$$\varepsilon = \frac{0,0015}{110} = 1,36 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = \frac{4 \cdot 0,0278}{\pi \cdot 0,11 \cdot 101 \cdot 10^{-8}} = 3,19 \cdot 10^5$$

Situant els dos valors al diagrama de Moody de la Figura 105, s'obté un coeficient de fricció $\lambda = 0,014$. La longitud equivalent dels accessoris presents a la canonada d'impulsió correspon a les longituds equivalents d'un colze de radi llarg, una vàlvula de comporta, una vàlvula de regulació i una vàlvula de retenció.

$$L_{eq,imp} = L_{eq,colze} + L_{eq,v.comp} + L_{eq,v.regu} + L_{eq,v.reten} = 2,5 + 0,8 + 0,8 + 9,0 = 13,1 \text{ m}$$

$$H_{r,imp} = 0,014 \cdot \frac{8 \cdot 0,0278^2 \cdot (55 + 13,1)}{\pi^2 \cdot 9,81 \cdot 0,11^5} = 3,78 \text{ m}$$

L'alçada necessària que ha de proporcionar la bomba (H_m) s'obté aplicant l'equació de Bernoulli (Equació 45).

$$\frac{p_1}{\gamma} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + H_m - H_{r,1-2} = \frac{p_2}{\gamma} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Eq. 45})$$

On p_i és la pressió relativa del punt d'estudi; h_i és l'altura a la qual es troba el punt que s'està analitzant; v_i és la velocitat del fluid en el punt determinat; H_m és l'altura que ha de proporcionar la bomba; i $H_{r,1-2}$ és la suma de les pèrdues de càrrega de les canonades d'aspiració i impulsió.

El sistema té diferents simplificacions i hipòtesis, les quals s'exposen a continuació:

- p_1 i p_2 tenen valor nul, ja que els punts 1 i 2 corresponen a la piscina de descàrrega i a la piscineta de la plataforma de sortida respectivament, i la seva pressió relativa és 0 en estar a pressió ambient.
- h_1 és 0 al ser al punt de referència a partir del qual es mesura l'altura.
- v_1 té valor nul, ja que es considera que la piscina és prou gran per mantenir constant el nivell d'aigua i no presentar variabilitats.

A partir de les simplificacions anteriors es pot trobar el valor de l'altura necessària de la bomba, reordenant els elements de l'Equació 45.

$$H_m = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{r,1-2} = 18,3 + \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} + (0,036 + 3,78) = 22,58 \text{ m}$$

La selecció de la bomba es duu a terme mitjançant les corbes característiques, que relacionen l'altura que proporcionen respecte d'un cert cabal. Cal considerar que no s'usarà una bomba convencional, sinó que s'optarà per una bomba específica per ús de tobogans aquàtics, concretament de l'empresa *Bombas PSH*.

A la Figura 106 es mostra la corba característica de 3 bombes d'aquesta empresa, les quals són les que més s'ajusten a les necessitats del tobogan aquàtic. Per un cabal de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, la bomba de la sèrie *AP 80-315/C* dona una altura de 25 metres, de manera que treballarem per sota del punt de funcionament, però és la que s'ajusta més a les necessitats de la instal·lació.

El catàleg de la bomba proporciona les característiques geomètriques de la bomba, la qual té un diàmetre nominal d'aspiració de 100 mm, i un diàmetre nominal d'impulsió de 80 mm. Aquesta diferència implica un estrenyiment i una ampliació a l'entrada i sortida de la bomba, respectivament.

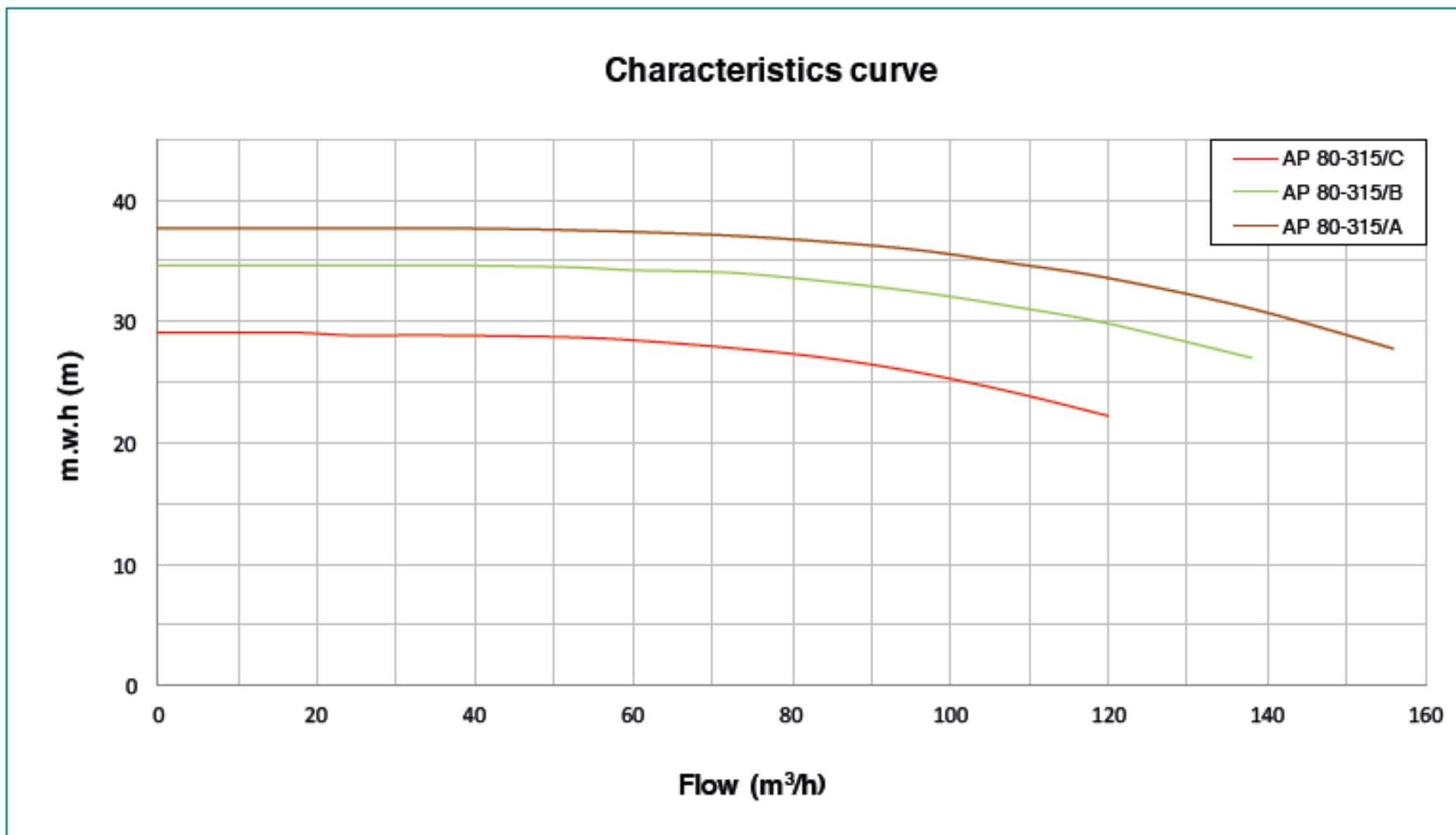


Figura 106. Corba característica de 3 bombes disponibles. Font: Bombas PSH.

C.2 Dimensionament real de la instal·lació

Un cop realitzat el predimensionament del circuit hidràulic, es procedeix a determinar el dimensionament real de la instal·lació, és a dir, incorporant el valor dels diàmetres comercials de les canonades, i la pèrdua de càrrega corresponent a la diferència de diàmetre entre aquestes canonades i la bomba.

Anteriorment s'ha determinat que per obtenir una velocitat de sortida de l'aigua de 3 m/s, el diàmetre de la canonada d'impulsió havia de ser d'11 cm, mentre que el de l'aspiració havia de ser de 22 cm. Comercialment, al catàleg de l'empresa *Rekalde*, es proporcionen tubs de polietilè d'alta densitat, per una pressió de 4 atm (suficient per a la nostra instal·lació), de 115,4 mm i 230,8 mm respectivament per a cada canonada.

Aquests diàmetres mencionats anteriorment corresponen a la mida interior, ja que el fabricant proporciona el diàmetre exterior i el gruix del tub. Respecte al funcionament, el cabal a proporcionar continua sent de 100 m³/h.

A la Taula 52 es mostren les característiques geomètriques dels elements, afegint els corresponents estrenyiments i ampliacions entre ambdues canonades i la bomba. Les longituds equivalents s'obtenen de la Figura 104.

Taula 52. Característiques geomètriques dels dispositius del circuit hidràulic. Font: *Pròpia*.

Element	D (cm)	L (m)	d/D	L _{eq} (m)	k (mm)
Canonada d'impulsió	11,54	6,3	-	-	0,0015
Canonada d'aspiració	23,08	55	-	-	0,0015
Colze de radi llarg (imp.)	11,54	-	-	2,5	-
Colze de radi llarg (asp.)	23,08	-	-	5,0	-
Vàlvula de retenció	11,54	-	-	9,0	-
Vàlvula de comporta (imp.)	11,54	-	-	0,8	-
Vàlvula de comporta (asp.)	23,08	-	-	1,5	-
Vàlvula de regulació (oberta)	11,54	-	-	0,8	-
Estrenyiment (asp.)	23,08	-	0,433	0,5	-
Ampliació (imp.)	11,54	-	0,693	1,1	-

Els valors de la longitud equivalent no varien pràcticament, ja que la diferència de valor entre els diàmetres teòrics i comercials és petita, i al ser longituds obtingudes gràficament, és difícil obtenir un alt grau de precisió.

A partir de l'Equació 25, l'Equació 26 i l'Equació 27 es procedeix a calcular les pèrdues de càrrega de la canonada d'aspiració.

$$\varepsilon = \frac{0,0015}{230,8} = 6,50 \cdot 10^{-6}$$

$$Re = \frac{4 \cdot 0,0278}{\pi \cdot 0,2308 \cdot 101 \cdot 10^{-8}} = 1,52 \cdot 10^5$$

Situant els dos valors al diagrama de Moody de la Figura 105, s'obté un coeficient de fricció $\lambda = 0,017$. La longitud equivalent dels accessoris presents a la canonada d'aspiració correspon a les longituds equivalents de dos colzes de radi llarg i una vàlvula de comporta.

$$L_{eq,asp} = 2 \cdot L_{eq,colze} + L_{eq,vàlvula\ comporta} + L_{eq,estrenyiment} = 2 \cdot 5 + 1,5 + 0,5 = 12\ m$$

$$H_{r,asp} = 0,017 \cdot \frac{8 \cdot 0,0278^2 \cdot (6,3 + 12)}{\pi^2 \cdot 9,81 \cdot 0,2308^5} = 0,031\ m$$

A continuació es procedeix a calcular les pèrdues de càrrega corresponents a la canonada d'impulsió.

$$\varepsilon = \frac{0,0015}{115,4} = 1,30 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = \frac{4 \cdot 0,0278}{\pi \cdot 0,1154 \cdot 101 \cdot 10^{-8}} = 3,04 \cdot 10^5$$

Situant els dos valors al diagrama de Moody de la Figura 105, s'obté un coeficient de fricció $\lambda = 0,015$. La longitud equivalent dels accessoris presents a la canonada d'impulsió correspon a les longituds equivalents d'un colze de radi llarg, una vàlvula de comporta, una vàlvula de regulació i una vàlvula de retenció.

$$L_{eq,imp} = L_{eq,colze} + L_{eq,v.comp} + L_{eq,v.regu} + L_{eq,v.reten} + L_{eq,ampliació}$$

$$L_{eq,imp} = 2,5 + 0,8 + 0,8 + 9,0 + 1,1 = 14,21 \text{ m}$$

$$H_{r,imp} = 0,015 \cdot \frac{8 \cdot 0,0278^2 \cdot (55 + 14,2)}{\pi^2 \cdot 9,81 \cdot 0,1154^5} = 3,24 \text{ m}$$

A partir de l'Equació 27, i el seu corresponent ordenament, es calculen les pèrdues de càrrega de la instal·lació.

$$H_m = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_{r,1-2} = 18,3 + \frac{3^2}{2 \cdot 9,81} + (0,031 + 3,24) = 22,03 \text{ m}$$

Respecte al predimensionament, hi ha aproximadament 0,60 metres d'altura menys que ha de vèncer la bomba. Per tant, la bomba seleccionada en el predimensionament continua sent vàlida pel punt de funcionament actual.

ANNEX D: ANÀLISI DE CURVATURA

D Anàlisi de la curvatura del tobogan

La curvatura dels girs presents en el tobogan aquàtic és un aspecte que requereix una anàlisi profunda a causa del risc que suposen aquests girs a l'usuari. La força centrífuga actua sobre la persona empenyent-la cap a l'exterior de la corba, fet que podria causar una sortida de pista.

Per garantir la seguretat de les persones en el seu pas pels girs cal dissenyar les corbes per tal que tinguin continuïtat, és a dir, que no hi hagi canvis bruscos entre girs consecutius, o bé que els radis de les corbes sigui suficientment gran perquè resultin còmodes pels usuaris, i al mateix moment proporcionin emoció.

D.1 Curvatura del recorregut

A partir d'un disseny unifilar del recorregut s'analiza la curvatura mitjançant una eina geomètrica anomenada '*peines de curvatura*', la qual ens indica el grau de curvatura de cada gir.

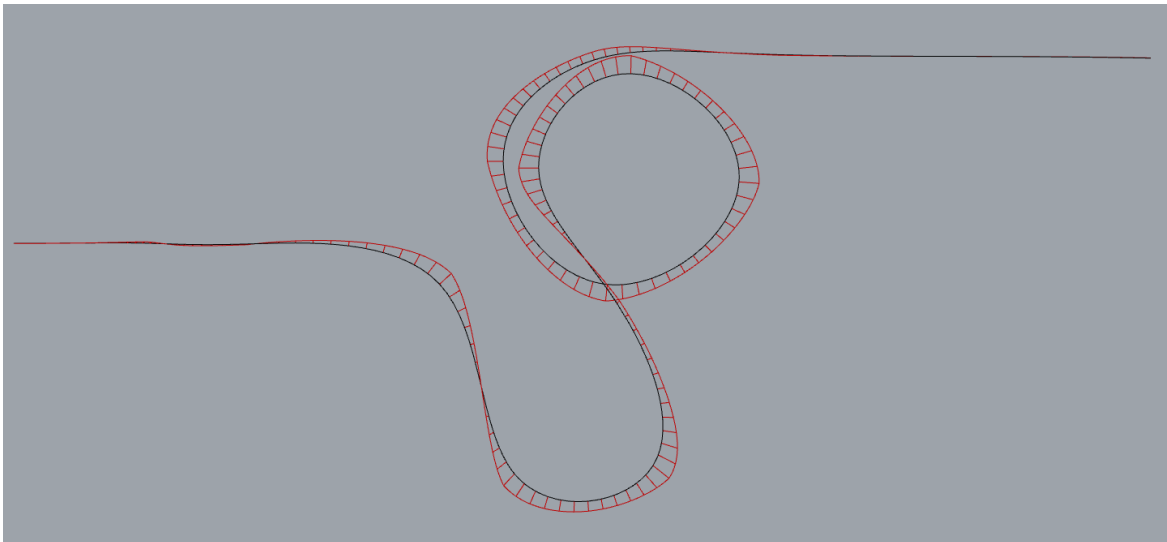


Figura 107. Vista superior del tobogan, on s'observa la curvatura dels girs. Font: *Rhino*.

La línia de curvatura, la qual es mostra de color vermell a la Figura 107, és contínua en tot el recorregut, significatiu que la transició entre girs es produeix suaument, fet que disminueix la perillositat en l'entrada a les corbes. A més, observant els '*peines de curvatura*' en cada corba, no presenten salts abruptes, indicatiu que la curvatura és contínua i sense canvi de magnitud del radi.

Entrant en més detall en cada gir, el que interessa és que l'usuari comenci el recorregut del tobogan amb la sensació que els girs són suaus, i a mesura que avança, aquests girs li han de produir una sensació de velocitat i adrenalina, ambdues causades per corbes tancades, és a dir, de radi inferior.

A la Figura 108 es mostra el primer gir del tobogan, el qual s'ha dissenyat de manera que el seu radi sigui gran per tal que l'entrada a la corba sigui suau i subtil. La curvatura creix i decreix progressivament i lentament, mantenint constant el radi de gir per evitar canvis bruscos dins la corba.

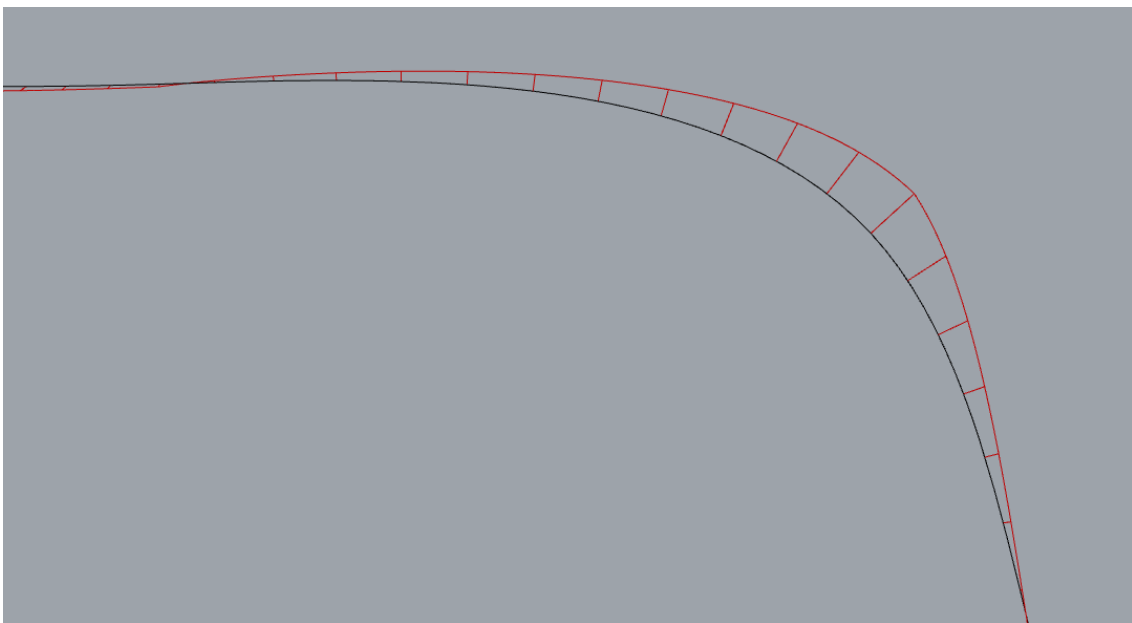


Figura 108. Detall del primer gir del tobogan aquàtic, on es mostra el seu gràfic de curvatura. Font: *Rhino*.

Per altra banda, a la Figura 109 es mostra la segona corba del recorregut, la qual consisteix de dos girs consecutius en el mateix sentit. En aquest cas, en ser una corba en baixada, i tenir un pendent pronunciat, s'ha optat per dissenyar el primer gir amb un radi superior al segon, de manera que s'entri suaument i que sigui la segona corba la que tingui un radi inferior que proporcioni més emoció a l'atracció.

Com es pot observar en la Figura 109, la curvatura del segon gir és superior al primer, mentre que en la transició entre corbes aquesta propietat es manté constant per tal de no posar en risc la seguretat dels usuaris.

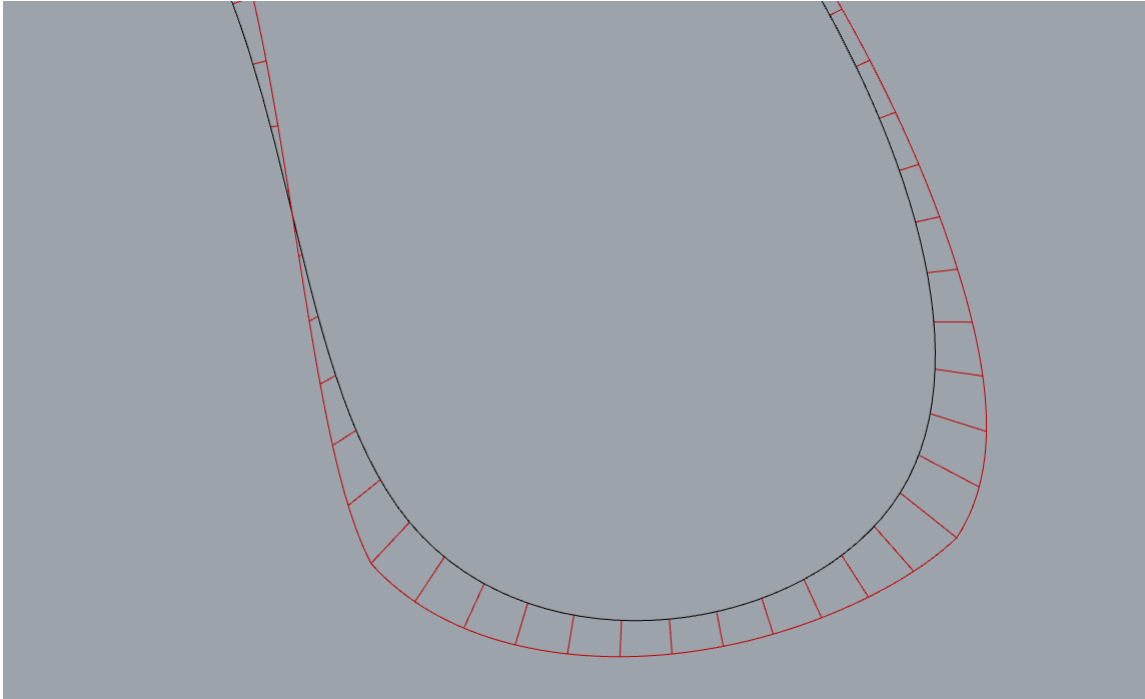


Figura 109. Detall en vista superior de la segona corba del tobogan, formada per dos girs en baixada.

Font: *Rhino*.

La part final amb forma d'hèlix té una consecució de girs en el mateix sentit, fet que evita riscos en la transició entre corbes. Per aquest motiu els radis de gir poden ser inferiors, i en conseqüència obtenir una sèrie de corbes tancades que augmenten l'adrenalina dels usuaris en el seu pas.

Aquesta hèlix es mostra en la seva vista superior a la Figura 110. La característica de la curvatura en aquests girs rau en els radis petits de cada corba, fent que aquesta augmenti amb salts més pronunciats respecte als girs inicials, mentre que la curvatura en la transició entre els girs de l'hèlix és contínua, de manera que el recorregut es completa amb rapidesa i seguretat.

Per altra banda, l'última corba de l'hèlix té un radi de gir superior per tal de suavitzar l'entrada al tram final del tobogan. Com que aquest últim tram consta d'una baixada amb un pendent proper al 20%, és primordial disminuir la velocitat de l'usuari i proporcionar-li una posició que afavoreixi baixar amb la màxima seguretat.

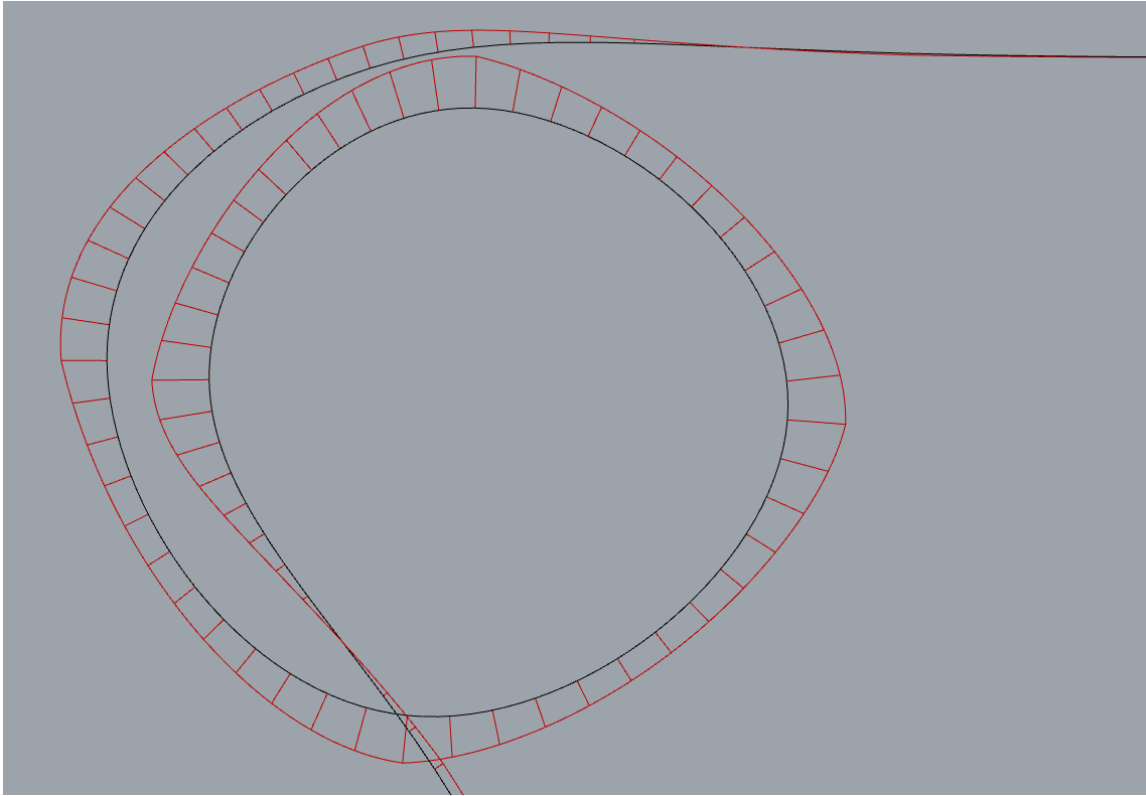


Figura 110. Vista superior de l'hèlix en la part final del tobogan aquàtic. Font: *Rhino*.

En el primer tram de l'atracció també cal analitzar la curvatura, ja que tot i no ser un gir com a tal, sí que es compon d'una baixada, la qual també té un radi associat. És important que les baixades no tinguin una alta curvatura per evitar que els usuaris perdin el contacte amb la pista de lliscament.

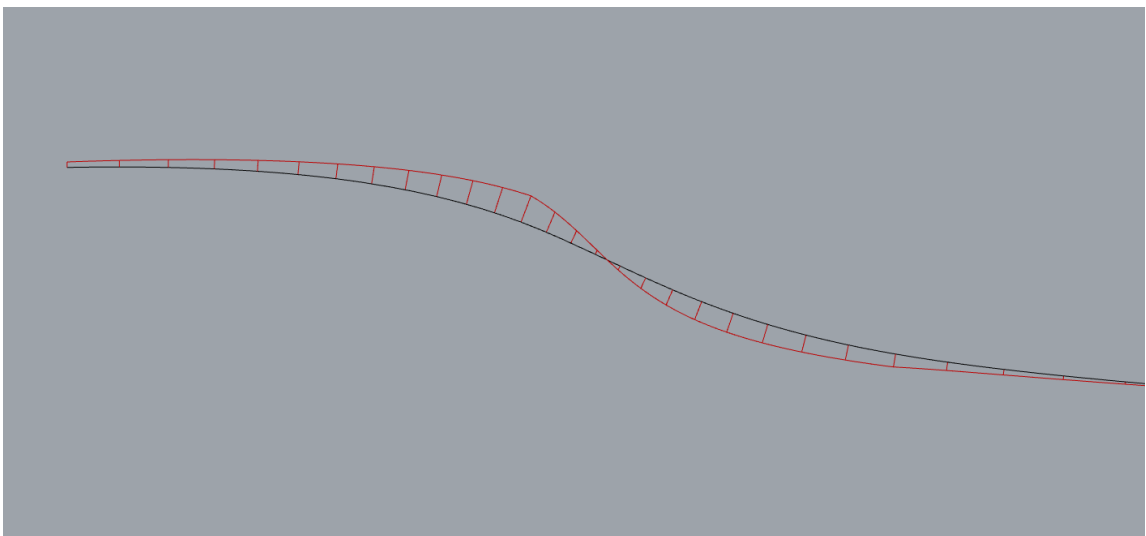


Figura 111. Vista lateral del primer tram del tobogan. Font: *Rhino*.

A partir de la vista lateral de la Figura 111, s'observa que la curvatura creix progressivament, i que en la transició a la baixada no es produeix cap canvi brusca.

D.2 Curvatura del tobogan

La curvatura del tobogan es realitza mitjançant un gràfic de curvatura de la superfície, el qual proporciona informació sobre la curvatura en cada punt del tobogan, i a diferència dels 'peines de curvatura', ho fa per tota la seva superfície.

El gràfic de curvatura es representa amb una escala de color, on cadascun representa el valor del radi de curvatura associat a aquell punt del tobogan: el vermell i el blau marí indiquen on més gran és aquest valor de curvatura, mentre que el color verd és indicatiu de superfície plana.

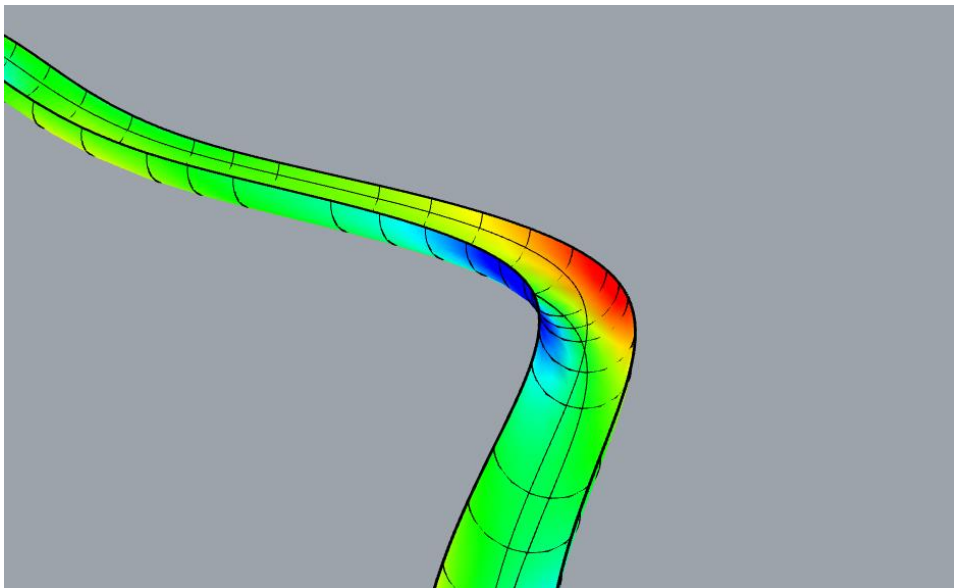


Figura 112. Primer gir del tobogan, on es mostra la progressió de colors en la corba. Font: *Rhino*.

És important que la transició entre colors sigui progressiva: en un punt del tobogan on la curvatura sigui de color vermell, aquesta ha de disminuir fins al color verd passant pel color taronja i groc respectivament.

L'elecció del rang màxim de curvatura es fa a partir de la definició del radi de curvatura, el qual simplement és l'invers del radi. Per tant, el punt amb més curvatura serà on el radi de la corba tingui un valor menor.

El radi més petit correspon al del gir número 2, sent de 3,23 metres. Això resulta en un radi de curvatura de 0,31.

A la Figura 112 es mostra el gràfic de curvatura del primer gir de l'atracció. La curvatura és màxima en els punts més alts de la corba del tobogan, mentre que aquesta disminueix a mesura que s'aproxima a la zona central, la de color verd clar, corresponent a la part plana.

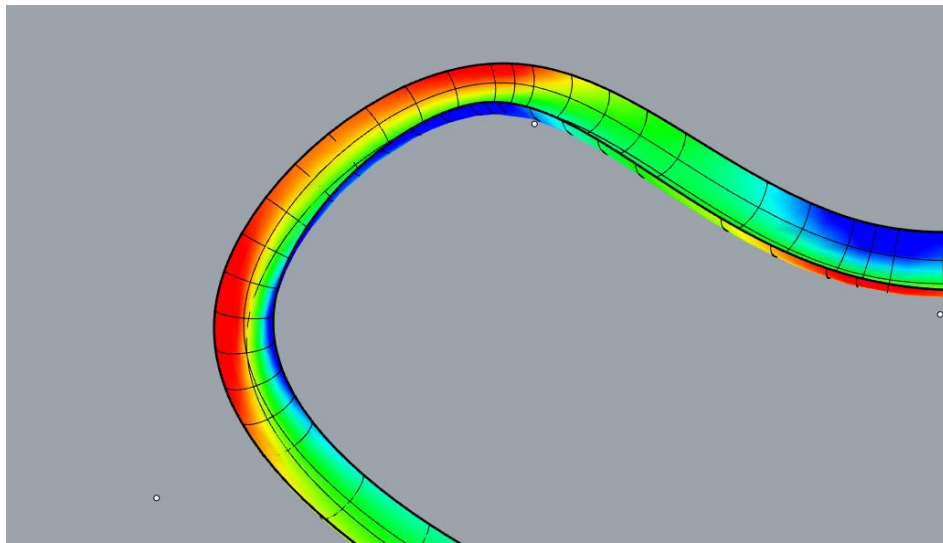


Figura 113. Doble gir consecutiu del tobogan aquàtic. Font: *Rhino*.

Analitzant la segona corba del tobogan, a la Figura 113, formada per dos girs consecutius en baixada, s'observa que en la transició entre girs la curvatura disminueix de color vermell a taronja, per tal que la velocitat no disminueixi en excés, mentre que en el centre d'ambdós girs la curvatura és màxima (vermell).

Respecte a la curvatura de l'hèlix, la qual es mostra a la Figura 114 i a la Figura 115, ha de complir les mateixes propietats que la resta de girs. La zona central del tobogan ha de ser plana, i així es confirma amb el color verd.

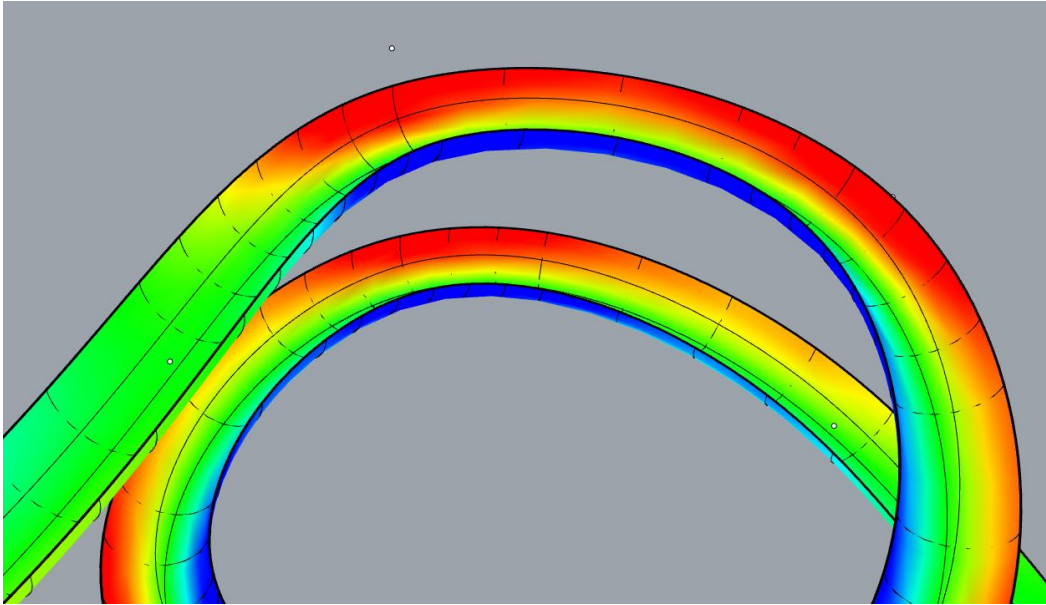


Figura 114. Vista frontal de la curvatura en l'hèlix de l'atracció. Font: *Rhino*.

En els punts centrals dels girs es concentra la màxima curvatura, amb l'objectiu de proporcionar la sensació de sortir de la pista de lliscament als usuaris, mentre que en la transició entre aquests, el valor de la curvatura disminueix per desaccelerar l'usuari i disminuir la seva velocitat a l'entrada de la següent corba.

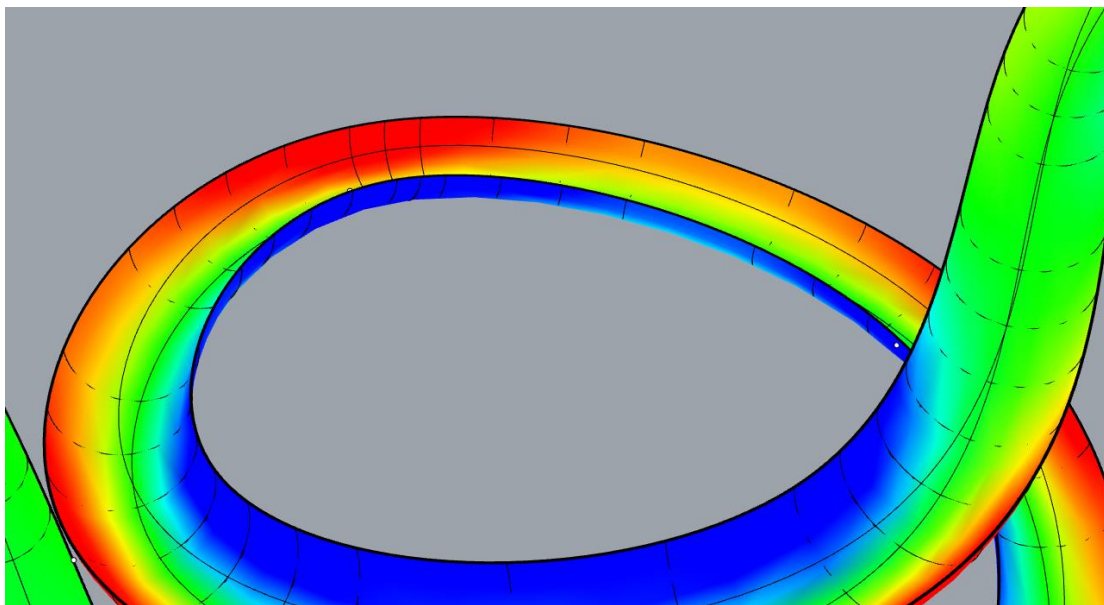


Figura 115. Vista posterior de la curvatura de l'hèlix del tobogan. Font: *Rhino*.

En tots els punts on la curvatura a la superfície sigui vermella, caldrà instal·lar murs per evitar que els usuaris puguin sortir de la pista de lliscament.

ANNEX E: CÀLCUL DE LA VELOCITAT DELS USUARIS

E Càlcul de la velocitat dels usuaris

El tobogan del present projecte està classificat com a tipus 4, i com es mostra a la Taula 1, la velocitat màxima dels usuaris ha de ser de 14 m/s. Aquesta velocitat ve determinada per dos factors independents: la resistència de l'aire i la força tallant de l'aigua.

A la Figura 116 es representa el diagrama de cos lliure d'una persona que baixa pel tobogan.

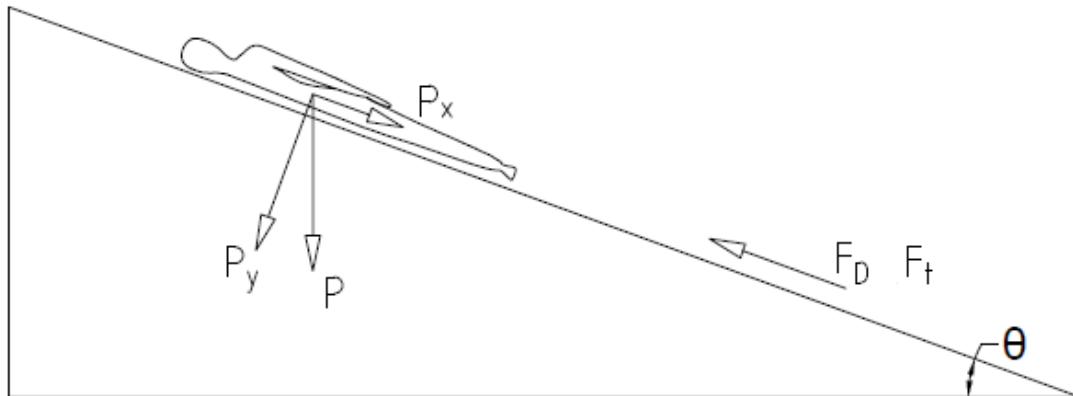


Figura 116. Diagrama de cos lliure d'un usuari baixant pel tobogan. Font: Pròpia.

Inicialment s'aplica la segona llei de Newton, expressada en l'Equació 46.

$$P_x - F_t - F_D = m \cdot a \quad (\text{Eq. 46})$$

On P_x és la component horitzontal del pes de la persona; F_t és la força tallant del contacte entre aigua i persona; i F_D és la força de resistència exercida per l'aire (*drag force*). Primerament es descriurà el càlcul de la força tallant, i posteriorment es realitzarà el mateix amb la resistència de l'aire.

A l'Equació 47 es mostra l'expressió de càlcul de la força tallant F_t .

$$F_t = \tau \cdot A = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta z} \cdot A = \mu \cdot \frac{v}{z} \cdot A_S \quad (\text{Eq. 47})$$

On μ és el coeficient de viscositat dinàmica (0,001 Pa·s); v és la velocitat de la persona; z la làmina d'aigua sota la persona; i A_S és l'àrea de l'usuari en contacte amb la superfície del tobogan.

La resistència de l'aire (*drag*) actua en sentit contrari al moviment de la persona que llisca, tal com es mostra al diagrama de cos lliure de la Figura 116. Aquesta força es defineix a l'Equació 48.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A_F \cdot v^2 \quad (\text{Eq. 48})$$

On C és el coeficient de *drag*; ρ és la densitat de l'aire; A_F és l'àrea de l'usuari; i v és la velocitat de la persona.

Es desconeix l'acceleració de la persona en el moment de baixar per l'atracció, de manera que aquest paràmetre es posarà en funció de la velocitat i de la longitud del cada tram del tobogan.

Per tal d'obtenir l'expressió de l'acceleració s'usaran les fórmules característiques d'un MRUA (Moviment Rectilini Uniformement Accelerat), és a dir, considerant que el cos manté una acceleració constant en tot el tram de baixada. L'Equació 49 descriu la velocitat del cos i l'Equació 50 la distància recorreguda.

$$v = v_o + a \cdot t \quad (\text{Eq. 49})$$

$$x = x_o + v_o \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (\text{Eq. 50})$$

On v és la velocitat de la persona, en m/s; v_o és la velocitat inicial de la persona, en m/s; a és l'acceleració del cos, en m/s²; t és el temps que tarda la persona a recórrer la distància, en s; x és la distància que recorre el cos, en m; i x_o és la posició inicial del cos, que en tots els casos serà nul·la.

La velocitat inicial de la persona en un tram (v_o) correspon a la velocitat final (v) del tram anterior, es a dir, la velocitat inicial del tram 2 correspon a la velocitat final del tram 1. Respecte a aquest tram 1, la seva velocitat inicial és nul·la, ja que la persona parteix del repòs.

A la Taula 53 es mostren les expressions de l'acceleració per al cas de velocitat inicial nul·la o no, les quals s'obtenen a partir de combinar l'Equació 49 i l'Equació 50.

Taula 53. Expressions de l'acceleració en funció de la velocitat inicial. Font: *Pròpia*.

Velocitat inicial nul·la ($v_o = 0$)	Velocitat inicial no nul·la ($v_o \neq 0$)
$x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot x}{a}}$	$v = v_o + a \cdot t \rightarrow t = \frac{v - v_o}{a}$
$v = a \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot x}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot x \cdot a^2}{a}} = \sqrt{2 \cdot x \cdot a}$	$x = v_o \cdot \left(\frac{v - v_o}{a}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v - v_o}{a}\right)^2$
$a = \frac{v^2}{2 \cdot x}$	$a = \frac{v^2 - v_o^2}{2 \cdot x}$

Si substituïm la força tallant (Equació 47), la força de l'aire (Equació 48), i les expressions de l'acceleració a l'Equació 46, obtenim l'expressió de la velocitat de descens de manera implícita, sent una equació de segon ordre, com es mostra a l'Equació 51 per velocitat inicial nul·la, i a l'Equació 52 per velocitat inicial no nul·la.

$$v^2 \cdot \left(\frac{m}{2 \cdot x} + \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A_F\right) + v \cdot \left(\frac{\mu}{Z} \cdot A_S\right) = m \cdot g \cdot \sin\theta \quad (\text{Eq. 51})$$

$$v^2 \cdot \left(\frac{m}{2 \cdot x} + \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A_F\right) + v \cdot \left(\frac{\mu}{Z} \cdot A_S\right) = m \cdot g \cdot \sin\theta + \frac{m \cdot v_o^2}{2 \cdot x} \quad (\text{Eq. 52})$$

A la Taula 54 es mostren els valors dels diferents paràmetres relacionats amb la persona que baixa pel tobogan, sent bàsicament el pes i la constitució.

Taula 54. Paràmetres de càlcul corresponents als usuaris. Font: Pròpia.

	Massa (kg)	Àrea corporal (A _s)	Àrea corporal frontal (A _F)	Coefficient de drag(C)
Home	77,5	2,06	0,25	1,0
Dona	63,5	1,83	0,20	1,0
Noi	68,2	1,98	0,22	1,0
Noia	58,5	1,73	0,17	1,0
Nen (13 a.)	46,7	1,60	0,11	1,0
Nena (13 a.)	46,4	1,55	0,10	1,0
Nen (10 a.)	32,2	1,24	0,07	1,0
Nena (10 a.)	34,6	1,25	0,08	1,0

Es considera un coeficient de resistència a l'aire de $C = 1,0$ per a tots els gèneres i edats. Aquest valor està relacionat amb la posició de l'usuari en el tobogan, la qual pot variar significativament si l'usuari aixeca el cap, o bé en determinats moments s'incorpora en posició asseguda.

La profunditat de la làmina d'aigua és un paràmetre que varia segons les característiques de la persona i del pendent del tobogan, i correspon al nivell d'aigua que flueix entre el tobogan i la persona. Per conèixer el seu valor aproximat, es calcularà la combinació més desfavorable, és a dir, la que produeixi una velocitat més alta.

A partir de l'Equació 47 de la força tallant s'obté que la relació entre la profunditat de la làmina d'aigua i la velocitat de la persona és inversament proporcional, i que la relació entre el pendent i aquesta mateixa profunditat també és inversament proporcional. En conclusió, com més pendent tingui un tram del tobogan, més petita serà la làmina d'aigua, i més gran serà la velocitat.

L'expressió de la profunditat de la làmina d'aigua es mostra a l'Equació 53.

$$z = \frac{\mu \cdot v \cdot A_s}{m \cdot g \cdot \sin\theta - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A_F \cdot v^2} \quad (\text{Eq. 53})$$

Per tant, segons l'explicació anterior, es calcularà la làmina d'aigua per una velocitat de 14 m/s (màxima permesa) i un pendent de $27,493^\circ$, corresponent al de més gran valor de tots els que formen part de l'atracció. L'àrea mitja d'una persona és de $1,7 \text{ m}^2$ i el pes mig de 77,5 kg.

$$z = \frac{0,001 \cdot 14 \cdot 1,9}{77,5 \cdot 9,81 \cdot \sin(27,493) - \frac{1}{2} \cdot 1,01,21 \cdot 1,0 \cdot 14^2} = 0,000102 \text{ m} = 0,102 \text{ mm}$$

Cal remarcar que el càlcul de la làmina d'aigua es realitza sota la hipòtesi de velocitat terminal de l'usuari, és a dir, que la persona arriba a una velocitat màxima en la qual deixa d'accelerar-se.

A la Taula 55 es detalla la velocitat en cada tram del tobogan, classificada per gènere i edat, calculada a partir de l'Equació 51 i l'Equació 52 respectivament. Aquest càlcul s'ha dut a terme a partir de l'eina *Solver* incorporada en el programari *Microsoft Excel*, on s'ha imposat que la velocitat fos positiva i no superés els 14 m/s.

Taula 55. Velocitat per cada tram, gènere i edat. Font: Pròpia.

Tram	Home	Dona	Noi	Noia	Nen (13 a)	Nena (13 a)	Nen (10 a)	Nena (10 a)
1	1,78	1,73	1,72	1,71	1,61	1,63	1,52	1,57
2	4,71	4,62	4,61	4,59	4,41	4,45	4,27	4,35
3	4,61	4,43	4,42	4,39	4,04	4,11	3,77	3,92
4	5,54	5,32	5,30	5,26	4,85	4,93	4,53	4,70
5	6,93	6,70	6,68	6,64	6,21	6,29	5,86	6,05
6	8,22	7,96	7,93	7,89	7,40	7,50	7,01	7,22
7	6,80	6,44	6,40	6,35	5,66	5,80	5,13	5,42
8	6,76	6,37	6,33	6,27	5,55	5,70	5,00	5,29
9	6,62	6,21	6,17	6,11	5,35	5,51	4,79	5,09
10	6,28	5,84	5,80	5,73	4,94	5,10	4,37	4,68
11	6,03	5,59	5,54	5,47	4,68	4,84	4,13	4,42
12	5,77	5,31	5,27	5,20	4,42	4,57	3,89	4,17
13	5,85	5,40	5,36	5,29	4,55	4,69	4,05	4,31
14	6,10	5,67	5,63	5,56	4,85	4,99	4,37	4,62
15	5,62	5,17	5,12	5,09	4,33	4,48	3,82	4,09
V_{mig}	5,84	5,52	5,48	5,44	4,86	4,97	4,43	4,66

Per un tobogan aquàtic que incorpora una piscina de descàrrega en el seu tram final, és recomanable no superar els 10 m/s en el moment de transició entre tobogan i piscina, per tal que el xoc produït per la desacceleració no provoqui efectes greus en l'usuari, en forma de lesions o contusions.

De la Taula 55 es pot extreure que al final del tobogan, corresponent al tram 15, no se supera en cap cas els 10 m/s, és més, la velocitat en aquest tram és quasi la meitat de la recomanada. D'aquesta forma es proporciona més seguretat en la part final de l'atracció, evitant així xocs forts en el moment d'arribar a l'aigua de la piscina.

ANNEX F: PARÀMETRES DE LES ESCALES

F Escales d'accés al tobogan

Per accedir a la plataforma de sortida de l'atracció s'usarà una escala metàl·lica amb forma rectangular. En aquest annex es procedeix a detallar les característiques que ha de tenir l'escala, tals com altura i l'amplada dels escalons.

No es realitzarà l'estudi estructural de l'escala, només es detallaran les càrregues de disseny que necessita suportar. Es considera que l'escala serà proporcionada per una empresa subcontractada que efectuarà els càlculs corresponents a partir de les càrregues del projecte.

El valor de les càrregues de disseny, així com les mesures pròpies de l'escala vénen regulades per la normativa tècnica UNE EN 1069-2.

F.1 Càrregues verticals

Les càrregues verticals s'apliquen en qualsevol zona de l'escala destinada a l'accés a peu. Com que l'escala estarà oberta tant a l'accés públic (usuaris del tobogan), com a l'accés privat (socorristes o equip manteniment), es consideraran les càrregues més desfavorables, és a dir, les de l'accés públic:

- $q = 3,5 \text{ kN/m}^2$ per escales, replans i altres elements similars.
- $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ com a valor més elevat, en casos que es prevegi una gran afluència de persones.
- $Q_k = 1,0 \text{ kN}$ per cada escaló de l'escala.

F.2 Càrregues horitzontals

Les càrregues horitzontals s'apliquen a les barreres de protecció i altres elements similars com passamans. En cas que s'hagi escollit un disseny amb la càrrega $q = 3,5 \text{ kN/m}^2$, s'usaran les següents accions horitzontals:

- $p_k = 0,5 \text{ kN/m}$ aplicats a l'altura dels passamans.
- $p_k = 0,1 \text{ kN/m}$ aplicats a una altura intermèdia de la barana.

Si el terra s'ha dissenyat per una càrrega $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$, s'usaran les següents càrregues horitzontals:

- $p_k = 1,0 \text{ kN/m}$ aplicats a l'altura dels passamans.
- $p_k = 0,15 \text{ kN/m}$ aplicats a una altura intermèdia de la barana.

F.3 Paràmetres de l'escala

L'escala disposarà de passamans a ambdós costats, de manera que es dona seguretat a la gent que necessiti baixar, bé perquè s'han retractat de pujar, o bé perquè no compleixi els requisits per completar el recorregut (lesió, objectes que poden caure, etc.).

Per una escala amb passamans a ambdós costats, aquesta ha de tenir una amplada mínima de 800 mm. Aquest disseny estret evita aglomeracions de gent a l'escala, fet que pot causar empentes involuntàries entre usuaris i caigudes perilloses. Per tant, es dissenyarà l'escala per una amplada de 800 mm.

Els escalons tindran una altura de 200 mm, valor mitjà que permet als usuaris una pujada fàcil i àgil, que no produeixi sensació de cansament. Aquesta altura de l'escaló està compresa dins el rang de 140 mm i 240 mm que marca la normativa tècnica UNE EN 1069-2.

Per altra banda, l'amplada de l'escaló serà de 30 cm, corresponent a una talla 45,5 de peu. D'aquesta manera s'assegura que els usuaris amb un peu gran puguin pujar amb seguretat, sense la sensació tenen mig peu fora de l'escaló i que poden relliscar en qualsevol moment.

A la Figura 117 es mostra un esbós de les dimensions que tindrà l'escala en els trams d'escalons, on **a** és l'altura de l'escaló, **e** és l'amplada d'aquest, i **b** és l'amplada de l'escala.

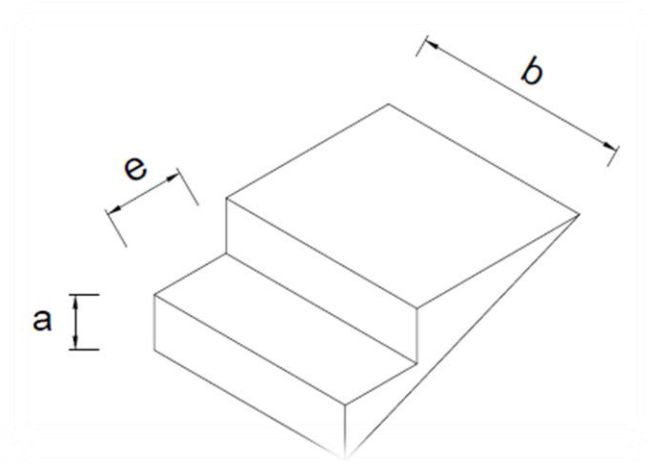


Figura 117. Dimensions de l'escala. Font: Pròpia.

Els trams de l'escala no poden superar els 18 escalons, i s'ha de disposar de replans de mínim 800 mm de profunditat entre aquests trams d'escalons. A més, l'altura lliure sobre els escalons ha de ser de 2 m, és a dir, entre dos trams verticals hi ha d'haver una separació mínima de 200 cm.

A partir de les dimensions comentades, es pot calcular quants trams tindrà l'escala, i de quants escalons es compondrà. L'atracció té una altura de 13 metres, resultant dels 17 metres totals menys 4 metres corresponents a l'alçada del terreny. Es calcula quants escalons seran necessaris per arribar a 13 m, considerant que l'altura de l'escaló és de 20 cm.

$$1300 \text{ cm} \cdot \frac{1 \text{ escaló}}{20 \text{ cm}} = 65 \text{ escalons}$$

$$65 \text{ escalons} \cdot \frac{1 \text{ tram}}{13 \text{ escalons}} = 5 \text{ trams}$$

Els escalons de l'escala estaran a nivell, amb una inclinació màxima del 2,5%. Aquesta inclinació permetrà que l'aigua portada pels usuaris molls no quedi atrapada en els escalons, evitant possibles lliscaments en el moment de contacte, i al mateix moment no suposa un desnivell que pugui desequilibrar els usuaris.

Els escalons seran reixats, tal com es mostra a la Figura 118, per tal que l'aigua que duen els usuaris no s'acumuli a les escales, evitant riscos de lliscament. Aquests escalons hauran d'estar polits i llimats per tal que no produeixin petites ferides als peus (majoritàriament) dels usuaris.



Figura 118. Model d'un escaló de reixeta. Font: *galvanizedsteelgrating*.

A la Figura 119 es mostra el model 3D de les escales que s'instal·laran al tobogan.



Figura 119. Model de les escales del tobogan aquàtic. Font: *Pròpia*.