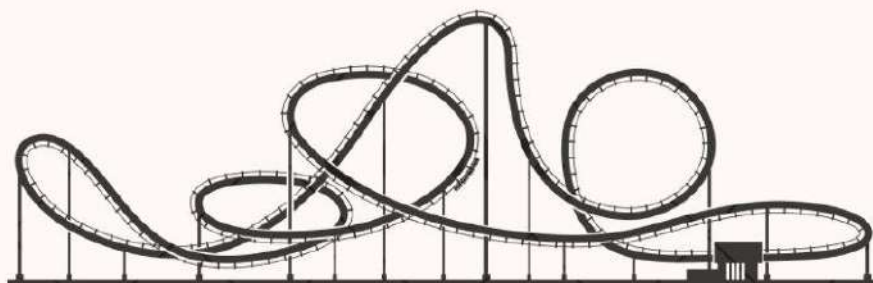


DISSENY D'UNA NOVA MUNTANYA RUSSA PER A PORTAVENTURA PARK



TREBALL DE RECERCA

Pseudònim: Kinabalu

Curs 2024-2025

“Disneyland will never be completed. It will continue to grow as long as there is imagination left in the world.”

“We believed in our idea: a family park where parents and children could have fun together.”

Walt Disney

RESUM

En aquest treball de recerca es desenvolupa el procés necessari per a la realització d'una muntanya russa de disseny propi. Addicionalment, s'estudia la implementació d'aquesta nova atracció a PortAventura Park, el parc d'atraccions més important d'Espanya.

En primer lloc, s'ha realitzat una investigació sobre la història i l'origen de les muntanyes russes, i les seves característiques més generals. Juntament amb això, s'han situat en el panorama actual, tant nacionalment com internacionalment.

Seguidament, s'ha fet una recerca sobre PortAventura Park. Situat a Tarragona, és el parc d'atraccions més representatiu i reconegut del país, i compta amb molts aspectes característics, com les diferents zones temàtiques o les seves originals atraccions.

Per una altra banda, s'han estudiat les muntanyes russes des d'una perspectiva més tècnica i física. S'ha explicat la llei de la física fonamental que regeix el funcionament d'aquestes atraccions, i, després, s'han identificat els elements més fonamentals que les formen.

A continuació, amb l'ajuda de la investigació prèvia, s'han estudiat els mapes de PortAventura, per poder arribar a col·locar la nova muntanya russa a un terreny viable. A partir d'aquí, s'ha pogut desenvolupar el procés de creació de la nova atracció, des de la primera idea, passant per la història, el disseny, el càlcul de l'estructura i més, fins a arribar a un prototip final, que podria arribar a ser portat a la realitat, amb el nom de *Kinabalu*.

Per a il·lustrar aquest resultat final, s'han realitzat tant un disseny 3D a l'ordinador com una maqueta a escala, amb ajuda d'impressions 3D, en la qual es pot observar com podria ser aquesta nova muntanya russa en la realitat.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se desarrolla el proceso necesario para la creación de una montaña rusa de diseño propio. Adicionalmente, se estudia la implementación de esta nueva atracción en PortAventura Park, el parque de atracciones más importante de España.

En primer lugar, se ha realizado una investigación sobre la historia y el origen de las montañas rusas, y sus características más generales. Junto con esto, se han situado en el panorama actual, tanto nacionalmente como internacionalmente.

Seguidamente, se ha hecho una investigación sobre PortAventura Park. Situado en Tarragona, es el parque de atracciones más representativo y reconocido del país, y cuenta con muchas características singulares, como las diferentes zonas temáticas o sus originales atracciones.

Por otra parte, se han estudiado las montañas rusas desde una perspectiva más técnica y física. Se ha explicado la ley fundamental de la física que rige su funcionamiento, y, después, se han identificado los principales elementos que las forman.

A continuación, con la ayuda de la investigación previa, se han estudiado los mapas de PortAventura, para poder llegar a situar la nueva montaña rusa en un terreno viable. A partir de aquí, se ha podido desarrollar el proceso de creación de la nueva atracción, desde la primera idea, pasando por la historia, el diseño, el cálculo de la estructura y más, hasta llegar a un prototipo final, que podría ser llevado a la realidad, con el nombre de *Kinabalu*.

Para ilustrar este resultado final, se han realizado tanto un diseño 3D a ordenador como una maqueta a escala, con ayuda de diferentes impresiones 3D, en la cual se puede observar cómo podría ser esta nueva montaña rusa en la realidad.

ABSTRACT

This research project develops the process for creating a self-designed roller coaster. In addition, it includes a study of how to implement this new attraction in PortAventura Park, Spain's most important amusement park.

Firstly, research has been carried out about the history and origin of roller coasters and their most general characteristics. They have also been placed in the current national and international panorama.

Next, research has been conducted on how PortAventura Park works. Located in Tarragona, it is the country's most representative and recognized amusement park, and has many singular characteristics, such as the different themed areas or its original rides.

Furthermore, roller coasters have been studied from a technical and physical perspective. The fundamental physics law that allows them to operate has been explored, and there has been research on the essential elements that form them.

Finally, with the help of the previous research, the PortAventura area was studied to situate the new roller coaster on a viable land. From here, the process of creating the new attraction was developed, from the first idea, through the history, the design, the calculation of the structure, and more, until reaching a final prototype, which could be brought to reality, with *Kinabalu* as name.

To illustrate this final result, a 3D design made by computer was made, and a scale model was built with the help of 3D printing, showing how this new roller coaster could look in reality.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	8
2. HIPÒTESI I OBJECTIUS	10
3. QUÈ ÉS UNA MUNTANYA RUSSA?	11
3.1. Tipus de muntanyes russes	12
4. HISTÒRIA DE LES MUNTANYES RUSSES	14
4.1. Els orígens de les muntanyes russes	14
4.2. L'expansió a Europa	14
4.3. La primera muntanya russa	15
4.4. L'evolució des del segle XX fins a l'actualitat	15
4.5. Les muntanyes russes a Espanya	16
5. PORTAVENTURA PARK	19
5.1. Creació i inici de PortAventura Park	20
5.2. PortAventura Park en l'actualitat	21
5.2.1. Les zones temàtiques de PortAventura Park	22
5.2.1.1. Mediterrània	22
5.2.1.2. Polinesia	23
5.2.1.3. Xina	23
5.2.1.4. Mèxic	24
5.2.1.5. Far West	24
5.2.1.6. SésamoAventura	25
5.3. Les muntanyes russes de PortAventura Park	26
5.3.1. El diable - Tren de la mina	26
5.3.2. Stampida i Tomahawk	27
5.3.3. Tami tami	27
5.3.4. Furius Baco	28
5.3.5. Uncharted: L'enigma de Penitence.	29
6. FUNCIONAMENT I CONSTRUCCIÓ D'UNA MUNTANYA RUSSA	30
6.1. Aspectes tècnics i físics d'una muntanya russa	30
6.1.1. La física de les muntanyes russes	30
6.1.2. Parts d'una muntanya russa	32
6.1.2.1. Vagons, tren i estació	32
6.1.2.2. Via, rails i elements estructurals	33
6.1.2.3. Sistemes d'elevació o llançament	34
6.1.2.4. Frens	35
6.1.2.5. Elements d'emoció	36
6.1.2.5.1. La física dels loopings	37
6.1.2.6. Elements de seguretat	37
6.2. Cost d'una muntanya russa	39
7. CREACIÓ D'UN DISSENY PROPI DE MUNTANYA RUSSA	41

7.1. Estudi dels plànols de PortAventura Park	41
7.1.1. Aspectes exteriors	41
7.1.2. Funcionament de l'interior del parc	43
7.1.3. Localització final de la muntanya russa	52
7.2. Història de la muntanya russa	53
7.3. Recorregut de la muntanya russa	55
7.3.1. Tram 1	55
7.3.2. Tram 2	58
7.3.3. Tram 3	60
7.4. Aspectes tècnics	63
7.4.1. Material i sistema de frenada de la muntanya russa	63
7.4.2. Capacitat i trens de la muntanya russa	63
7.4.3. Estudi de les estructures de les muntanyes russes	64
7.4.4. Estructura de la nostra muntanya russa	65
7.5. Càlcul de l'estructura	68
7.5.1. Càlcul de la biga	68
7.5.2. Càlcul dels pilars	72
7.5.2.1. Part vertical	73
7.5.2.2. Part dividida	75
7.6. Disseny 3D	78
7.6.1. Disseny 3D de la muntanya russa	78
7.6.2. Disseny 3D de la caseta	84
7.6.3. Cartell de la muntanya russa	84
7.6.4. Disseny 3D d'un tren	85
7.7. Creació de la maqueta	86
7.8. Pressupost de la maqueta	95
8. CONCLUSIONS	96
9. AGRAÏMENTS	99
10. WEBGRAFIA	100
11. ANNEX	105

1. INTRODUCCIÓ

El tema tractat en aquest treball de recerca és la possibilitat d'implementar una nova muntanya russa de disseny propi al parc temàtic més important d'Espanya, PortAventura Park, situat dins del complex d'oci PortAventura World, amb localització a la Costa Daurada, Catalunya.

Des del moment en el qual se'm va presentar l'oportunitat d'escollir tema per aquest treball, sabia que volia que tingués relació amb el món de la tecnologia i el disseny, pel fet que són dos àmbits que m'agraden i que tenen molt a veure amb les meves aspiracions de cara a un futur.

Així doncs, vaig decidir centrar-me en el món de les muntanyes russes, sobre el qual sempre he tingut una gran curiositat. Em sembla fascinant el sentiment que t'envolta en el moment just abans de la caiguda de l'atracció, i la forma en què cada una d'elles tenen un disseny i circuit propis que fan que tot encaixi a la perfecció.

Amb el disseny de la meua pròpia muntanya russa, busco poder descobrir més d'aquesta àrea bastant desconeguda i poder aprendre la metodologia que hi ha darrere de la construcció d'una d'aquestes atraccions des de zero, des de la creació del recorregut, passant pel càlcul d'estructures, fins a l'elecció de materials. Addicionalment, realitzaré una maqueta amb impressores 3D per tal de poder representar el disseny creat.

A més, com a habitant de la zona metropolitana de Barcelona, PortAventura ha estat un destí freqüent per a dies d'oci amb família i amics, i sempre m'ha cridat l'atenció la planificació que hi ha darrere del parc en conjunt. La col·locació de les atraccions, l'alternança amb restaurants i altres zones d'oci, la divisió en diferents parts temàtiques... Tot el que trobem i com ho trobem té un motiu i ha hagut d'haver estat pensat per algú prèviament.

Llavors, amb la finalitat de poder conèixer també la forma de divisió i organització d'un gran parc temàtic d'èxit com és PortAventura Park, he decidit fer un estudi per tal d'analitzar la seva extensió, amb l'ajut dels seus plànols, i poder determinar un lloc per situar una nova muntanya russa.

Per poder dur a terme aquest treball el dividiré en dues parts principals. A la primera, la part teòrica, estudiaré l'evolució de les muntanyes russes fins a l'actualitat i el procés que hi ha darrere de la creació d'una. A partir d'aquí, a la part pràctica, utilitzaré els anteriors coneixements per crear un disseny propi, amb la finalitat de poder arribar a un prototip

funcional i que pugui ser creat en la vida real. Per la creació de la maqueta faré servir eines com l'aplicació SketchUp i les impressores 3D amb les quals comptem a l'institut.

2. HIPÒTESI I OBJECTIUS

Per a la realització d'aquest treball, ens plantejarem les següents hipòtesis:

El parc temàtic de PortAventura Park pot acollir una nova muntanya russa.

És possible crear una maqueta d'una muntanya russa de disseny propi arran de l'estudi del seu procés de creació amb les eines de què disposem al taller de Tecnologia.

Per tal de poder donar resposta a aquestes qüestions, serà necessària una recerca per poder conèixer més sobre les muntanyes russes i la seva creació. A més, haurem d'estudiar el seu procés de creació per tal d'intentar imitar-lo i poder arribar a un prototip final.

Per aquesta raó, ens plantejem els següents objectius, que s'hauran d'anar assolint a mesura que es fa el treball:

- Conèixer la història i el funcionament de les muntanyes russes.
- Aprendre el procés de creació d'una muntanya russa, des del disseny fins a la construcció.
- Estudiar els plànols de PortAventura Park i poder escollir (si és possible) el lloc adequat per a poder situar la nova atracció.
- Ser capaç de replicar aquest procés de creació, fins a arribar a un prototip propi i que pugui ser portat a la realitat.
- Poder realitzar una representació 3D del disseny final i després portar-ho a la realitat en forma de maqueta.

3. QUÈ ÉS UNA MUNTANYA RUSSA?

Estructuralment, una muntanya russa és un tipus d'atracció que funciona arran d'un sistema de rails que amb diverses pujades i baixades formen un circuit. Sobre aquests rails llisquen trens, habitualment a grans velocitats, formats per diversos vagons, en els quals viatgen els passatgers.

Normalment, els trens pugen mitjançant cadenes o cables moguts per un motor i després utilitzen la força de gravetat per descendir amb grans acceleracions.



Imatge 1. Muntanya russa *The Incredible Hulk* al parc d'atraccions Illes de l'Aventura a Orlando. Imatge extreta de https://partidisneyparks.com/es/montana-rusa-de-hulk/?utm_content=cmp-true

A més, hi ha muntanyes russes, especialment les que es troben en parcs temàtics, com Disneyland, que poden estar ambientades en alguna pel·lícula o sèrie o tenir una història pròpia que expliquen al llarg del recorregut al passatger.

Un exemple és *Remy's Ratatouille Adventure*, situada a EPCOT, un parc temàtic situat al Walt Disney World Resort a Florida. Com el nom de la mateixa atracció indica, aquesta muntanya russa, que compta amb ulleres que fan l'experiència 4D, et mostra un recorregut culinari en grans dimensions, com si estiguessis acompanyant al Chef Remy, de la pel·lícula de Disney *Ratatouille*.



Imatge 2. Muntanya russa *Remy's Ratatouille Adventure*. Imatge extreta de <https://www.disneyworld.eu/attractions/epcot/remys-ratatouille-adventure/>

3.1. Tipus de muntanyes russes

Podem classificar les muntanyes russes depenent de quatre factors principals: segons els seients, segons l'altura, segons el material dels seus raïls o segons el seu recorregut.

- Segons els seients: encara que el més normal, i la forma tradicional, són seients on van els passatgers asseguts com si fos una cadira convencional, també trobem algunes variacions a aquest sistema.

Podem trobar muntanyes russes on els viatgers van drets, agafats per un arnès i amb els peus penjant; de forma invertida, amb els vagons suspesos dels raïls, i els peus penjant dels seients; "volant", quan els viatgers van estirats de cara a terra; suspesa, on els passatgers van asseguts de forma normal, però en aquest cas és el vagó el que penja dels raïls; o backwards, on els passatgers miren en la direcció contrària al moviment del tren.



Imatge 3. Muntanya russa on els passatgers van "volant". Imatge extreta de <https://www.aliciastella.com/blog/2015/06/19/theme-parks-new-jurassic-park-ride-at-universai-studios-japan-to-be-flying-coaster-maybe-set-in-pterano-don-aviary/>

- Segons l'altura: a pesar que als seus orígens les muntanyes russes només arribaven a uns trenta metres, això no pot ser comparat amb les alçades de les quals parlem ara.

Segons la classificació oficial, trobem quatre gran grups: les més petites, les Megacoaster, de més de 46 metres; les Hypercoaster, de més de 61 metres; les Gigacoaster, de més de 91,5 metres; i finalment les Stratacoaster, de més de 122 metres.



Imatge 4. Muntanya russa de fusta. Imatge extreta de <https://www.pa-community.com/articulos/novedades-parque-warner>

- Segons el material dels raïls: diferenciem entre dos materials, que són els més comuns.

Per una banda, tenim les muntanyes russes de fusta, que segueixen una estètica i estructura més tradicionals, que recorden als orígens. Per l'altra banda tenim l'acer, que és el material més utilitzat en l'actualitat.

- Segons el recorregut: encara que la gran majoria segueixen la forma tradicional, al llarg dels anys s'han donat noves variacions. Alguns exemples són les racing roller coasters, on trobem dos trens banda a banda, amb la finalitat de veure quin dels costats serà més ràpid en fer el mateix recorregut; les muntanyes russes bumerang, amb un recorregut tradicional que es fa i després es desfà marxa enrere; i les dive coasters, quan abans d'una gran caiguda hi ha un moment de pausa perquè els passatgers puguin veure l'altura.

4. HISTÒRIA DE LES MUNTANYES RUSSES

4.1. Els orígens de les muntanyes russes

Remunten els orígens del concepte de muntanya russa als hiverns russos del voltant del segle XVII. En aquella època, per entretenir-se, els russos van inventar jocs que consistien en trineus que, gràcies a la neu, lliscaven per grans tobogans de fusta. D'aquest mateix esdeveniment prové el nom d'aquesta atracció.



Imatge 5. Quadre pintat per Benjamin Paterssen de Catalina la Gran visitant un tobogan de gel a Sant Petersburg al 1788. *Imatge extreta de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50842384#?text=Les%20gustaron%20tanto%20las%20monta%C3%B1as%20de%20hielo%20rusas. llamaron%3A%20%22Les%20Montagnes%20Ruses%22%20o%20%22Las%20monta%C3%B1as%20rusas%22>*

Aquesta nova forma de diversió va ser un absolut triomf, i va arribar fins a l'emperadriu Catalina II la Gran, a la que li va agradar tant la invenció que va manar la construcció de diversos d'aquests tobogans al seu jardí. Més tard, per poder gaudir-los tot l'any, va fer implantar rodes als trineus, perquè rellisquessin sense necessitat de neu.

4.2. L'expansió a Europa

Amb l'aprovació de l'emperadriu, les muntanyes russes es van multiplicar a Rússia. Es podia trobar una a cada casa, i era la principal forma de diversió del país. Tot i això, no va ser fins al segle XIX quan van expandir-se per Europa.

Les muntanyes russes van arribar al continent europeu a mans dels francesos, que visitaven el país durant les guerres napoleòniques, i que, fascinats per les grans construccions, parlaven d'elles a casa. A conseqüència d'això, a principis d'aquell segle es va construir la primera

montanya russa, a París, França, que seria un preludi de les muntanyes russes modernes tal com les coneixem ara. Estava situada al Parc d'atraccions de Belleville, originalment amb el nom de *Les Montagnes Russes à Belleville*. Consistia en una estructura de fusta, amb carros que lliscaven per uns rails que formaven un circuit amb desnivells i corbes.



Imatge 6. Pintura de Les montagnes russes de Belleville. Imatge extreta de <https://plateauhassard.blogspot.com/2020/04/les-montagnes-russes-de-belleville.html>

Les muntanyes russes van tenir molt d'èxit entre la població, i es van expandir per tot el continent, arribant fins i tot als Estats Units, lloc on se situa la invenció de la muntanya russa i la seva construcció tal com la coneixem ara.

4.3. La primera muntanya russa

La construcció de la primera muntanya russa moderna se situa als Estats Units, específicament a Coney Island, Nova York.

Va ser dissenyada el 1881 per un inventor anomenat LaMarcus Adna Thompson i construïda al 1884 amb el nom de *Switchback Railway*. Es creu que va ser inspirada pel *Mauch Chunk Switchback Railway*, un tren utilitzat per a la mineria que va començar a portar passatgers com a forma de diversió.

4.4. L'evolució des del segle XX fins a l'actualitat

A partir d'aquest inici es van començar a construir diverses muntanyes russes als parcs d'entreteniment de tot el món.

Durant el segle XX van sorgir desenes d'avenços tecnològics que van revolucionar el món de les muntanyes russes, com sistemes de frenada més avançats, inversions o loopings.

No obstant això, el canvi més transformador va arribar en la dècada de 1950 amb la introducció de l'acer. L'inici d'aquesta era va estar marcat per *Matterhorn Bobsleds* a Disneyland, Califòrnia, inaugurada en 1959.



Imatge 7. Muntanya russa Matterhorn Bobsleds, a Disneyland, Califòrnia, feta d'acer. Imatge extreta de <https://www.disneybymark.com/2021/07/photos-matterhorn-bobsleds-has-reopened-in-disneyland/>

En l'actualitat, comptem amb milers de muntanyes russes, i s'han convertit en la principal atracció dels parcs de tot el món.

Podem destacar, per exemple, algunes de les muntanyes russes que avui dia atresoren alguns dels records del sector:

- La muntanya russa més ràpida del món és *Formula Rossa*, situada al parc d'atraccions Ferrari World, als Emirats Àrabs Units. Està inspirada en la Fórmula 1, i decorada de color vermell pels colors de l'equip Ferrari. La seva màxima velocitat és de 240 km/h, i per aconseguir-ho utilitza un sistema de llançament hidràulic semblant al dels portaavions militars.
- *Kingda Ka*, al parc d'atraccions Six Flags Great Adventure a Nova Jersey, Estats Units, és considerada actualment la muntanya russa més alta del món, amb uns 139 metres d'altura màxima. A més, és la que més caiguda té, de 127 metres, i la segona més ràpida, arribant fins a uns 206 km/h.
- Amb 2.479 metres, *Steel Dragon 2000*, al Japó, és la muntanya russa més llarga de l'actualitat. A més, és considerada una de les millors muntanyes russes, no només per la seva llargària i seva velocitat, sinó que també té una gran tecnologia que la protegeix dels terratrèmols, molt probables a la zona.



Imatge 8. Muntanya russa *Formula Rossa*, la més ràpida del món. Imatge extreta de <https://filipdemuinck-kristelpardon.blogspot.com/2011/12/formula-rossa-fastest-roller-coaster-in.html>



Imatge 9. Muntanya russa *Kingda Ka*, la més alta del món. Imatge extreta de <https://www.tripsavvy.com/review-of-kingda-ka-3225674>



Imatge 10. Muntanya russa *Steel Dragon 2000*, la més llarga del món. Imatge extreta de https://www.reddit.com/r/rollercoasters/comments/kbkm5r/steel_dragon_2000_nagashima_spa_land_japanuary/?rdt=44262

4.5. Les muntanyes russes a Espanya

Segons la Roller Coaster Data Base, a Espanya existeixen actualment 50 muntanyes russes operatives, el que, comparat amb altres països de la Unió Europea, com França, que compta amb 217, són poques.

La muntanya russa més antiga del país és la *Muntanya Suïssa* del Monte Igueldo, a Sant Sebastià. Va ser inaugurada el 1928, i actualment és una de les muntanyes russes més antigues encara en funcionament del món. Fa un recorregut per tot el parc, i el seu tram final gaudeix d'unes vistes al mar cantàbric impressionants.



imatge 11. Muntanya Suïssa, la més antiga d'Espanya, amb vistes al Mar Atlàntic. Imatge extreta de <https://www.pa-community.com/parques/parques-atracciones-monte-igueldo/atracciones/montana-suiza>

Si parlem en l'actualitat, Espanya alberga muntanyes russes molt importants del panorama europeu.

- *Batman Gotham City Escape* és considerada avui dia la muntanya russa més intensa del país. Inaugurada el 2023, ha aconseguit col·locar-se entre les més importants d'Espanya, inclús sent comparada amb el *Shambhala*, que dominava l'escenari espanyol des de la seva inauguració.



Imatge 12. Muntanya russa *Batman Gotham City Escape*, una de les més importants del país. Imatge extreta de https://www.elmundofinanciero.com/noticia/109752/cultura:-el-jardin-de-atenea/batman-gotham-city-escape-la-nueva-montana-rusa-de-parque-warner-madrid.html#google_vignette

Aquesta muntanya russa, que es troba al Parc Warner de Madrid, arriba a una velocitat de 104 km/h i una altura màxima de 45 metres, passant per quatre inversions al llarg dels seus 1010 metres i 111 segons de recorregut.

A més, el parc ofereix una experiència immersiva, que et permet viure des de dins una gran història entre el

superheroi Batman i el seu adversari el Jòquer, essent la muntanya russa l'únic medi per a poder escapar.

- Inaugurada l'any 2012, el *Shambhala* va batre tres rècords en aquell moment, convertint-se en la segona muntanya russa més alta d'Europa, amb 76 metres verticals, amb la caiguda més alta, de 78 metres, i sent la hypercoaster més ràpida, arribant fins a uns 134 km/h.

Es troba a un dels parcs d'atraccions més importants d'Espanya, PortAventura Park, situat a Salou, Catalunya, dins de la zona temàtica de la Xina. Rep el seu nom d'una ciutat mística que, segons la filosofia budista, es troba al mig de les serralades de l'Himàlaia.

- Dins del parc temàtic de Ferrari Land, part del gran complex d'oci PortAventura World, trobem *Red Force*, que intenta recrear la sensació de conduir un automòbil de Fórmula 1, arribant a uns 180 km/h en tan sols 5 segons.



Imatge 13. Pujada de la muntanya russa *Red Force* de 112 metres. També es poden observar els escuts de Ferrari que decoren l'atracció. *Imatge extreta de* <https://www.portaventuraworld.com/en/ferrari-land/rides/red-force>



Imatge 14. Vagons de la muntanya russa *Red Force*, inspirats en un cotxe de Fórmula 1 de l'escuderia Ferrari. *Imatge extreta de* <https://www.portaventuraworld.com/en/ferrari-land/rides/red-force>

Inaugurada el 2017, és la quarta muntanya russa més ràpida i alta del món, amb una pujada de fins a 112 metres.

- La muntanya russa *Taràntula* és l'única dins de la modalitat spinning al nostre país. Situada al Parc d'Atraccions de Madrid, els vagons giren sobre si mateixos amb total llibertat al llarg dels seus 630 metres de llarg, plens de caigudes molt empinades de fins a 25 metres d'altura, corbes i túnels. Encara que no compta amb molta velocitat o altura, és considerada una de les més divertides d'Espanya, pel seu original funcionament.



Imatge 15. Muntanya russa *Taràntula*, on es poden observar els vagons giratoris. *Imatge extreta de* <https://www.hobbyconsolas.com/listas/15-mejores-montanas-rusas-espana-1214182>

5. PORTAVENTURA PARK

PortAventura Park és el parc temàtic més visitat d'Espanya, i un dels més importants del panorama europeu.

Està situat entre els municipis de Salou i Vila-seca, a la província de Tarragona, Catalunya. A poc més d'una hora en cotxe de la ciutat comtal espanyola, Barcelona, i prop de la Costa Daurada, és una opció vacacional escollida per milions de persones cada any. Amb més de cinc milions de visitants l'any 2023, alberga gran nombre de les atraccions més importants del nostre país.



Imatge 16. Logo de PortAventura World. Imatge extreta de <https://www.pinterest.es/pin/813884963887691286/>

Aquest parc temàtic està situat dins del complex d'oci PortAventura World, el qual també compta amb un altre parc temàtic, Ferrari Land; un parc aquàtic, PortAventura Caribe Aquatic Park; un camp de golf, Mediterrània Beach & Golf; i sis hotels temàtics, cinc de quatre estrelles i un de cinc.



Imatge 17. Camps de golf Mediterrània Beach&Golf, imatge extreta de <https://cpg.golf/news/umine-mediterranea-beach-golf-club-leading-light-of-the-costa-dauradas-golden-coast/>



Imatge 18. Hotel Mansió de Lucy de cinc estrelles a PortAventura World. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/hoteles/mansion-de-lucy>

Encara que totes aquestes instal·lacions s'han anat inaugurant amb els anys (per exemple, PortAventura Caribe Aquatic Park s'inaugura el 2002 i Ferrari Land, el 2017), l'inici de PortAventura World el podem situar a PortAventura Park, inaugurat l'1 de maig de 1995.

5.1. Creació i inici de PortAventura Park

Com a resultat d'un projecte començat a la dècada dels vuitanta amb la idea d'atraure més turisme a la Costa Daurada, PortAventura Park va ser inaugurat l'1 de maig de 1995, convertint-se en el primer parc temàtic de tot el país. Impulsat pels grups Tussauds, Anheuser-Busch, Fecsa i la Caixa, ocupa una de les localitzacions que s'estaven considerant pel que avui dia coneixem com a Disneyland Paris, situat finalment, com el seu nom indica, a París.



Imatge 19. Mapa de PortAventura Park al 1995, l'any de la seva inauguració. Imatge extreta de <https://www.pa-community.com/articulos/mapas-guias-folleto-y-demas-documentos-de-port-aventura-entre-sus-primeros-2-3-anos>

En els seus dissenys inicials el parc s'anomenava Tibi Gardens i era pensat com a únicament un parc d'atraccions que comptava amb cinc àrees temàtiques: Mediterrània (anomenada al principi Catalunya), Polinèsia, la Xina, Mèxic i Far West.

Encara que PortAventura Park tenia algunes de les atraccions més innovadores del moment, l'atractiu més gran era el *Dragon Khan*, inaugurada el mateix dia que el mateix parc d'atraccions. Avui dia continua considerant-se una de les muntanyes russes més importants del parc, que en aquell moment va ostentar dos rècords mundials que ara ja no conserva: el nombre més gran d'inversions, amb un total de vuit, i el looping més alt, amb 36 metres d'altitud.



Imatge 20. Publicitat de PortAventura als seus primers anys, on es compara amb Disneyland Paris i s'adjunta una fotografia del Dragon Khan. Imatge extreta de <https://www.pa-community.com/articulos/mapas-guias-folleto-y-demas-documentos-de-port-aventura-entre-sus-primeros-2-3-anos>



Imatge 21. Muntanya russa Dragon Khan, on es pot observar el looping de 36 metres. Imatge extreta de <https://coasterforce.com/multi-looping/>

PortAventura Park no ha deixat de créixer des de la seva inauguració, introduint, entre altres, restaurants, espectacles i noves atraccions.

A més, al llarg dels anys, amb els diferents canvis de propietaris i la compravenda d'accions del parc, el nom ha anat variant. El 1999, amb l'entrada d'Universal com a gestor del parc, el nom es va canviar del *Port Aventura* original a *Universal's Port Aventura*. Un any més tard, el 2000, es va convertir en *Universal Studios Port Aventura*. El 2002, es va tornar als orígens amb *Port Aventura*. En últim lloc, després de la venda d'accions per part d'Universal causada per una crisi en l'empresa, es va instaurar el 2005 el nom de *PortAventura Park*, que encara es manté avui dia.

Finalment, per completar el parc temàtic, el 2011 es va inaugurar l'última zona temàtica que conté el parc, SésamoAventura, que es tracta d'una part dedicada als més petits, amb atraccions infantils i restaurants temàtics, inspirada en els programes de Barri Sèsam.

5.2. PortAventura Park en l'actualitat

Actualment, PortAventura alberga 45 atraccions al llarg de les seves 52 hectàrees, en les quals trobem 8 muntanyes russes i 5 muntanyes aquàtiques, que obren les portes aproximadament a la primavera, quan comencen les altes temperatures.



imatge 22. Mapa actual (2016) de PortAventura World, on podem observar les diferent zones temàtiques de PortAventura Park, juntament amb algunes de les atraccions més importants i altres serveis de complexe d'oci, com els hotels o el Caribe Aquatic Park. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/en>

Diàriament, s'organitzen múltiples espectacles al llarg de les sis zones temàtiques del parc. Per exemple, tenim la Festa Mexicana, situada a Mèxic, un espectacle on podem descobrir coses de l'antiga civilització dels períodes prehistòrics i colonials amb elements antics i actuals, mentre gaudim d'un menjar al restaurant La Cantina.

A més, al llarg de l'any s'organitzen diverses festivitats, com Halloween, Nadal o Carnaval, on tot el parc es transforma concorde amb l'època.

5.2.1. Les zones temàtiques de PortAventura Park

En l'actualitat PortAventura Park està format per sis zones temàtiques: Mediterrània, Polínesia, la Xina, Mèxic, Far West i SésamoAventura. Cada una d'aquestes zones està inspirada en el lloc del qual rep el nom, albergant restaurants, espectacles i atraccions concordes amb aquesta ambientació.

5.2.1.1. Mediterrània



Imatge 23. Mapa de la zona de la Mediterrània. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/mediterrania>

La Mediterrània és la zona que dona la benvinguda a aquest parc temàtic. Està inspirada en un petit poble mediterrani de pescadors, comptant fins i tot amb el seu propi llac, i és una de les parts més característiques de PortAventura Park, ja que, al cap i a la fi, el parc es troba prop del mar Mediterrani.

Troben tres atraccions en aquesta zona: una muntanya russa, el *Furius Baco*; *Port de la Drassana*, que són unes barques que et transporten de la Mediterrània fins a la Xina; i *l'Estació del Nord*, on els visitants poden agafar el Ferrocarril Tour, un tren de vapor que recorre tot el parc.

A més, es realitza un dels espectacles més importants, la PortAventura Parade, que és una desfilada de carrosses amb animació inspirada en les diferents parts temàtiques, i hi ha diversos restaurants que cuinen plats de la mateixa mediterrània, com el Racó del Mar.



Imatge 24. PortAventura Parade. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/espectaculos/porta-ventura-parade>

5.2.1.2. Polinesia

Ambientada en les illes tribals de la Polinesia, aquesta zona està inspirada en la natura, amb una invitació per a descobrir els misteris que amaguen el volcà i la jungla, vivint una aventura emocionant al costat de l'oceà pacífic.



imatge 25. Mapa de la zona de la Polinesia. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/polynesia>

En aquesta zona trobem una de les atraccions més famoses del parc, el *Tutuki Splash*. Es tracta d'una atracció d'aigua, on els passatgers van muntants en una barca que, mitjançant rails submergits, recorren la selva polinèsia. Compta amb dues baixades, la més forta d'elles és l'última, que simula la baixada d'un volcà.



imatge 26. Atracció aquàtica Tutuki Splash. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/atracciones/tutuki-splash>



imatge 27. Atracció aquàtica Tutuki Splash. Imatge extreta de https://www.freizeitpark-welt.de/freizeitparks/port_ventura/port_ventura_start.php?attractionid=w252

Addicionalment, trobem diferents espectacles, com l'espectacle Aloha Tahití, que ensenya un antic ritual d'una de les tribus que habiten aquesta zona, o restaurants com el Bora Bora.

5.2.1.3. Xina

Amb edificis reals i altres escultures pròpies de la Xina Imperial, aquesta zona acull les muntanyes russes més importants de tot PortAventura Park.

A la zona de la Xina trobem, a més de restaurants exquisits que demostren la gastronomia tradicional, com Sichuan o Canton, atraccions de tota mena, des d'una zona infantil, amb tobogans o



imatge 28. Mapa de la zona de la Xina. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/china>

xarxes per escalar, fins al *Shambhala* i el *Dragon Khan*, sense dubte les atraccions més reconegues del parc, i dues de les muntanyes russes més importants del panorama espanyol.

Així mateix, hi ha altres atraccions basades en aquesta cultura, com la *Cobra Imperial*, formada per vagons que giren, simulant el cos d'una serp, o l'*Angkor*, on els passatgers pugen a unes barques on es pot disparar aigua a les altres embarcacions.

5.2.1.4. Mèxic



imatge 29. Mapa de la zona de Mèxic. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/mexico>

La zona de Mèxic està ambientada amb temples i escultures de les civilitzacions mexicanes precolombines, amb una ambientació que aconseguirà traspasar fronteres i fer que els visitants se sentin en el vertader Mèxic.

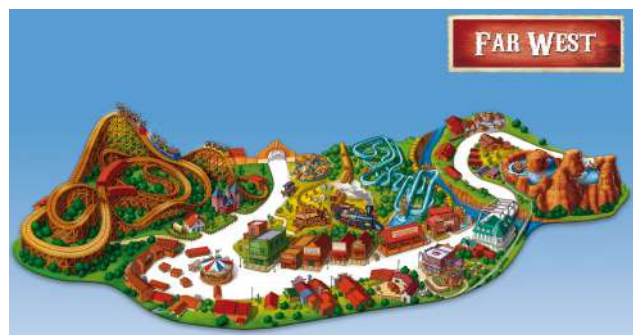
Trobem el Gran Teatre Maia, una zona d'espectacles, i diverses atraccions, com l'*Hurakan Condor*, una torre de caiguda lliure d'uns 100 metres d'altura, o el laberint *El secret dels Maies*, on les persones han de superar obstacles i desafiaments per poder sortir.

A més, Mèxic és una gran zona d'espectacles i restauració, amb dos restaurants que ofereixen menjar totalment mexicà, Hacienda El Charro i La Cantina, i múltiples espectacles, com el musical Les Aventures de Tadeo Jones.

5.2.1.5. Far West

Com el nom indica, es tracta d'una zona inspirada en l'Antic Oest i la cultura de Nord Amèrica, transportant als visitants a un poble perdut d'aquella època.

El Far West conté dues atraccions d'aigua més, com són *Silver River Flume* i *Grand Canyon Rapids*. A la primera, els passatgers pugen i baixen un recorregut



imatge 30. Mapa de la zona del Far West. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/far-west>

pujats en uns troncs amb capacitat per a tres o quatre persones, col·locades una a una formant una filera. En canvi, la segona es tracta d'una recreació dels ràpids de Califòrnia, on els

passatgers, en embarcacions amb capacitat de fins a nou persones, baixen girant per un canal d'aigua a gran velocitat.



Imatge 31. Atracció d'aigua Silver River Flume. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/atracciones/silver-river-flume>



Imatge 32. Atracció d'aigua Grand Canyon Rapids. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/atracciones/grand-canyon-rapids>

Adicionalment, hi ha restaurants inspirats en els Estats Units, com The Old Steak House, i espectacles que recreen l'època com West Gold Frenzy.

5.2.1.6. SésamoAventura



Imatge 33. Mapa de la zona SésamoAventura. Imatge extreta de <https://www.portaventuraworld.com/portaventura/sesamo-aventura>

SésamoAventura ha estat la darrera incorporació al parc, i és l'última de les zones temàtiques que el formen. Basada en uns programes infantils espanyols de finals del segle XX, que creaven el conegut com a Barri Sèsam, en aquesta part es poden trobar múltiples atraccions dedicades als més petits, com *Street Mission*, on tota la família haurà d'ajudar al personatge Coco en una missió secreta.

Tot i això, aquesta zona es caracteritza pel restaurant La cuina de l'Epi, on se serveixen tota mena de menjars, i pel famós espectacle musical Let's dance, on personatges de Barri Sèsam, com l'Epi, el Blas, l'Elmo o el Monstre de les Galetes, et transportaran dins del mateix programa.

5.3. Les muntanyes russes de PortAventura Park

PortAventura Park compta amb un total de 8 muntanyes russes, que s'han anat instal·lant al parc al llarg dels anys. Les més conegudes, de les quals ja hem parlat amb anterioritat, són el *Dragon Khan*, inaugurada al mateix temps que el parc, i el *Shambhala*, inaugurada el 2012, i considerada, fins fa molt poc, la millor muntanya russa del país.

Així i tot, deixant de banda aquestes, podem veure gran varietat de muntanyes russes en les altres 6 restants, que es troben repartides per tot el parc.

5.3.1. *El diable - Tren de la mina*

Inaugurada el 2 de maig de 1995, amb l'obertura del parc, *El diable - Tren de la mina* (comunament coneguda com a *Tren de la mina*) és la muntanya russa amb més antiguitat juntament amb el *Dragon Khan*.

Aquesta muntanya russa d'estil tren de mineria es troba al Mèxic, i simula una mina abandonada que era utilitzada per extreure plata, abans de la misteriosa desaparició de tots els treballadors. Avui dia, la llegenda diu que el diable condueix l'atracció, i que serà ell el que et portarà a gran velocitat pel camí.



imatge 34. Muntanya russa El diable - Tren de la mina. Imatge extreta de <https://www.themeparkjames.co.uk/theme-parks/europe/spain/portaventura/rides/el-diablo-tren-de-la-mina/>

Amb un recorregut total de quasi un quilòmetre, els vagons recorren les vies en 3 minuts i 20 segons, arribant a una velocitat màxima de 60 quilòmetres per hora. A més, compta amb tres pujades en total, mitjançant un sistema de cadena, sent l'última caiguda la més forta i alta de totes, de 16,5 metres. Juntament, es fan girs dràstics de direcció, que portaran als passatgers al límit.

Corresponent a l'estructura, la podem classificar com a híbrida, pel fet que està feta amb suports de fusta i vies d'acer, formant un *wood hybrid system*. Aquesta pràctica correspon a utilitzar fusta, conjuntament amb altres materials, com acer o vidre, per a millorar les propietats mecàniques d'una estructura.

5.3.2. *Stampida i Tomahawk*

En els anys de colonització, per decidir qui es quedava amb les terres, es corrien carreres de carreteres, on qui arribava primer s'apropiava de la zona. La *Stampida*, una racing coaster situada al Far West, vol simular aquests enfrontaments, i simula una cursa entre els dos trens, un blau (pertanyent a la família fictícia Connery) i un vermell (de la família Cranberry), per veure quin dels dos clans es queda amb els territoris.



Imatge 35. Imatge on podem observar l'estructura de fusta de la Stampida, i la petita diferència de distància entre els dos vagons. Imatge extreta de <https://www.portaventura-world.com/atracciones/stampida>

Ambdós trens comencen el recorregut en paral·lel, pujant amb un sistema de cadena per l'estructura, totalment de fusta. Una vegada a dalt, es realitza la primera caiguda, de 25 metres. Els dos grups es mouen a la vegada la majoria dels 900 metres de camí, inclús arribant a creuar-se de cara en un moment, just abans d'arribar a l'estació i descobrir quina família és la guanyadora.

Juntament amb la *Stampida*, el 17 de març de 1997 es va inaugurar el *Tomahawk*, amb un recorregut que s'enllaça amb l'altra muntanya russa, fins i tot arribant a ser tres carrils en paral·lel en algun moment (els dos de la *Stampida* i un del *Tomahawk*), però més suau per un públic més petit. Fa un total de 440 metres, arribant a una altura màxima de 14 metres, i comptant amb una estructura totalment de fusta, igual que la seva companya.

5.3.3. *Tami tami*

El *Tami tami*, inaugurada només tres anys després de l'obertura del parc, en 1998, és la muntanya russa infantil per excel·lència de PortAventura Park.



Imatge 36. Rails que marquen el recorregut del Tami tami. Imatge extreta de http://livalve.canalblog.com/albums/coasters/_ve_ridden/photos/87049897-tami_tami_portaventura_espagne.html

Inicialment, estava situada a la zona de la Polinèsia, encara conservant elements decoratius d'aquella cultura a la seva entrada. No obstant això, el 2011, després de la creació de SésamoAventura, es va decidir implementar aquesta muntanya russa a la nova incorporació, juntament amb les altres atraccions dirigides a un públic més jove. Avui dia, a través del recorregut podem trobar

decoracions que representen personatges de Barri Sèsam, després de la seva remodelació el 2010.

Aquesta muntanya russa infantil compta amb un recorregut de 207 metres, que els trens fan en un temps aproximat d'un minut, arribant a una velocitat de 35 quilòmetres per hora i una altura màxima de 8,5 metres.

5.3.4. *Furius Baco*

Al *Furius Baco* se simula la història d'un geni que crea una màquina per recol·lectar el seu raïm, però, perquè funcioni, necessita un contrapès a la càrrega, i, en aquest cas, pensa a utilitzar persones. A l'hora del llançament, però, el seu mico toca la palanca equivocada, el que provoca el descontrol de la màquina, i que aquestes persones comencin el recorregut d'una muntanya russa que passa de 0 a 135 quilòmetres per hora en tan sols 3,5 segons.

Situada a la Mediterrània, i sent una de les primeres atraccions que et trobes en entrar al parc, va ser inaugurada el 7 de juny de 2007, convertint-se en aquell moment en la muntanya russa més ràpida d'Europa, record que ara manté la seva veïna *Red Force*, a Ferrari Land.

Es tracta d'una muntanya russa d'acer d'acceleració, pel seu material de construcció i la seva capacitat d'assolir grans velocitats en tan poc temps. A més, el seu recorregut, que passa per diferents túnels i quasi frega amb el gran llac de la Mediterrània, amb una longitud d'uns 850 metres, es fa en només mig minut. No obstant això, l'experiència es veu allargada per un preespectacle d'uns 40 segons.

En aquest cas els vagons s'escapen del convencional. Els seients es troben enganxats al costat del carril central, simulant que el passatger es troba en un barril, disposició anomenada *wing rider*. A més, els peus dels visitants no toquen el terra, el que s'anomena una muntanya russa *floorless*.

El secret per arribar a tan altes velocitats en només un instant es troba en el sistema de propulsió hidràulica del *Furius Baco*, totalment original i innovador. Aquest *hydraulic launch system* funciona quan, el *winch*, una mena de tambor metàl·lic que recull tots els cables, rep la potència i l'acceleració necessàries



Imatge 37. Vagons floorless i en disposició wing rider del Furius Baco i la proximitat del seu recorregut amb el llac de la Mediterrània. Imatge extreta de <https://destinoinfinito.com/furius-baco-port-aventura-park/>

a través d'un sistema de propulsió creat per 24 motors hidràulics i 2 acumuladors d'alta pressió. A continuació, amb el moviment que provoca, els cables connectats al *catch car*, que és una peça mòbil que uneix el tren a la zona de llançament, posen en moviment tot el conjunt, provocant aquella impressionant acceleració fins als 135 quilòmetres per hora, que causen fins a una força 4,7 G sobre les persones.

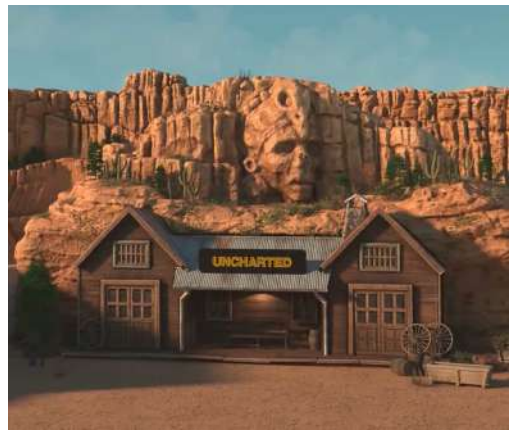
La seva curiosa història i el seu avantguardista sistema fan que el *Furius Baco* sigui una de les muntanyes russes més cèlebre, no només de PortAventura Park, sinó que de tot el panorama nacional.

5.3.5. *Uncharted: L'enigma de Penitence.*

Inspirada en el món de la pel·lícula *Uncharted*, de Sony Pictures Entertainment, *Uncharted: L'enigma de Penitence* ha estat l'última incorporació a PortAventura Park. Està situada al Far West, i va ser inaugurada el juny de 2023.

En aquesta atracció, els passatgers es troben en una cerca del tresor, on hauran de superar diversos obstacles per poder arribar a aconseguir-ho.

Es tracta d'una muntanya russa dark ride, cosa que implica la barreja de dues disciplines: per una banda, la muntanya russa convencional, però que a la vegada aquesta es troba totalment situada a dins d'un gran edifici que arriba als 4800 metres quadrats. A més, al llarg de tot el recorregut, encara que es manté un cert grau d'obscuritat, hi ha pantalles i efectes especials que converteixen l'experiència en multidimensional.



Imatge 38. Entrada i edifici que conté la muntanya russa *Uncharted: L'enigma de Penitence*. Imatge extreta de <https://www.parque tematico.net/portaventura/uncharted>



Imatge 39. Recorregut complet de la muntanya russa *Uncharted: L'enigma de Penitence*, on es poden observar les diferents inversions d'esquena i la caiguda lateral. Imatge extreta de <https://www.parque tematico.net/portaventura/uncharted>

Al llarg dels quasi 700 metres de longitud, s'arriba a una altura total de 12 metres, amb inclinacions de fins a 70 graus, i hi ha 5 moments d'acceleració. Addicionalment, compta amb girs dràstics, marxés enrere i una caiguda en lateral, convertint-se en la primera muntanya russa en l'àmbit europeu en implementar aquesta tecnologia.

6. FUNCIONAMENT I CONSTRUCCIÓ D'UNA MUNTANYA RUSSA

A l'hora de construir una muntanya russa, s'han de tenir en compte molts aspectes, a primera vista invisibles pels visitants d'un parc d'atraccions. Entre aquests aspectes podem trobar àmbits molt variats, des de l'entreteniment, per escollir el tema i la història, a l'ambientació i decoració de l'atracció.

Tot i això, dues de les branques més importants són la tecnologia i la física, encarregades principalment del correcte funcionament de l'atracció i de la seva construcció.

6.1. Aspectes tècnics i físics d'una muntanya russa

6.1.1. La física de les muntanyes russes

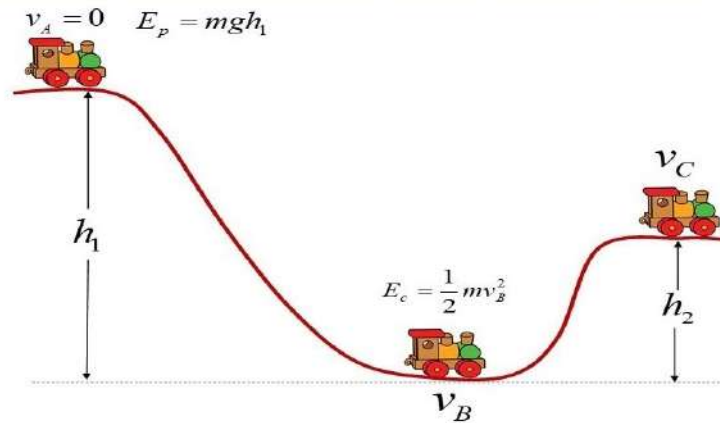
El funcionament de les muntanyes russes es basa principalment en una branca fonamental de la física, anomenada dinàmica. Aquest àmbit estudia com les forces produeixen moviment als cossos, i es basa en les tres lleis de la dinàmica d'Isaac Newton.

La més important d'aquestes lleis és la segona, que diu que quan un cos se sotmet a una força, aquest experimenta una acceleració, el que causa el seu moviment. Aquesta llei, aplicada a les muntanyes russes, es podria formular com: els trens de les muntanyes russes es mouen perquè la força de la gravetat actua sobre elles, atraient-los cap a terra.

En el moviment de les muntanyes russes, a més, intervenen principalment dos tipus d'energies: la potencial gravitatòria i la cinètica. L'energia potencial gravitatòria és la que obté un cos segons la seva altura en un camp gravitatori, és a dir, a més altura, més energia potencial. En canvi, l'energia cinètica s'obté a través del seu moviment; a més velocitat, més energia cinètica. A més, la suma d'aquestes dues s'anomena energia mecànica.

A una muntanya russa es juga amb la intercalació d'aquestes dues energies, gràcies a la llei de la conservació de l'energia, que ens diu que l'energia no es crea ni es destrueix, sinó que es transforma. Per tant, el que en les pujades és energia potencial, que es va acumulant a mesura que es va ascendent, després es convertirà en energia cinètica, arribant a grans velocitats.

En aquesta fotografia podem veure l'exemple de la conservació de l'energia al llarg del recorregut.



Imatge 40. Exemple per mostrar la conservació de l'energia al llarg de les diferents etapes del recorregut d'una muntanya russa. *Imatge extreta de <https://mecanicaeyesdenewtontrabajoenergia.blogspot.com/p/energia.html>*

En la primera posició, anomenada A, el tren es troba en la seva altura màxima, i no té velocitat. Per tant, tota la seva energia mecànica és potencial gravitatòria, que es calcula multiplicant la massa del tren per la gravetat (en el cas de la Terra, de $9,806 \text{ m/s}^2$) i per l'altura en aquell punt.

A mesura que va caient, la velocitat del vagó va augmentant, per culpa de l'acceleració, en aquest cas la gravetat, i l'energia potencial es va convertint a cinètica. Una vegada s'arriba a la posició B, la velocitat és màxima, i tota l'energia s'ha convertit a cinètica, calculada fent un mig de la seva massa per la velocitat al quadrat. L'altura a B és igual a 0, i per tant l'energia potencial en aquest punt serà nul·la. A continuació, el tren aprofita aquesta velocitat adquirida i puja la següent part del recorregut.

Finalment, al punt C trobem tant energia cinètica com potencial, ja que ni la velocitat ni l'altura són iguals a 0. En aquest cas, la suma de les dues hauria de ser igual a l'energia mecànica, que s'ha de mantenir a través de tot el recorregut.

No obstant això, el procés d'energia potencial a energia cinètica (i al revés) no és totalment efectiu, i a mesura que els vagons llisquen en les vies, es produeixen pèrdues, sigui en forma d'energia calorífica o sonora, és a dir, de calor o soroll. Addicionalment, els trens freguen amb l'aire, el que fa que es perdi velocitat. Per tant, alhora construir una muntanya russa s'han de preveure aquestes pèrdues i assegurar-se que l'energia que es perd no acabarà sent major que l'energia mecànica de què disposem.

En construir una muntanya russa, s'ha de tenir en compte la transformació de l'energia, i, en conseqüència, podem diferenciar dos tipus de recorregut.

Per una banda, tenim les que guanyen molta altura al principi per tal de més tard tenir l'energia cinètica suficient per fer tot el recorregut. Per això, la majoria de les muntanyes russes convencionals comencen amb una pujada. Un exemple molt clar és el *Shambhala*, que comença amb la pujada de 76 metres, creant energia potencial gravitatòria que posteriorment es transforma en les grans velocitats a les quals arriba.

Per l'altra banda, tenim el contrari: crear molta energia cinètica per després poder arribar a grans altures. Per tant, el recorregut d'aquestes muntanyes russes no començarà amb grans altures, sinó amb una gran acceleració. Tenim l'exemple del *Red Force*, que arriba a una acceleració de 180 quilòmetres per hora en només 5 segons, i, posteriorment, puja a una altura màxima de 112 metres.

6.1.2. Parts d'una muntanya russa

Amb el pas dels anys i l'evolució de la tecnologia, s'han anat afegint innovacions al recorregut de les muntanyes russes, que caracteritzen cada una d'elles, com loopings o in-line twists. No obstant això, també trobem alguns elements fonamentals i comuns en totes, que serveixen per constituir la muntanya russa més bàsica de totes.

6.1.2.1. Vagons, tren i estació

Un vagó és el carro o el conjunt de seients que desplaça als passatgers al llarg de la muntanya russa. Pot tenir moltes formes diferents, com s'ha vist amb anterioritat a la classificació de les muntanyes russes, des d'anar a peu dret, estar assegut convencionalment, o anar volant, sense terra sota els peus. S'anomena tren a la suma d'aquests vagons, i, en cada viatge d'una muntanya russa sol llançar-se un tren.

Per veure com s'adapten els vagons a la història i el recorregut de la muntanya russa, podem comparar, per exemple, els trens de *El diable - Tren de la mina*, a PortAventura Park, i *Batman Gotham City Escape*, al Parc Warner de Madrid, dues muntanyes russes molt diferents.

Per una banda, els vagons de *El diable - Tren de la mina* són bastant convencionals. Cada tren compta amb sis vagons i una capacitat total de 34 persones, i està decorat com si pertanyés a una mina de veritat. El primer vagó només té dues fileres, amb espai per a dues persones a

cada una, en total quatre passatgers. En canvi, als altres cinc restants disposen de tres fileres, acollint a sis persones en total per vagó.

Per l'altra banda, *Batman Gotham City Escape* té trens amb capacitat de fins a 12 persones. Està format per tres vagons amb dues fileres de dos seients individuals. A més, es troben decorats com si es tractés del propi batmòvil del superheroï protagonistista.



Imatge 41. Tren de El diable - Tren de la mina. Imatge extreta de <https://spaincoaster.com/diablo-tren-mina-portaventura/>



Imatge 42. Tren de Batman Gotham City Escape. Imatge extreta de <https://www.estiber.com/blog/batman-gotham-city-escape-atraccion-de-warner/>

Podem observar com, per a la segona muntanya russa, molt més intensa i ràpida que la primera, s'utilitzen seients que permeten la millor subjecció dels passatgers, mentre que a l'altra es deixa més llibertat de moviment, ja que no és tan extrema.

Excepcionalment, hi ha algunes muntanyes russes on els trens estan formats per un sol vagó, com les de tipus wild mouse, que tenen un recorregut format principalment per rectes enllaçades per girs molt dràstics i ràpids, o algunes spinning, on el tren gira sobre el seu propi eix.

Finalment, l'estació marca el principi i el final de la muntanya russa. És la zona on pugen i baixen els passatgers i d'on surten els trens per començar el recorregut, i sol estar ambientada en funció de la història de l'atracció.

6.1.2.2. Via, rails i elements estructurals

La via de la muntanya russa, és a dir, el seu recorregut, està format normalment per dues barres a les quals s'enganxen els trens, anomenades rails. Els elements estructurals, com suports o pilars, són els encarregats de suportar els esforços de l'estructura i garantir la seguretat de la muntanya russa. Per això, van normalment des de la via fins a terra.

Els vagons es mantenen subjectes a la via mitjançant sistemes de rodes segurs i que aporten el moviment fluid al tren.

Com hem vist anteriorment, l'estructura pot estar feta de diferents materials, habitualment sent la fusta i l'acer els més escollits, pel seu cost i resistència. Per exemple, la *Stampida* està feta totalment de fusta, mentre que al *Shambhala* s'utilitza acer per suportar les grans forces provocades per l'altura i velocitat.



imatge 43. Rails d'una muntanya russa.
imatge extreta de <https://es.dreamstime.com/stock-roller-coaster-image-image167986774>

6.1.2.3. Sistemes d'elevació o llançament

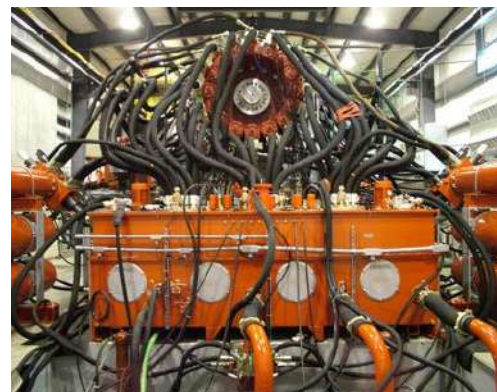
Els sistemes d'elevació són els que posen els trens en moviment i porten els vagons de la muntanya russa al seu punt més alt, que normalment es tracta de la primera pujada. També podem parlar de sistemes de llançament, quan, en posar en moviment els vagons, no es busca una gran altura, sinó una gran velocitat.

En un sistema d'ascens tradicional, el tren és pujat al cim mitjançant una cadena. Una vegada al punt més alt, se solta la cadena, fent que la gravetat converteix l'energia potencial gravitatòria a cinètica per continuar amb el camí, amb el poder de la gravetat. Aquest sistema és utilitzat a la muntanya russa *Dragon Khan*.

Tot i que la cadena és el mecanisme original, al llarg dels anys s'han anat implementant altres avenços tecnològics per poder moure els vagons al llarg de la via sense necessitat d'una gran pujada.

Tenim l'anomenada pista de llançament, on, mitjançant un sistema de compressió d'aire o algun altre sistema els trens són llençats a grans velocitats.

Un exemple és el *Furius Baco*, que utilitza un sistema hidràulic per guanyar la velocitat.



imatge 44. Fotografia de la sala on es troba part del sistema hidràulic de la muntanya russa Kingda Ka, similar al utilitzat al Furius Baco.
imatge extreta de <https://www.tipsofny.com/how-kingda-ka-works-3226405>

Finalment, trobem muntanyes russes en els quals es fan servir camps electromagnètics per a accelerar els vagons, sense necessitat d'una pujada inicial. Podem diferenciar entre dos tipus de motors diferents.

Per una banda, tenim els motors de síncron lineal (LSM), que compten amb imants que generen camps magnètics amb un voltatge determinat, el que provoca una força de propulsió

al tren. En canvi, els motors d'inducció lineal (LIM) utilitzen motors elèctrics que impulsen els vagons mitjançant la interacció de diferents camps magnètics. Aquest últim va ser aplicat per primera vegada per la constructora Intamin AG en la muntanya russa *Maverick*, l'any 2007.

6.1.2.4. Frens

Els sistemes de frenada són essencials pel correcte funcionament de les muntanyes russes. Hi ha moltes alternatives per tal de frenar els vagons, però les més importants i més utilitzades actualment són:

- **Frens d'aleta:** els trens d'aquestes muntanyes russes compten amb unes plaques de metall (anomenades aletes), que es queden retingudes a unes pinces situades en la pista, que es tanquen retenint els vagons. Aquest sistema de frenada és molt usat en l'actualitat i el podem trobar, per exemple, al *Dragon Khan*.
- **Frens magnètics:** igual que el sistema de llançament, els frens magnètics fan servir la força magnètica per funcionar. Se situen uns imants a la pista, i el tren, amb unes plaques metàl·liques, és frenat per l'atracció. També poden ser col·locats al revés, els imants a la pista i el metall al tren. La força necessària per a parar-la és proporcional a la velocitat i, per tant, a vegades és necessari un altre mètode addicional.
- **Frens d'aire comprès:** en aquest cas s'injecta aire comprimit des d'un dipòsit per crear fricció entre les plaques metàl·liques per què es desplaça la muntanya russa. Encara que el disseny és bastant senzill, si els sensors no s'activen al moment just, la muntanya russa pot desplaçar-se una mica més del pensat.



imatge 45. Sistema de frens d'aleta, on es poden observar les plaques per les quals es paren els vagons. Imatge extraïda de <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/close-roller-coaster-friction-brake-parts-774412159>

Per exemple, la muntanya russa *Kingda Ka*, actualment la més alta del món, utilitza una mescla dels dos últims sistemes de frenada units, el magnètic i el d'aire comprès, per tant, d'obtenir més eficàcia.

A més, els frens també tenen un paper fonamental a l'hora de la seguretat, ja que són capaços de frenar totalment els trens en cas d'emergència.

6.1.2.5. Elements d'emoció

Els elements d'emoció són les diferents variacions que pot tenir la via d'una muntanya russa per tal de generar sensacions fortes als passatgers.

Les més tradicionals de totes són les caigudes, sigui des d'altures molt altes o amb angles pronunciats. Podem destacar, per exemple, la caiguda més alta de PortAventura Park, que es troba al *Shambhala*. Compta amb més de 76 metres d'altura i un angle de 77 graus d'inclinació, el que provoca la sensació de perdre el contacte amb el seient.

Les corbes i els girs són també bastant convencionals, però quan es donen de manera continuada i amb angles molt pronunciats poden generar un recorregut molt emocionant. *Goofy's Sky School* és una muntanya russa d'estil wild mouse, on podem observar com les vies fan girs de noranta graus de forma continuada.



Imatge 46. Muntanya russa Goofy's Sky School, on es poden observar clarament els girs tancats que caracteritzen les muntanyes russes wild mouse. Imatge extreta de <https://www.tripsavvy.com/goofys-sky-school-disney-california-adventure-4119958>

Tot i això, corbes molt pronunciades poden arribar a causar mals als passatgers de no estar controlades, per les grans forces laterals que es generen. Per tant, la solució normalment aplicada és la creació d'un peralt, és a dir, d'una corba inclinada cap a dins. Això fa que esdevingui una força centrípeta (cap al centre) que, juntament amb la força de la gravetat, manté als passatgers als seus llocs i garanteix la seva seguretat.

Finalment, tenim les inversions, cada vegada més freqüents a les muntanyes russes. Aquest element d'emoció consisteix a posar boca avall als passatgers, i depenent del tipus poden generar sensacions diferents, com sensació d'ingravidesa o caiguda lliure, forces G negatives (sentir-te atret cap al seient mentre et trobes invertit) o vistes panoràmiques invertides.



Imatge 47. Looping vertical. Imatge extreta de <https://www.coaster101.com/2013/06/27/coasters-101-vertical-loops/>

Les més comunes són els loopings verticals, on el recorregut fa un gir vertical sobre si mateix, en una forma anomenada clotoide, i no circular, com comunament es pensa. Això és així perquè en una trajectòria totalment circular, les forces G que pateixen els

passatgers serien molt altes. En canvi, en traçar una forma més ovalada es redueixen considerablement. *Dragon Khan* compta amb vuit d'aquests loopings.

Tenim també l'anomenat llevataps, que es dona quan el tren gira completament sobre la via, sense deixar de moure's de forma horitzontal. La muntanya russa *Furius Baco*, de la qual hem parlat amb anterioritat, té un d'aquests.

6.1.2.5.1. La física dels loopings

En un looping, el tren experimenta una força centrípeta, pròpia del moviment circular. Aquesta força sempre es dirigeix al centre del cercle que forma la trajectòria, i es calcula amb la fórmula següent:

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

Imatge 48. Fórmula de la força centrípeta. Imatge extreta de <https://brainly.lat/tarea/32348600>

A més, trobem la força normal, que és la reacció que fan les vies a la quantitat de força que li apliquen els vagons, i la força gravitacional, que tira el tren cap a terra.

A la part més alta del looping, s'ha de tenir en compte la relació entre aquestes forces per tal que el tren no caigui. La condició per mantenir-ho a les vies serà que la força centrípeta sigui suficient per mantenir el contacte amb la pista. És a dir, ha de ser igual a la suma de la normal i de la força gravitacional, que tiren el tren cap a fora.

6.1.2.6. Elements de seguretat

Les muntanyes russes poden resultar tant divertides com perilloses. En conseqüència, al llarg dels anys s'han desenvolupat sistemes i aparells per garantir la seguretat dels passatgers.

Per una banda, tenim els més obvis, els cinturons, arnesos o barres de seguretat que van als vagons subjectant als visitants. Poden ser de molts tipus, i tot dependrà del tipus de seients i el grau d'intensitat de la muntanya russa.

Per exemple, en l'exemple anterior, amb *El diable - El Tren de la mina* i *Batman Gotham City Escape* ho podem veure molt clar. A la primera, s'utilitza una barra per subjectar als passatgers, ja que no arriba a una gran velocitat i no és necessària una gran subjecció. En canvi, a la segona, es fa servir una mena de cinturó de seguretat de metall, situat entre les dues

comes i que t'envolta la cintura, que manté a les persones ben subjectes als seients. D'aquesta forma, es garanteix la subjecció, però es deixa llibertat al tren superior del cos per maximitzar les emocions creades pel recorregut.



Imatge 49. Barra de seguretat als vagons de El diable - El Tren de la mina. Imatge extreta de <https://ford-park.com/atraccions/el-diablo-tren-de-la-mina/>



Imatge 50. Seients de l'atracció Batman Gotham City Escape, on es pot observar el sistema de seguretat. Imatge extreta de <https://www.traveler.es/articulos/batman-gotham-city-escape-nueva-montana-rusa-parque-wa-mer>

Adicionalment, les muntanyes russes compten amb sistemes de seguretat que els visitants dels parcs d'atraccions no poden veure, com els sistemes de frens automàtics, que paren tota la muntanya russa en cas d'emergència, o diversos controls del funcionament de l'atracció.

6.2. Cost d'una muntanya russa

El cost de les muntanyes russes pot variar molt i depèn de bastants factors dins de la seva construcció. Si parlem d'una muntanya russa petita i senzilla, es pot tractar d'uns pocs milions de dòlars, mentre que si parlem de muntanyes russes molt tematitzades o amb tecnologies innovadores, es pot arribar fins a més de 100 milions de dòlars.

Normalment, les muntanyes russes de fusta són més barates que les que estan fetes d'acer. A part que l'acer és, de per si, un material més car que la fusta, a les muntanyes russes fetes amb aquest metall se solen incorporar moltes més tecnologies i variacions al recorregut, com loopings o in-line twists.

Per exemple, podem comparar els preus de *El diable - Tren de la mina* i del *Dragon Khan*, ambdues muntanyes russes situades a PortAventura Park i inaugurades el 1995. Mentre que la primera, feta de fusta, va tenir un cost de només 900.000 euros, la segona, feta d'acer i amb un recorregut més complex i amb loopings, va costar 6.000.000 d'euros.

Algunes de les muntanyes russes ambientades en mons de fantasia, que requereixen molta decoració i elements per recrear l'atmosfera que es vol representar, poden arribar a tenir un cost molt més elevat que algunes de les muntanyes russes amb grans tecnologies.

Tenim l'exemple de la muntanya russa *Expedition Everest*, situada al parc Disney's Animal Kingdom a Florida, Estats Units. Aquesta atracció simula una expedició a l'Everest, i compra amb una ambientació total, que comença des de la mateixa cua, i amb un animatrònic que representa al Yeti. Tots aquests detalls fan que el seu preu augmenti de forma considerable, amb un cost aproximat de 100.000.000 dòlars.

Si parlem en l'àmbit nacional, la muntanya russa més cara ha estat *Red Force*, situada a Ferrari Land, costant al voltant de 30 milions d'euros. A PortAventura Park, el *Shambhala*, per exemple, va tenir un cost aproximat de 25 milions d'euros, en contraposició als 15 milions del *Furius Baco*.

A continuació, insereixo una taula amb els costos d'algunes de les muntanyes russes que s'han anat mencionant al llarg d'aquest treball.

Nom de la muntanya russa	Ubicació	Cost aproximat	Observacions
<i>Formula Rossa</i>	Ferrari World (Emirats Àrabs Units)	48,5 milions d'euros	Feta d'acer. Muntanya russa més ràpida del món.
<i>Kingda Ka</i>	Six Flags Great Adventure (Estats Units)	23,3 milions d'euros	Feta d'acer. Muntanya russa més alta del món.
<i>Steel Dragon 2000</i>	Nagashima Spa Land (Japó)	46,5 milions d'euros	Feta d'acer. Muntanya russa més llarga del món.
<i>Batman Gotham City Escape</i>	Parc Warner de Madrid	20 milions d'euros	Feta d'acer.
<i>Taràntula</i>	Parc d'atraccions de Madrid	7 milions d'euros	Feta d'acer. Única muntanya russa <i>spinning</i> del país.
<i>Stampida</i>	PortAventura Park	7 milions d'euros	Feta de fusta. Compta amb dues vies.
<i>Uncharted: L'enigma de Penitence.</i>	PortAventura Park	25 milions d'euros	Feta d'acer. Compta amb tecnologies innovadores i és l'única de la categoria <i>dark ride</i> a Espanya.

7. CREACIÓ D'UN DISSENY PROPI DE MUNTANYA RUSSA

7.1. Estudi dels plànols de PortAventura Park

Per poder escollir la localització final de la nostra atracció, primer hem de conèixer l'extensió del parc i el seu funcionament, tant des de l'exterior (on es troba, com arribar-hi...) com el de l'interior (mobilitat, camins, restaurants...).

Per tant, farem un anàlisi urbà general del parc, per a posteriori poder conèixer les parcel·les buides de què disposem i, finalment, identificar la que més s'apropi a les nostres necessitats.

Per poder fer-ho, utilitzarem com a recursos diverses aplicacions de navegació, com Google Maps o Google Earth, els mateixos mapes que crea PortAventura (encara que, en estar dibuixats i no ser del tot acurats amb el terreny del parc no es proporcionen molta informació), i les aplicacions de dibuix i escriptura Sketchbook i GoodNotes des d'un iPad, cosa que ens permetrà dibuixar en les diverses fotografies i crear mapes propis, així com les llegendes.

7.1.1. Aspectes exteriors

PortAventura Park està situat, com s'ha mencionat amb anterioritat, a la província de Tarragona, a Catalunya. Més precisament, podem trobar el parc entre els municipis de Salou i Vila-seca, a 15 quilòmetres de la ciutat de Tarragona.

A continuació podem observar un mapa d'Espanya, on he marcat amb un punt vermell la zona on es troba PortAventura Park. Com podem veure, el parc es troba al nord-oest del país, a prop de la costa catalana.



Imatge 51. PortAventura Park situat al mapa d'Espanya. Imatge pròpia.

En canvi, al mapa següent veiem la comunitat autònoma de Catalunya. Com abans, veiem el parc marcat amb un punt vermell, però en aquest cas també tenim les ciutats de Tarragona i Barcelona, marcades, respectivament, amb punts de color groc i verd. Aquests ens permeten observar la distància que hi ha entre el recinte i ambdues ciutats.



Imatge 52. PortAventura Park, Tarragona i Barcelona situats al mapa de Catalunya. *Imatge pròpia.*

Es pot arribar a PortAventura Park des de la ciutat comtal de diverses formes. Hi ha al voltant de 120 quilòmetres de distància, que es poden recórrer en cotxe, en autobús, en ferrocarril, etc.

Si ens desplacem en automòbil, la ruta més ràpida, amb la que es triga aproximadament una hora i quinze minuts, és passant per la C-32 i l'AP-7, fins a la sortida 35 d'aquesta última carretera. El ferrocarril és una altra opció, i que escullen molts dels turistes que visiten el parc, ja que PortAventura compta amb la seva pròpia estació, anomenada Salou-PortAventura. A més, diverses empreses disposen d'un servei de busos que es desplacen diàriament de la ciutat comtal al parc d'atraccions, en un trajecte d'unes dues hores.

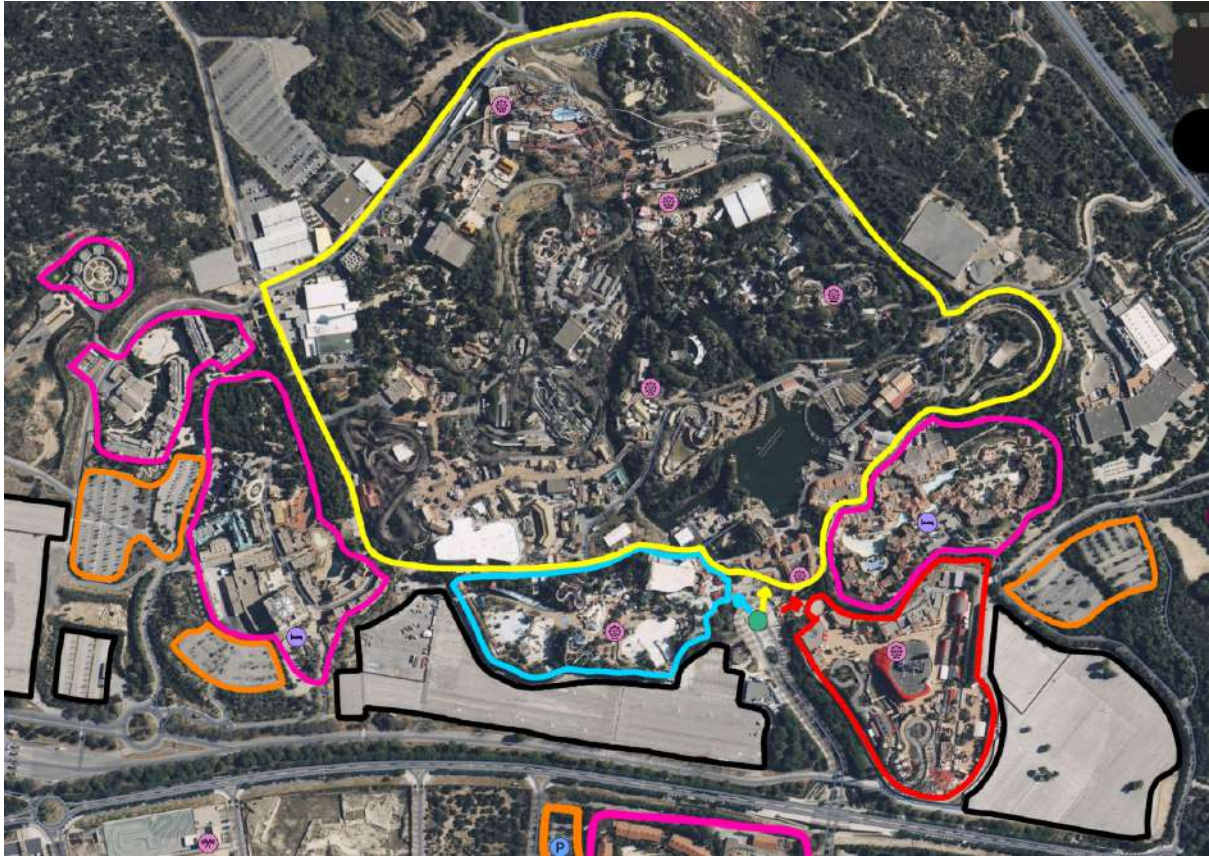
7.1.2. Funcionament de l'interior del parc

Per començar l'estudi sobre la distribució i el funcionament del parc, vam extreure una imatge de la zona des de l'aplicació Maps, d'Apple. Utilitzant el mode satèl·lit, vam poder obtenir una vista des de dalt on es poden observar diverses atraccions, els camins, els diferents hotels, etc.



Imatge 53. Mapa del recinte de PortAventura World. *Imatge extreta de Maps.*

A continuació, amb l'aplicació de dibuix vam començar per separar les diverses zones dins dels complex PortAventura World, que inclou, a banda del mateix PortAventura Park, altres zones com la dels hotels, Ferrari Land i PortAventura Caribe Aquatic Park. D'aquesta manera, podrem identificar quin és el terreny del parc d'atraccions, i després podrem començar a estudiar el seu interior més profundament. A més, també vam marcar els pàrquings, on els clients poden aparcar els seus vehicles mentre duri la seva estança al parc.



Imatge 54. Mapa de les diferents instal·lacions dins de PortAventura World. Imatge pròpia.

Per poder identificar què significa cada color, també hem creat una llegenda, que complementa al mapa, que es troba a la dreta d'aquest paràgraf.

Encara que no podem observar en aquesta imatge tot el complex d'oci PortAventura World, donat el zoom utilitzat per poder identificar cada zona, sí que podem veure la majoria.



Imatge 55. Llegenda del mapa de la imatge 54. Imatge pròpia.

Envoltat en color groc trobem el que seria el recinte de PortAventura Park, i veiem que ocupa la major part del terreny. En vermell i blau es marquen els diferents parcs, Ferrari Land i PortAventura Caribe Aquatic Park, respectivament. Podem destacar que les entrades a cada un es troben molt prop, i que totes envolten la famosa font que dona la benvinguda als visitants (marcada amb un punt de color verd).

A més, en color rosa identifiquem els diferents hotels que es troben al voltant dels parcs, i amb taronja, els pàrquings que els acompanyen. Finalment, en negre podem observar els pàrquings que utilitzen els visitants diaris, tanmateix com l'aparcament habilitat per les autocaravanes, que es troba a l'esquerra.

A continuació, començarem a centrar-nos només en PortAventura Park. Per tant, utilitzarem una imatge (extreta també de Maps) més centrada en el que és el parc d'atraccions.



Imatge 56. Mapa de PortAventura Park. *Imatge extreta de Maps.*

A partir d'aquí, vam començar a identificar les instal·lacions interiors per tal de crear un mapa complet. Vam trobar-nos amb la dificultat que, en incloure una gran superfície com és tot el parc d'atraccions, la imatge no registrava gairebé els detalls. Encara això, amb l'ajuda d'anar comparant amb diverses fonts, s'ha pogut arribar a un resultat final bastant satisfactori.

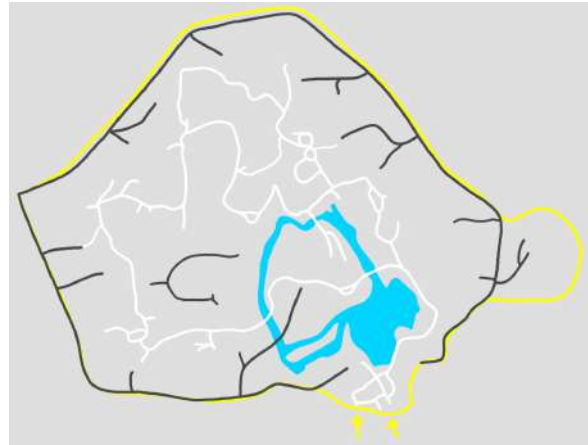
Per poder estudiar la millor localització per a la nova muntanya russa, s'ha desglossat el mapa per tal de poder estudiar els diversos factors per separat.

Primer tenim el que marca el perímetre de PortAventura Park, les zones on podem trobar aigua i els camins, tant de vianants com de vehicles de treballadors del parc. Hem inserit dues

versions del mapa, una on es pot observar la superfície d'aquest i una altra on hi ha un fons gris (no de color blanc, per no confondre els camins amb el fons), per poder distingir millor els colors.



imatge 57. Mapa del perímetre, les zones d'aigua i els camins de PortAventura Park. *imatge pròpia.*



imatge 58. Mapa del perímetre, les zones d'aigua i els camins de PortAventura Park. *imatge pròpia.*

L'entrada al parc es troba assenyalada amb fletxes de color groc, amb una línia que recorre el límit d'aquest mateix color. A més, trobem els camins per vianant en blanc, i per cotxes en gris fosc. Per acabar, la zona d'aigua està pintada de blau.



imatge 59. Llegendes dels mapes de les imatges 57 i 58. *imatge pròpia.*

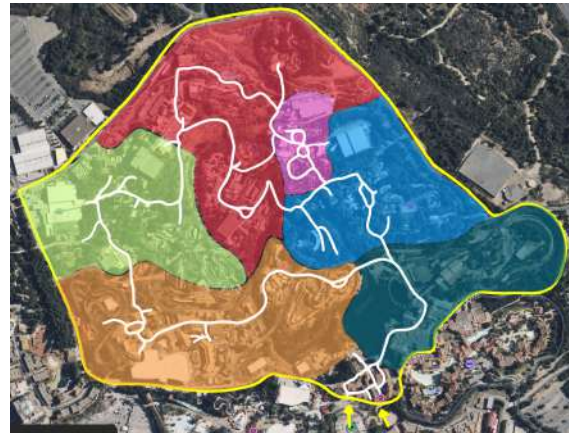
La zona d'aigua és el llac que trobem només entrant al parc, a la zona de la Mediterrània. Addicionalment, les carreteres que són fetes servir pels treballadors voregen el parc, només desviant-se per dirigir-se a algun restaurant o atracció. Per tant, podem suposar que són utilitzades per repartir aliments o begudes, per mecànics per arribar a les atraccions o simplement per desplaçar-se més ràpidament per les instal·lacions.

En el referent al camí pels visitants, crida bastant l'atenció el fet que les zones de la Mediterrània i el Far West no connectin directament envoltant el llac, només entrant al parc. Això es deu al fet que trobem diferents edificis i zones restringides de PortAventura, però, això obliga a tots els visitants a seguir el mateix camí. Encara això, els camins són còmodes i connecten la majoria de les zones i atraccions de forma senzilla, sense rutes llargues que puguin ser difícils pels nens o confuses pels estrangers.

A continuació tenim el mapa que diferencia les diverses zones: Mediterrània, Polinesia, la Xina, Mèxic, Far West i SésamoAventura. En aquest cas, també tenim dos mapes. Un en el que es mostren exclusivament les zones, i un altre en el que s'ha volgut veure com es relacionen entre elles a través dels camins.



Imatge 60. Mapa de les diferents zones temàtiques de PortAventura Park. *Imatge pròpia.*



Imatge 61. Mapa de les diferents zones temàtiques i els camins de PortAventura Park. *Imatge pròpia.*

El primer que podem notar és que hi ha diferències pel que fa a la superfície que ocupa cada món. SésamoAventura, l'última incorporació, té bastant menys espai que els altres, probablement a causa del fet que és un espai reservat per a nens, on les atraccions no són gaire grans.

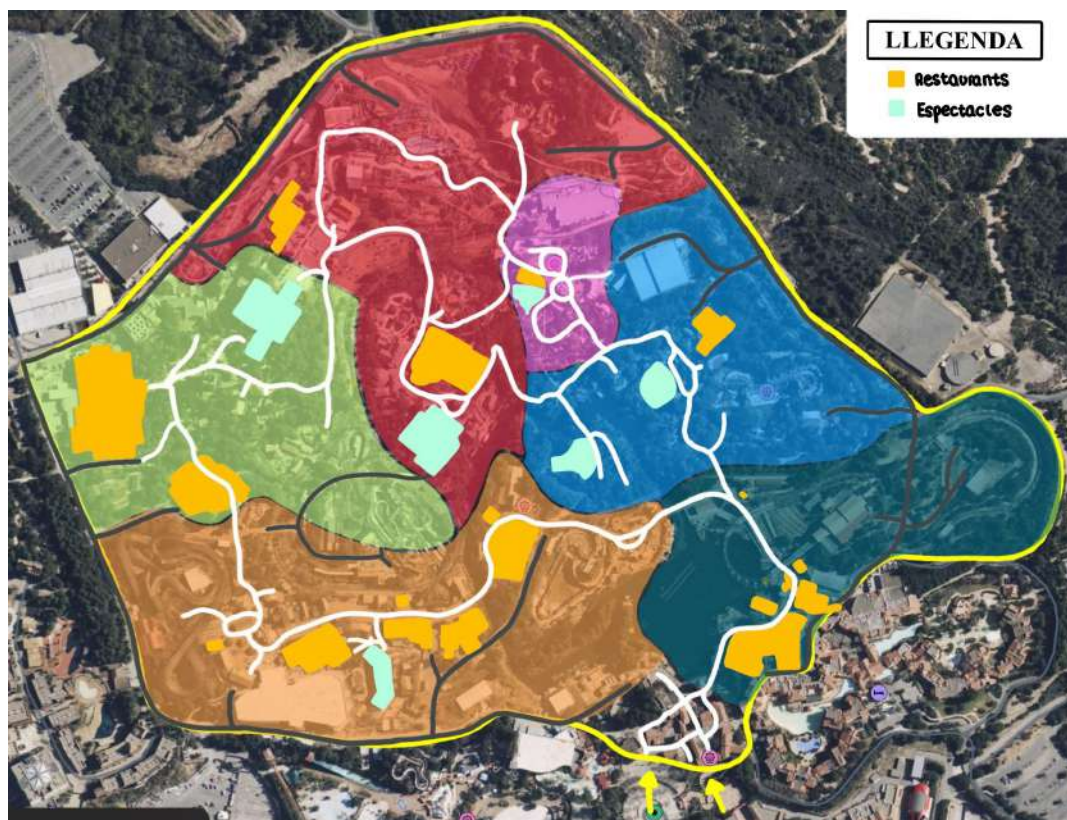
Per una altra banda, la Xina i el Far West són les més grans de totes. Al primer món, quasi tota la part superior està ocupada per les dues grans muntanyes russes lligades, el *Shambhala* i el *Dragon Khan*. En canvi, al Far West, els restaurants i atraccions semblants a les d'una fira ocupen la majoria d'espai.

Respecte als camins, la Xina és la zona amb més connexions, amb camins que et poden portar a la Polinesia, Mèxic o SésamoAventura, mentre que Mèxic, el Far West i la Mediterrània només s'enllacen amb dues.

Seguidament, comptem amb el mapa on es mostren les zones de restauració repartides al llarg del parc i els llocs on es realitzen els espectacles de cada zona.



Imatge 62. Llegenda dels mapes de les imatges 60 i 61. *Imatge pròpia.*



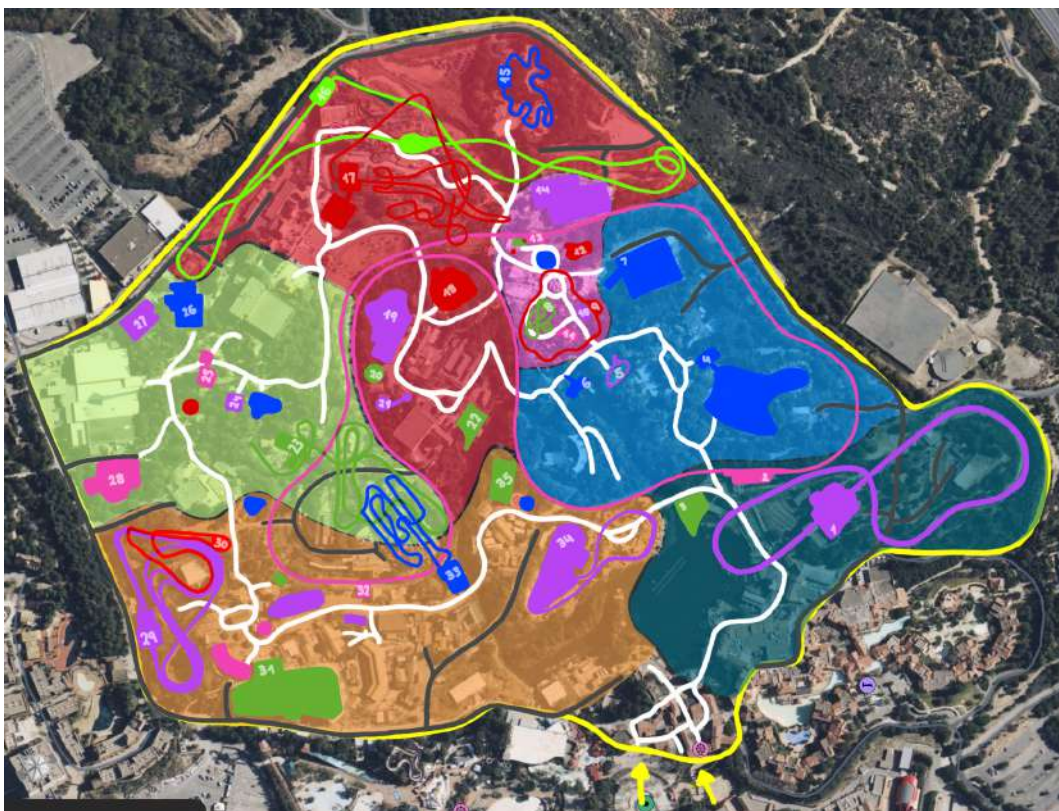
Imatge 63. Mapa dels restaurants i les zones d'oci de les diferents zones de PortAventura Park.
Imatge pròpia.

Observem diferents restaurants a cada zona, que representen el món que es visita. A més, trobem una zona d'espectacles a tots menys a la Mediterrània. Podem veure com les carreteres condueixen a la gran majoria de restaurants, i els camins van fins a les zones on es realitzen els espectacles diaris.

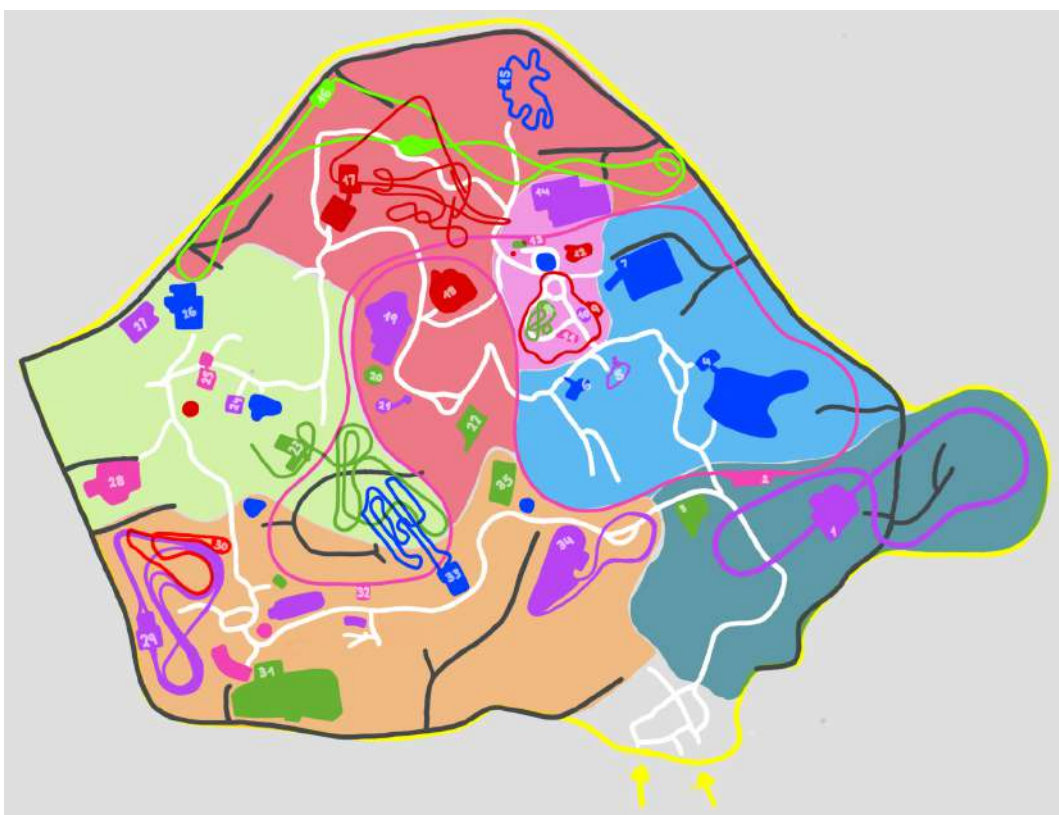
Posteriorment, hi ha el mapa més important de tots, el que mostra les atraccions. Hem inclòs dues versions diferents, una amb el mapa de fons i un altre sense ell.

A ambdues observem només les atraccions distribuïdes per PortAventura, pintades de colors rosa, lila, vermell, verd o blau, i marcades amb un nombre (no hem numerat algunes de les atraccions més petites o que no tenen gaire importància, ja que si no seria una llista molt més llarga). Hem utilitzat diferents colors per poder distingir-les bé, sobretot si es troben molt juntes o es creuen en algun moment. A més, al fons podem distingir els colors dels diferents mons per veure quines atraccions pertanyen a cadascun.

Més avall, trobem una llista, on estan tots els nombres de l'1 al 35 amb el nom de les atraccions al costat, i distribuïdes segons el món al qual es troben.



Imatge 64. Mapa de les atraccions situades a PortAventura Park. *Imatge pròpia.*



Imatge 65. Mapa de les atraccions situades a PortAventura Park. *Imatge pròpia.*

ATRACCIONS	
Mediterrània	1. Furious Baco 2. Estació del Nord 3. Port de la Drassana
Polinesia	4. Totuki splash 5. Canoes 6. Kon-tiki wave 7. REC EXPERIENCE
SésamoAventura	8. Tami Tami 9. Coco Piloto 10. Mariposas saltarinas 11. La granja de Elmo 12. El huerto encantado 13. Estación SésamoAventura 14. Street Mission
Xina	15. Angkor: Aventura en el reino perdido 16. Shambhala 17. Dragon khan 18. Àrea infantil 19. Escuela de conducción "kids and cars" 20. Tea cups 21. Cobra imperial 22. Waitan port
Mèxic	23. El Diablo - Tren de la Mina 24. El secreto de los Mayas 25. Hurakan Condor 26. Yucatán 27. Templo del fuego 28. El bosque encantado
Far West	29. Stampida 30. Tomahawk 31. Uncharted: El enigma de Penitence 32. Penitence Station 33. Silver River Flume 34. Grand Canyon Rapids 35. Wild Buffalos

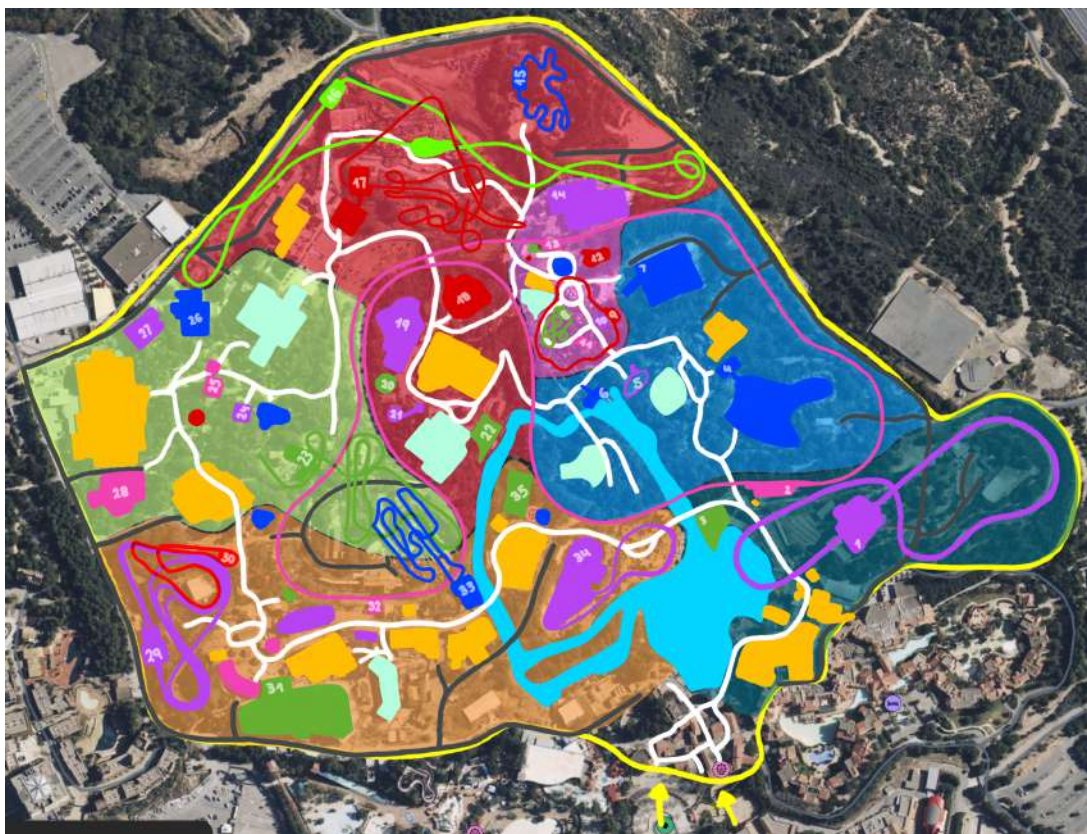
Imatge 66. Llista de les atraccions de PortAventura Park, numerades segons els mapes de les imatges 64 i 65. Imatge pròpia.

A la llista, a més, hem subratllat en rosa les muntanyes russes (nombres 1, 8, 16, 17, 23, 29 i 30), en blau les parades del tren que recorre tot el parc (nombres 2, 13 i 32) i en verd els dos ports on pots agafar una barca per circular pel llac de la Mediterrània (nombres 3 i 22).

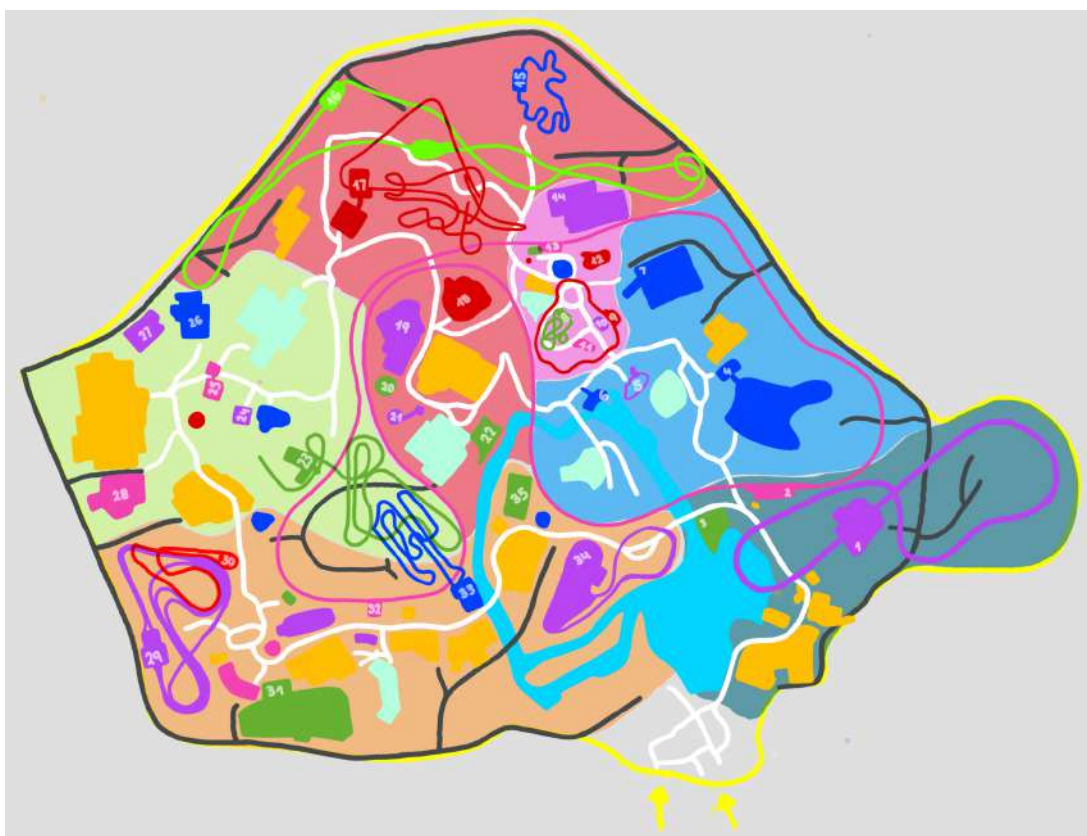
Tant a la llista com als mapes podem veure que la Mediterrània i la Polinesia són els mons amb menys atraccions. En canvi, la Xina és la que compta amb més, encara que si comptessin els diferents minijocs de fira, seria el Far West el que estaria a dalt de la llista.

Si parlem de muntanyes russes, tots els mons tenim almenys una, menys la Polinesia. Així i tot, la Xina és la que atresora les dues joies de PortAventura Park, el *Shambhala* i el *Dragon Khan*.

Finalment, s'ha volgut incloure la versió completa del mapa, tan dibuixada com amb el fons real. Aquesta visió ens ajudarà a tractar d'incloure la nova muntanya russa al parc.



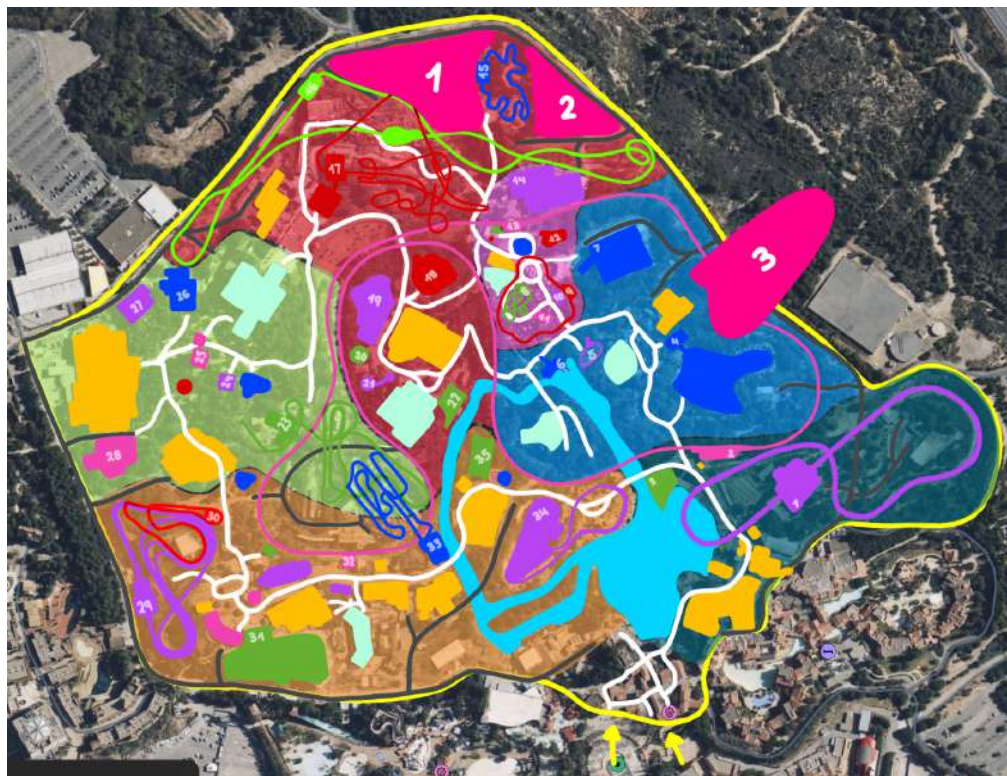
Imatge 67. Mapa complet de PortAventura Park, amb totes les seves instal·lacions.
Imatge pròpia.



Imatge 68. Mapa complet de PortAventura Park, amb totes les seves instal·lacions.
Imatge pròpia.

7.1.3. Localització final de la muntanya russa

A partir d'aquests plànols, hem pogut trobar els espais possibles on es pot posar la nova muntanya russa. En el mapa, a continuació, podem observar les tres opcions que s'han considerat, marcades de color rosa i numerades de l'1 al 3.



Imatge 69. Mapa de PortAventura Park amb les diferents opcions marcades.
Imatge pròpia.

- **Opció 1:** La primera opció la trobem a la part de dalt del mapa, a la zona de la Xina. Encara que es troba al costat de les dues grans muntanyes russes del parc (*Shambhala* i *Dragon Khan*), és una parcel·la espaiosa, d'uns 7.000 m², i amb bona comunicació amb el camí. Amb aquestes característiques, es podria pensar en un projecte no tan enfocat en el que és la velocitat o la intensitat de l'atracció, sinó en una muntanya més temàtica o històrica.
- **Opció 2:** Aquesta comparteix la majoria de les característiques amb la primera. Es troba també a la Xina, però és una zona més petita, d'uns 4.500 m², i una mica més allunyada del camí.
- **Opció 3:** Per acabar, aquesta opció és més diferent de les altres. Es troba a la Polinesia, una zona que no té cap muntanya russa, per la qual cosa seria una bona

opció. Tot i això, dins del que considerem part de PortAventura Park, no hi hauria prou zona per incorporar-hi la nova atracció, i per tant s'hauria d'utilitzar part del terreny exterior, on es podria arribar a una extensió de fins a 13.000 m². També s'hauria d'allargar el camí, per poder donar bona accessibilitat a la muntanya russa.

Per tant, les dues millors opcions són la 1 i la 3, ja que la 2 comparteix la majoria de les característiques amb la 1, però té un terreny més petit.

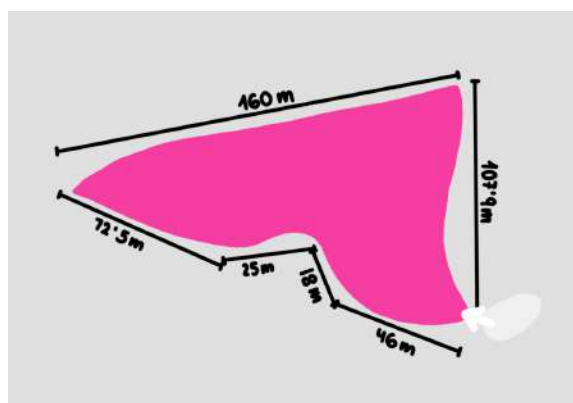
A partir d'aquí, hem de saber a quin dels avantatges o desavantatges de les dues opcions li donem més pes. Mentre que la 1 es troba totalment dins del recinte i compta amb un camí clar, la 2 ens dóna més espai i se situa en una zona molt més bona, on no n'hi ha cap altra muntanya russa.

Finalment, es considera construir la nova muntanya russa en la zona 1, donat el millor accés des d'un camí existent del par i les possibilitats de terreny que ens ofereix respecte a l'opció d'ampliar el parc, cosa que seria necessària amb l'opció 3.

A continuació, s'ha realitzat un petit mapa amb les especificacions del terreny. Podem observar la mesura aproximada dels costats de la parcel·la i la zona a la qual estaria l'entrada a la muntanya russa, connectada al camí, que està indicada amb una fletxa de color blanc.



Imatge 70. Mapa amb especificacions de la zona escollida. Imatge pròpia.



Imatge 71. Mapa amb especificacions de la zona escollida. Imatge pròpia.

7.2. Història de la muntanya russa

Com hem comentat amb anterioritat, la zona escollida es troba a prop de les dues grans muntanyes russes de PortAventura Park, les considerades més intenses, altes, ràpides, etc., i, per tant, el nou projecte haurà d'incorporar alguna novetat a la zona de la Xina.

En conseqüència, la decisió que s'ha pres consisteix en el fet que es tractarà d'una experiència temàtica, que expliqui una història al llarg del viatge, i que se centri en la tematització i el storytelling, en comptes d'en les fortes sensacions o experiències extremes. La proposta, doncs, és realitzar una muntanya russa que et transporti dins de la cultura xinesa, que t'ajudi a conèixer-la una mica més i que sigui, en resum, com una experiència immersiva.

Tenint en compte que *Tami Tami* i *Tomahawk* són les úniques muntanyes russes de PortAventura Park que no es centren principalment en les experiències intenses, seria innovador poder implementar una tercera atracció, que, encara tenint un recorregut divertit, amb pujades i baixades, se centri en l'experiència cultural més que en la intensitat.

Després d'una investigació i la lectura de diverses llegendes i mites Xinesos, vam trobar la llegenda de “La Perla del Drac”. Aquesta tracta d'un drac que habitava a la muntanya Kinabalu, la més alta de l'illa de Borneo, i que guardava i protegia una perla molt valuosa. L'emperador de la Xina volia fer-se amb ella, i va enviar al seu fill a buscar-la.

Després d'una llarga travessia en vaixell, va idear un pla per treure-li la perla al drac. Va manar construir una cometa per poder suportar el seu propi pes, i una llanterna, per poder deixar-se-la al drac a canvi de la perla.

El príncep, llavors, va anar a dalt de la muntanya, mentre el drac dormia, i li va canviar la perla per la llanterna. Malgrat això, quan el drac es va despertar, es va adonar del canvi, i es va posar furiós. Quan va trobar el vaixell dels xinesos, els va començar a atacar. El fill de l'emperador, per tal d'intentar eliminar-lo, va manar disparar els canons en contra seu. Finalment, el drac, pensant que li estaven retornant el que era seu, va obrir la boca per agafar el que ell creia que era la perla, però es va acabar enfonsant pel pes de la bola del canyó.

El fill de l'emperador va regressar triomfant a la Xina, i la perla es va convertir en una de les possessions més preuades del regne.

A través del recorregut de la muntanya russa, s'explicaria la travessia del fill de l'emperador des del moment en el qual el seu pare li mana aconseguir la perla fins a l'enfonsament del mateix drac.

Així mateix, la nova muntanya russa ha de tenir un nom, representatiu de la cultura i relacionat amb la història, i el triat és *KINABALU*, extret del nom de la muntanya en la qual viu el drac amb la perla.

7.3. Recorregut de la muntanya russa

Una vegada ja tenim clara la història sobre la qual tractarà la nostra muntanya russa, és hora de començar amb el disseny. Per a simplificar el procés, separarem la història i el recorregut en diferents parts, i les estudiarem per separat.

7.3.1. Tram 1

Aquest serà el tram inicial de la muntanya russa, el que doni la benvinguda al passatger i, per tant, ha de servir per posar en context la història.

Només pujar a l'atracció, es reproduirà un vídeo en una pantalla al davant del tren, amb un missatge de l'emperador de la Xina, comunicant als passatgers la seva missió: aconseguir la perla del drac i portar-la al regne xinès. Una vegada acabat, l'atracció comença el seu recorregut.

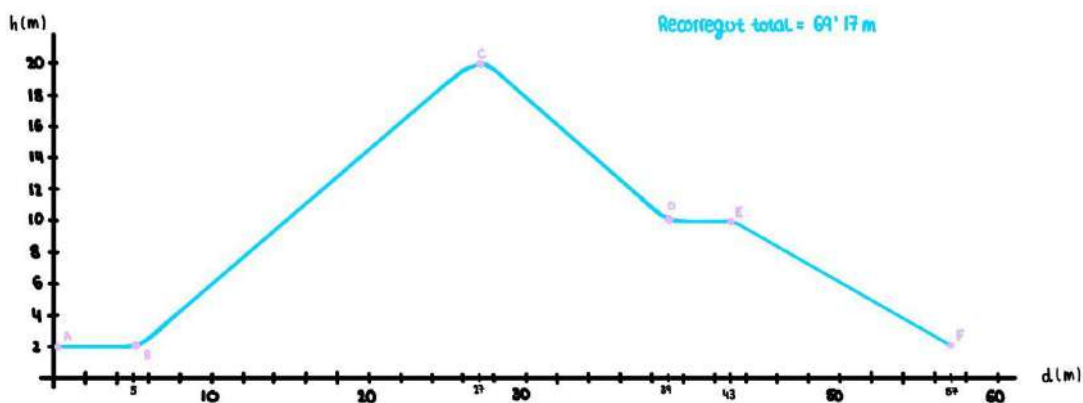
Amb aquesta primera zona, s'intentarà reproduir l'emoció del gran viatge que ha de realitzar el fill de l'emperador per poder arribar-hi a l'illa. Les vies tindran un recorregut de 69,17 metres, encara que la distància ocupada serà només de 57 metres, i s'obtindrà una altura màxima de 20 metres i una velocitat de 28,35 quilòmetres per hora.

Al mapa podem observar la zona que ocuparà aquesta part, que començarà dins de la zona on es reproduirà el vídeo, és a dir, el punt A, i continuarà per la línia blava fins al punt F.



imatge 72. Mapa del tram 1 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

A continuació, s'ha realitzat el perfil d'aquest primer tram. Els eixos indiquen la distància que hi ha entre punt i punt, en metres. Des del punt A (començament del recorregut) al punt C, el tren puja amb ajuda d'una cadena. A partir d'aquest moment, es deixen caure els vagons per la força de la gravetat, fins a arribar al punt F.

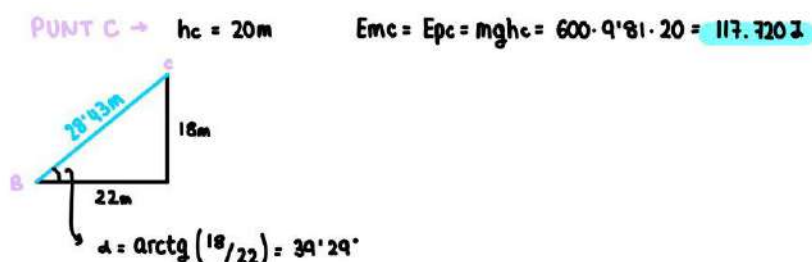


Imatge 73. Perfil del tram 1 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

Per calcular la viabilitat del recorregut i les velocitats a les quals s'arribarà, hem utilitzat les fórmules de les energies cinètica i potencial, juntament amb el càlcul de l'energia perduda pel fregament entre els trens i les vies al llarg del camí. Hem negligit l'energia perduda pel fregament amb l'aire, ja que és mínima, i la major part de les vegades no es té en compte, i tampoc hem tingut en compte els càlculs posteriors d'inclinació de vies, perquè això ens complicaria encara més el treball.

Com a massa del conjunt de les peces del vagó, utilitzarem un aproximat de 600 quilograms (si ho volguéssim aplicar a la realitat, s'hauria de tenir en compte el conjunt amb el pes de les persones), i s'ha pres el coeficient de fregament dinàmic entre acer i acer, que és igual a 0,57. A més, hem d'haver considerat l'angle d'inclinació que té cada part, i per això, a les parts que contenen un d'aquests desnivells, s'observa el dibuix d'un pla inclinat (encara que no estan dibuixats de manera representativa).

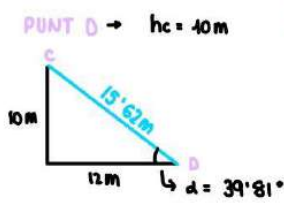
Després d'haver pujat amb la cadena, el vagó arriba al punt C, on no hi ha velocitat, però tenint una energia potencial màxima. Des d'aquest punt, l'energia anirà disminuint pel fregament.



Imatge 74. Càlculs respecte al punt C. Imatge pròpia.

Una vegada el tren baixa per inèrcia, s'arribà al punt D, a 10 metres d'altura. En aquest moment s'assoleix la velocitat màxima d'aquest tram. A més, en els càlculs inferiors, es poden observar dues expressions desenvolupades a partir de les fórmules que ens serviran a tots els següents punts.

PUNT D → $h_c = 10\text{ m}$



$$E_{mD} = E_{mc} - E_{f_{c-D}} = E_{mc} - N \cdot \mu_d \cdot d_{c-D} = E_{mc} - mg \cdot \cos \alpha \cdot \mu_d \cdot d_{c-D}$$

$$E_{mD} = 117.720 - 600 \cdot 9,81 \cdot \cos(39,81) \cdot 0,57 \cdot 15,62 = 77.463,64 \text{ J}$$

→ aquesta expressió la podem utilitzar en tots els punts

$$U_D \rightarrow E_{mD} = E_p + E_c \rightarrow E_{mD} = mgh_D + \frac{1}{2}mv_D^2 \rightarrow E_{mD} - mgh_D = \frac{1}{2}mv_D^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow U_D = \sqrt{\frac{(E_{mD} - mgh_D) \cdot 2}{m}} \rightarrow \text{aquesta expressió la podem utilitzar per tots els punts següents}$$

$$U_D = \sqrt{\frac{(77.463,64 - 600 \cdot 9,81 \cdot 10) \cdot 2}{600}} = 7,87 \text{ m/s} = 28,35 \text{ km/h}$$

Imatge 75. Càlculs respecte al punt D. Imatge pròpia.

Del punt D al punt E es manté l'altura, i per tant l'angle és igual a 0. Tot i això, a causa del fregament, la velocitat es redueix quasi a la meitat en només 4 metres.

PUNT E → $h_E = 10\text{ m}$
 $d_{D-E} = 4\text{ m}$

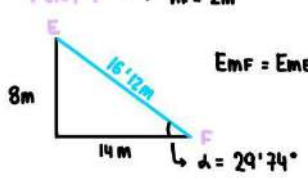
$$E_{mE} = E_{mD} - mg \cdot \cos \alpha \cdot \mu_d \cdot d_{D-E} = 77.463,64 - 600 \cdot 9,81 \cdot 0,57 \cdot 4 = 64.043,56 \text{ J}$$

$$U_E = \sqrt{\frac{(64.043,56 - 600 \cdot 9,81 \cdot 10) \cdot 2}{600}} = 4,16 \text{ m/s} = 14,96 \text{ km/h}$$

Imatge 76. Càlculs respecte al punt E. Imatge pròpia.

Acabem aquest tram amb una altra baixada, tornant a l'altura inicial de l'atracció. Aquesta vegada, és amb menys inclinació que l'anterior, i es recuperarà una mica de velocitat a l'arribar al punt F.

PUNT F → $h_F = 2\text{ m}$



$$E_{mF} = E_{mE} - E_{f_{E-F}} = E_{mE} - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \mu_d \cdot d_{E-F} = 64.043,56 - 600 \cdot 9,81 \cdot 0,57 \cdot \cos(29,74) \cdot 16,12 = 17.084,15 \text{ J}$$

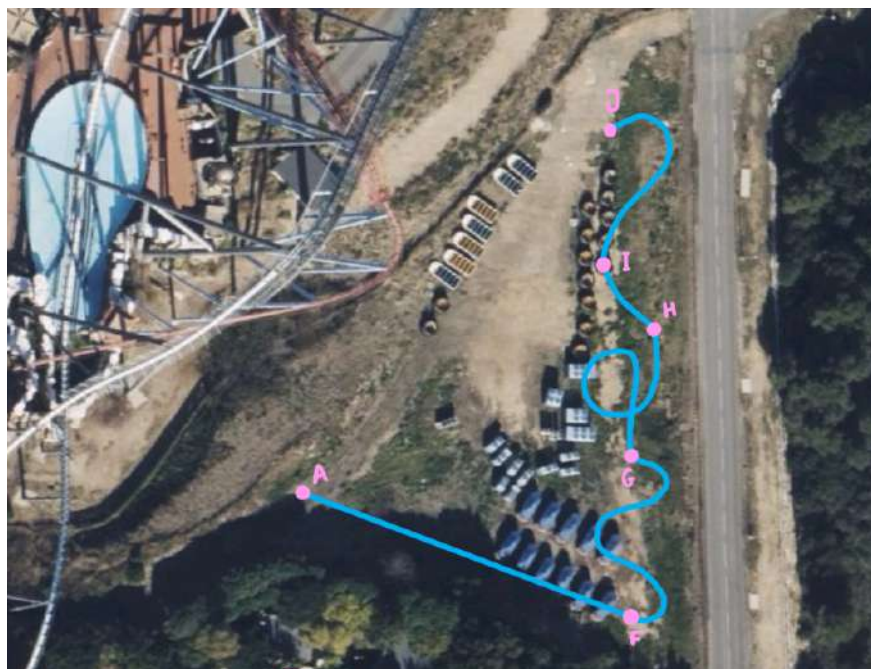
$$U_F = \sqrt{\frac{(17.084,15 - 600 \cdot 9,81 \cdot 2) \cdot 2}{600}} = 4,24 \text{ m/s} = 15,15 \text{ km/h}$$

Imatge 77. Càlculs respecte al punt F. Imatge pròpia.

7.3.2. Tram 2

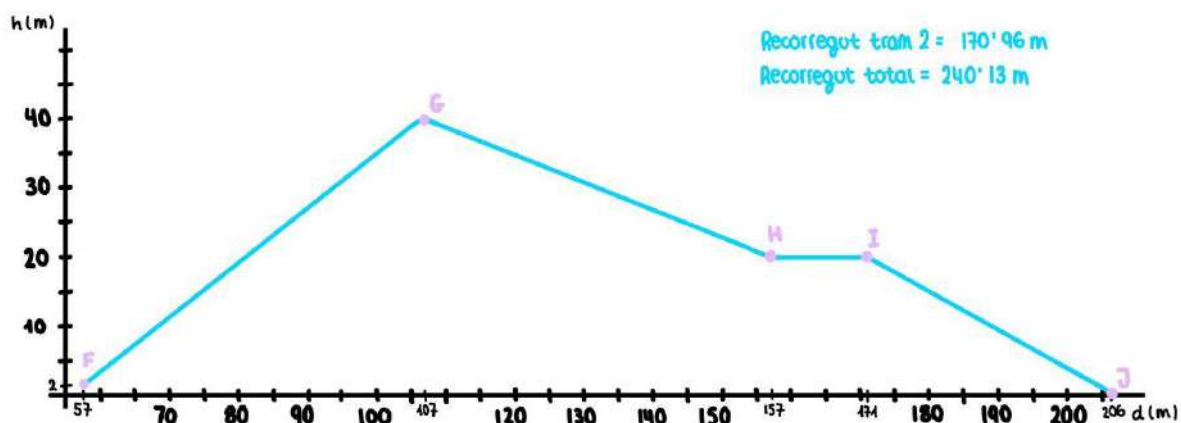
El nus de la nostra llegenda, és a dir, l'entrada a la cova del drac i el robatori de la perla, ve representat pel segon tram. Aquest comença al punt F, justament quan acaba el tram anterior.

En aquest cas, no es tracta d'un recorregut en línia recta, sinó que les vies tindran diversos girs. Ocuparan un total de 149 metres, que sumats als anteriors, són 206 metres de terreny. Al mapa podem observar les diferents parts d'aquest tram, i els punts més importants marcats.



Imatge 78. Mapa dels trams 1 i 2 de la muntanya russa, i d'alguns dels seus punts representatius. Imatge pròpia.

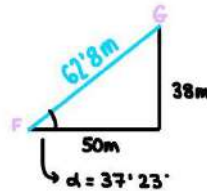
Al perfil podem observar que és bastant semblant a la primera part, però amb més altura i un recorregut més llarg.



Imatge 79. Perfil del tram 2 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

Després d'haver baixat fins al punt F, el tren s'enganxarà una altra vegada a un sistema de cadena, que el portarà per una ruta amb corbes mentre puja la muntanya *Kinabalu* fins a la cova del drac. Quan s'arriba a la porta de la cova, els vagons se situen al punt G, a 40 metres d'altura. En aquest moment, tindrem l'energia potencial màxima de tota l'atracció.

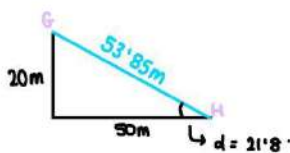
PUNT G $\rightarrow h_G = 40\text{m}$ $E_{mG} = E_{pG} = mgh_G = 600 \cdot 9,81 \cdot 40 = 235.440\text{ J}$



Imatge 80. Càlculs respecte al punt G. Imatge pròpia.

Una vegada a dalt, es deixa caure per l'acció de la gravetat, des del punt G fins al H, quedant a 20 metres d'altura. En aquesta part, tenim un gir complet, en el que les vies passen per sota del recorregut anterior, i se simula l'expedició del fill de l'emperador per la cova del drac. Aquest pla compta amb poca inclinació, ja que, mentre que es mou 50 metres en horitzontal, només baixa 20 metres. Tot i això, al punt H s'arriba a la velocitat màxima de tota l'atracció, de 46,49 quilòmetres per hora.

PUNT H $\rightarrow h_H = 20\text{m}$



$E_{mH} = E_{mG} - E_{ffG-H} = 235.440 - 600 \cdot 9,81 \cdot \cos(21^\circ 8') \cdot 0,57 \cdot 53,85 = 167.747,52\text{ J}$

$v_H = \sqrt{\frac{167.747,52 - 600 \cdot 9,81 \cdot 20}{600}} = 12,91\text{ m/s} = 46,49\text{ km/h}$

Imatge 81. Càlculs respecte al punt H. Imatge pròpia.

A continuació, per tal de baixar una mica la intensitat i la velocitat, tenim una zona de 14 metres en línia recta. En mantenir l'altura, l'energia potencial sempre és la mateixa, i, per tant, tota l'energia perduda pel fregament és cinètica, el que redueix la velocitat una vegada s'arriba al punt I. En aquest moment, els viatgers arriben a la cova del drac, i observen com aquest dorm i protegeix la perla.

PUNT I $\rightarrow h_I = 20\text{m}$
 $d_{H-I} = 14\text{m}$

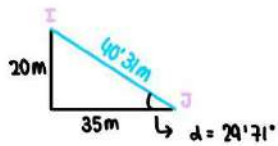
$E_{mI} = E_{mH} - E_{ffH-I} = 167.747,52 - 600 \cdot 9,81 \cdot 0,57 \cdot 14 = 120.777,24\text{ J}$

$v_I = \sqrt{\frac{120.777,24 - 600 \cdot 9,81 \cdot 20}{600}} = 3,19\text{ m/s} = 11,49\text{ km/h}$

Imatge 82. Càlculs respecte al punt I. Imatge pròpia.

Per acabar, en aquest tram, tenim una altra baixada, fins al punt J, el qual se situa al nivell del terra, amb una altura de 0, i, per tant, amb una energia potencial nul·la. Aquesta baixada representa el robatori de la perla, i la fugida de la cova.

PUNT J $\rightarrow h_J = 0\text{m} \rightarrow$ per tant $E_{mJ} = E_{cJ}$ i $E_{pJ} = 0$



$$E_{mJ} = E_{mI} - E_{ff\ I-J} = 120.777'24 - 600 \cdot 9.81 \cdot 0.57 \cdot \cos(29.74) \cdot 40.31 = 3.349'58\text{ J}$$

$$E_{mJ} = E_{cJ} \rightarrow v_J = \sqrt{\frac{3349.58 \cdot 2}{600}} = 3.34\text{ m/s} = 12.03\text{ km/h}$$

Imatge 83. Càlculs respecte al punt J. Imatge pròpia.

7.3.3. Tram 3

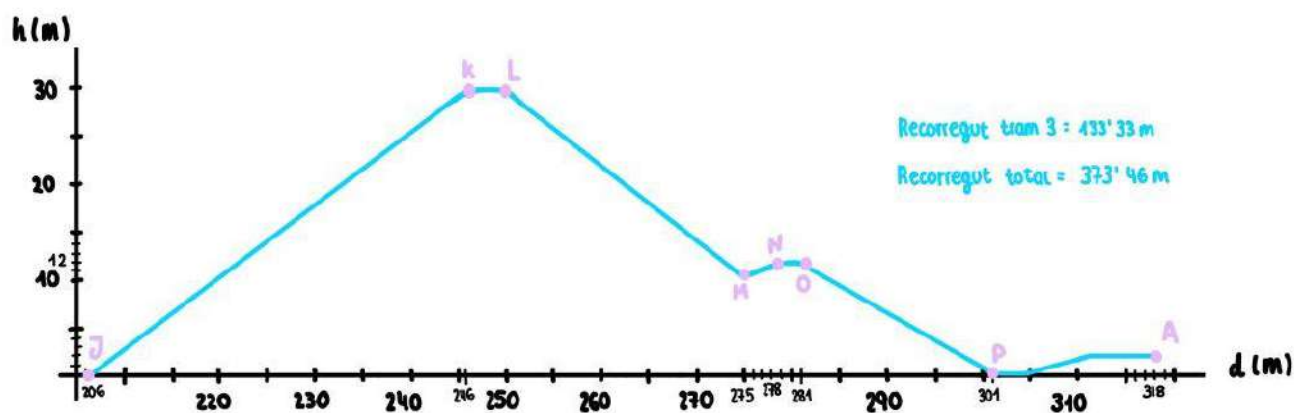
L'últim tram d'aquesta aventura es dona una vegada els passatgers ja s'han fet amb la perla del drac i han fugit de la cova. En aquesta part es torna a representar el viatge de tornada en vaixell amb diversos desnivells.

Seguint des del punt J, aquest tram acaba una altra vegada al començament de l'atracció, és a dir, el punt A. Tot i això, els vagons només es mouen per inèrcia fins al punt P, sent portat per una cadena fins al final. Aquest últim tram ocuparà un total de 112 metres de llarg, sumant un total final de 318 metres. Respecte al recorregut, seran 133,33 metres, afegint-se al total per sumar 373,46 metres de muntanya russa. Al mapa a continuació podem observar el recorregut total al mapa, i la zona que ocuparà a la parcel·la.



Imatge 84. Mapa complet de la muntanya russa, amb alguns punts significatius. Imatge pròpia.

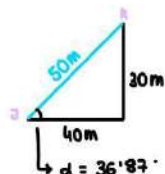
Al perfil podem veure les pujades i baixades d'aquest tram, juntament amb els punts significatius.



Imatge 85. Perfil del tram 3 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

Al pertanyent als càlculs, comencem al punt J, final de l'altre tram. Els vagons tornen a ser portats per la cadena a la part de dalt, fins al punt K, i a continuació, fins al punt L, on serà finalment alliberat, i caurà per la força de la gravetat. En aquest moment tenim l'energia potencial màxima del tram.

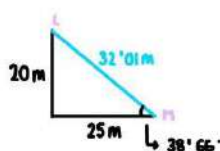
PUNTS K I L $\rightarrow h = 30\text{ m}$ $E_{mL} = E_{pL} = 600 \cdot 9'81 \cdot 30 = 176.580\text{ J}$
 $d_{K-L} = 4\text{ m}$



Imatge 86. Càlculs respecte als punts K i L. Imatge pròpia.

A continuació, tenim la primera baixada d'aquest tram, en la que arribem al punt M amb una gran velocitat.

PUNT M $\rightarrow h_M = 10\text{ m}$ $E_{mM} = 176.580 - 600 \cdot 9'81 \cdot \cos(38'66') \cdot 0'57 \cdot 32'01 = 92.719'45\text{ J}$

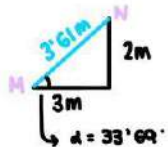


$$v_M = \sqrt{\frac{(92.719'45 - 600 \cdot 9'81 \cdot 10) \cdot 2}{600}} = 10'62\text{ m/s} = 38'25\text{ km/h}$$

Imatge 87. Càlculs respecte al punt M. Imatge pròpia.

Aprofitant aquesta velocitat, després tenim una petita pujada, de 2 metres, fins al punt N, seguida d'una zona en línia recta de 3 metres fins al punt O. En aquesta última part veiem com es redueix considerablement la velocitat, ja que l'altura no varia.

PUNT N $\rightarrow h_N = 12\text{ m}$



$$E_{MN} = 92.719'45 - 600 \cdot 9'81 \cdot \cos(33'69) \cdot 0'57 \cdot 3'61 = 82.641'96\text{ J}$$

$$v_N = \sqrt{\frac{(82.641'96 - 600 \cdot 9'81 \cdot 12) \cdot 2}{600}} = 6'33\text{ m/s} = 22'78\text{ km/h}$$

Imatge 88. Càlculs respecte al punt N. Imatge pròpia.

PUNT O $\rightarrow h_O = 12\text{ m}$
 $d_{N-O} = 3\text{ m}$

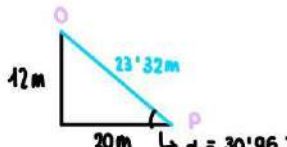
$$E_{MO} = 82.641'96 - 600 \cdot 9'81 \cdot 0'57 \cdot 3 = 72.576'9\text{ J}$$

$$v_O = \sqrt{\frac{(72.576'9 - 600 \cdot 9'81 \cdot 12) \cdot 2}{600}} = 2'54\text{ m/s} = 9'17\text{ km/h}$$

Imatge 89. Càlculs respecte al punt O. Imatge pròpia.

Per acabar, el tren baixa per inèrcia a l'últim punt d'aquest tram, el punt P, que es troba al nivell del terra. En aquest moment, l'energia potencial és nul·la, i per tant podem observar com la velocitat (i, en conseqüència, l'energia cinètica) creix.

PUNT P $\rightarrow h_P = 0\text{ m}$



$$E_{MP} = 72.576'9 - 600 \cdot 9'81 \cdot 0'57 \cdot \cos(30'46) \cdot 23'32 = 5.484'82\text{ J}$$

$$v_P = \sqrt{\frac{5484'82 \cdot 2}{600}} = 4'27\text{ m/s} = 15'39\text{ km/h}$$

Imatge 90. Càlculs respecte al punt P. Imatge pròpia.

A partir d'aquest últim punt, i fins a tornar a arribar-hi al començament (punt A), el tren serà portat per una cadena. A més, en una sala anterior a la inicial, els passatgers veuran un segon vídeo de l'emperador xinès, en aquest cas felicitant-los per haver aconseguit la perla del drac.

7.4. Aspectes tècnics

7.4.1. Material i sistema de frenada de la muntanya russa

Tenint en compte la naturalesa de la muntanya russa, i les característiques de cada un dels materials que s'han vist amb anterioritat, l'acer serà el material escollit per fer l'estructura. És el més utilitzat en l'actualitat, i, encara que pot resultar una mica més car que el sistema tradicional, és a dir, la fusta, proporciona un resultat final més fluid i modern.

A més, com a sistema de frenada farem servir els frens d'aleta, ja que és el sistema més usat actualment, i un dels més precisos. Per tant, haurem d'implementar una peça de metall als trens, perquè pugui fer fricció amb la via.

7.4.2. Capacitat i trens de la muntanya russa

En tractar-se d'una muntanya russa bastant breu, implementarem al recorregut només dos trens simultanis, com fa, per exemple, el *Tomahawk*. Aquests trens estaran formats per dos vagons, que, al seu torn, tenen quatre fileres cadascun amb una capacitat per a dues persones. D'aquesta manera, a cada vagó caben 8 persones, i a cada tren, 16.

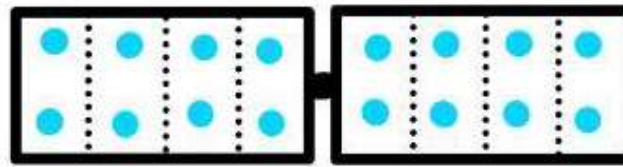
Encara que hi ha muntanyes russes que són capaces de portar a molta més gent, al tractar-se d'una atracció on se li dona importància principalment al storytelling i no tant a les emocions fortes, un aforament més reduït aporta aquesta sensació d'aventura i protagonisme al viatger.

Per a poder aconseguir una mesura aproximada de les dimensions dels trens, considerarem que cada fila ha de tenir uns 80 centímetres d'amplada, per assegurar la comoditat dels passatgers, i, a més, sumem uns 20 centímetres per a altres elements com seguretat, decoracions i els respallers dels seients. Per tant, ens quedarien uns vagons de 3,5 metres de llargada, i de 80 centímetres d'altura.

Addicionalment, aquests trens hauran d'estar decorats amb l'estètica de vells vaixells de l'antic imperi xinès, sumant així més credibilitat a la història que s'explica.

Com a mesura de seguretat, cada fila dels vagons tindrà una barra que subjecti als dos passatgers contra els seients, tal com s'utilitza, per exemple, a *El diable - Tren de la mina*. La nostra muntanya russa no arriba a grans velocitats, ni té inversions ni angles molt pronunciats, per tant, no es necessitaran altres cinturons o arnesos més complets.

Al dibuix a continuació podem observar un petit esquema de com seria un tren de la muntanya russa. Diferenciem els dos vagons que el formen, les quatre files de cadascun, separades amb línies de punts, i els llocs que ocuparia cada passatger, marcat amb un punt blau.



Imatge 91. Esquema dels trens de la muntanya russa. *Imatge pròpia.*

7.4.3. Estudi de les estructures de les muntanyes russes

Per tal de poder elaborar el nostre disseny 3D, primer hem de tenir clar on situar els suports de la nostra muntanya russa. Per poder esbrinar on situar-los, estudiarem les estructures de les muntanyes russes ja existents, i arribarem a una conclusió sobre cada quant i on se situen els pilars i els diferents suports.

La col·locació dels pilars al llarg de l'estructura d'una muntanya russa depèn de molts factors. Primerament tenim el material de construcció. Si parlem d'una muntanya russa de fusta, un material poc resistent, haurem de col·locar bastants suports, i molt més junts. En canvi, si treballem amb acer, el que és el nostre cas, els pilars poden estar més separats, ja que es tracta d'un material més resistent.

Aquest fet el podem observar en la diferència entre l'estructura del *Shambhala* (muntanya russa d'acer) i la *Stampida* (muntanya russa de fusta). Mentre que el *Shambhala* compta amb pilars distanciats (aproximadament entre uns 5 o 15 metres), la *Stampida* té una estructura més complexa, amb creus de Sant Andreu que proporcionen més resistència a la muntanya russa i pilars cada 3 o 5 metres.



Imatge 92. Estructura de la Stampida. *Imatge extreta de <https://www.pa-community.com/parques/port-aventura/atracciones/stampida>*



Imatge 93. Pilars del Shambhala. *Imatge extreta de <https://www.lavanguardia.com/ocio/20120512/54292205440/shambhala-port-aventura-montana-rusa-alta-europa.html>*

Addicionalment, la col·locació d'aquests pilars també depèn dels elements estructurals de la muntanya russa. En trams rectes i sense grans caigudes o moviments, els pilars es poden distanciar més els uns dels altres. En canvi, en loopings o caigudes pronunciades la distància entre ells ha de ser menor, ja que han de suportar més forces.

A més, també existeixen altres tipus de reforços que complementen als pilars. Per una banda, tenim els travessers, que són barres horitzontals que normalment van d'un pilar principal a un altre.

Per una altra banda, també hi ha creus de Sant Andreu, com hem mencionat amb anterioritat. Aquestes són dues barres que es creuen formant una X en una zona quadrada, i són utilitzades majoritàriament per protegir l'estructura de les forces laterals, com per exemple el vent.

Finalment, tenim els pilars en forma de V o Y. Aquest tipus de pilar ens proporciona més estabilitat i resistència, ja que les forces que ha de suportar l'estructura es divideixen entre els dos punts de suport.

Normalment, els podem trobar en corbes pronunciades, en trams elevats o zones que pateixen molta tensió, però també són un recurs recurrent en zones on no es vol interferir amb una altra part de la mateixa muntanya russa o altres estructures. Podem trobar aquesta mena de pilars en el *Dragon Khan*.

7.4.4. Estructura de la nostra muntanya russa

A partir de la informació obtinguda en l'últim apartat, hem de dissenyar l'estructura de la nostra muntanya russa, *Kinabalu*. És a dir, hem de situar els diferents pilars i reforços estructurals al llarg de tot el recorregut, per tal de fer l'estructura viable i resistent.

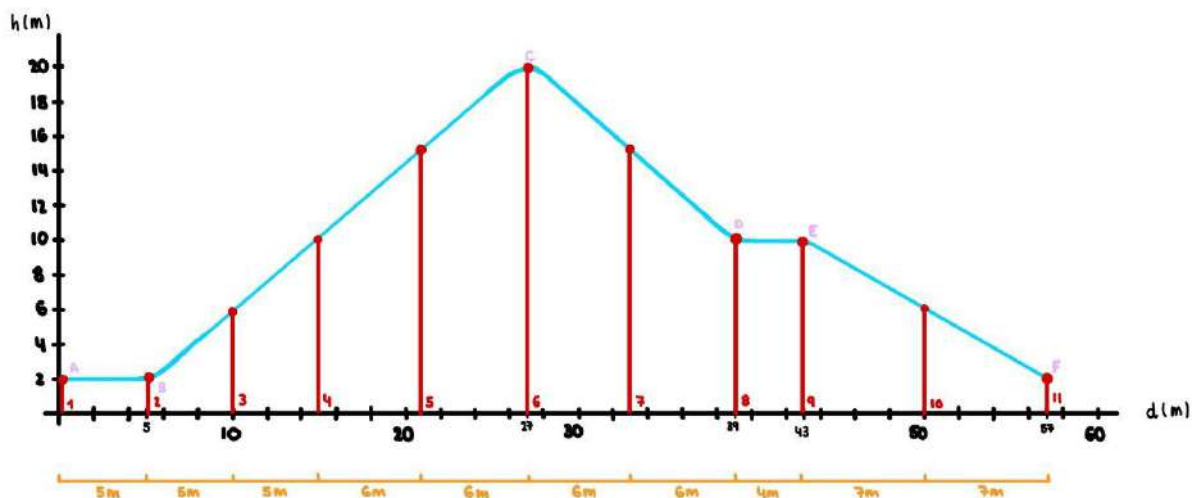
Com es tracta d'una muntanya russa feta d'acer, seguirem l'exemple de muntanyes russes com el *Dragon Khan*, encara que *Kinabalu* compta amb menys intensitat que aquesta. Per tant, busquem situar els pilars cada uns 5 o 10 metres aproximadament, i escurçarem la distància en zones on l'estructura pateixi més esforços. A més, també reforçarem amb pilars els punts claus de la muntanya russa, com la zona d'altura màxima.

Utilitzarem uns pilars en una mena de forma de Y invertida, és a dir, primer tindrem una zona vertical, i després el pilar es dividirà en dos, el que ens donarà més suport. Com a exemple d'una estructura similar, tenim la muntanya russa *Superman* del Parc Warner de Madrid. A la fotografia, podem observar com el pilar, que primer baixa uns metres en vertical, més tard es divideix.



Imatge 94. Exemple de pilars en forma de Y a la muntanya russa *Superman* del Parc Warner de Madrid. *Imatge extreta de https://www.freizeitpark-welt.de/freizeitparks/wbmwm/mwm_start.php?attractionid=c37*

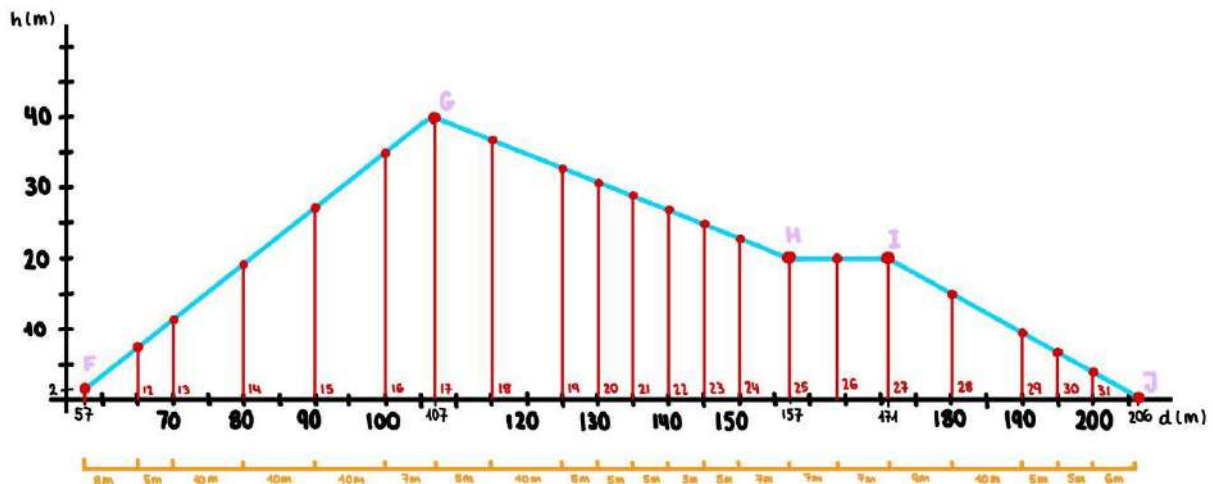
A continuació, s'adjunta la fotografia del perfil del tram 1 de la nostra muntanya russa, però, aquesta vegada, es mostren els llocs on se situaran els diferents pilars, marcats en vermell i numerats. Addicionalment, en la zona inferior, trobem, en groc, la distància que hi ha entre cada un d'ells.



Imatge 95. Pilars situats al perfil del tram 1 de la muntanya russa. *Imatge pròpia.*

Podem observar que els pilars es mantenen més o menys a una distància equitativa, que varia entre els 4 i 7 metres. Hem intentat, a més de repartir-los de forma igualitària, que els punts claus, com per exemple el C, rebessin un suport extra d'un pilar. Per això trobem un suport en tots els punts de l'A al F.

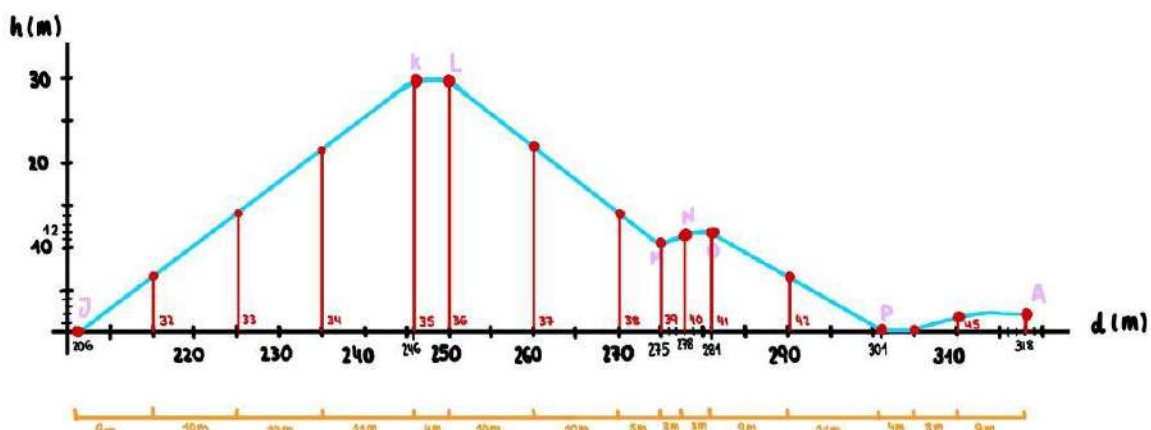
Seguidament, seguint el mateix procediment amb el tram 2, situem els pilars on ens sembli més adient. En aquest cas, la trajectòria no és en línia recta, com en el primer tram, així que també haurem de tenir en compte que hem de reforçar les corbes que fa amb pilars extra.



Imatge 96. Pilars situats al perfil del tram 2 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

Com podem observar, en aquest tram la distància entre els pilars puja una mica, encara que continua en un interval d'uns 5 a 10 metres. Veiem com del punt G al punt H (aproximadament dels pilars 19 al 24) la distància entre suports baixa als 5 metres, ja que aquella és la zona on se situa la corba tancada d'aquest tram, i per tant es necessita un suport superior.

Finalment, tenim el tram 3, que torna al punt A, on es troba el pilar 1.



Imatge 97. Pilars situats al perfil del tram 3 de la muntanya russa. Imatge pròpia.

En aquest últim cas, els pilars estan més separats que l'anterior, ja que és una trajectòria amb corbes més lleus. La distància aproximada en aquest cas va des dels 11 metres fins als 3

metres. A més, es repeteix el fet de situar suports en els punts més importants del recorregut d'aquest tram.

En acabar, tenim aproximadament uns 45 pilars que suporten l'estructura, encara que a l'hora de calcular els esforços més específicament i portar la construcció a la realitat aquest nombre pot variar.

7.5. Càlcul de l'estructura

7.5.1. Càlcul de la biga

Per començar amb el càlcul de l'estructura, calcularem les dimensions que haurà de tenir la biga que se situa a sota de les vies.

Primerament, calcularem el pes que cau sobre aquestes bigues, sumant les forces creades per cada element. Aquesta càrrega vindrà donada en N/m, ja que és un pes uniformement repartit al llarg de la biga.

Per a cada passatger, que en aquest cas en tenim 16, hem aproximat a un pes de 75 quilograms per persona. A més, sumem les forces creades pels vagons, que en tenim dos, i pel conjunt de rodes i politges que el fan funcionar. Finalment, afegim la suma dels pesos dels rails, que considerem que són de perfil T de 100 mm, i el pes de la mateixa biga, que en aquest cas utilitzarem la màxima, de perfil buit quadrat de 170x8 de gruix (pesos que hem consultat al promptuari).

El càlcul de l'esforç a cada zona també dependrà de la distància entre els pilars que col·loquem. En aquest cas, com tenim des de 3 a 11 metres (tal com hem dissenyat a l'apartat 7.4.4), haurem de calcular el pes per a cada un d'aquests casos.

A continuació es mostra la taula on s'especifica la força que crearà cada element sobre la biga.

CÀLCUL DE LA FORÇA A QUÈ ESTÀ SOTMESA LA BIGA					
Element	Tipus de càrrega	Quantitat	Massa	Distància entre pilars (m)	Força (N/m)
Passatgers	Vertical	16	75 kg	3	3.924,00
				4	2.943,00
				5	2.354,40
				6	1.962,00
				7	1.681,71
				8	1.471,50
				9	1.308,00
				10	1.177,20
				11	1.070,18
Vagons	Vertical	2	525 kg	3	3.433,50
				4	2.575,13
				5	2.060,10
				6	1.716,75
				7	1.471,50
				8	1.287,56
				9	1.144,50
				10	1.030,05
				11	936,41
Conjunt politges i rodes	Vertical	1	143 kg	3	467,61
				4	350,71
				5	280,57
				6	233,81
				7	200,40
				8	175,35
				9	155,87
				10	140,28
				11	127,53
Rails i travessers	Vertical	-	16,4 kg/m	-	160,88
Biga	Vertical	-	39 kg/m	-	382,59

Una vegada que tenim tots els elements per separat, els sumem, aplicant al final un coeficient de seguretat d'un deu per cent. La càrrega total suportada per la biga serà el valor situat a la columna dreta.

Distància entre bigues (m)	Suma de forces (N/m)	Coeficient de seguretat	Càrrega total (N/m)
3	8.368,58	10%	9.205,44
4	6.412,31	10%	7.053,54
5	5.238,54	10%	5.762,39
6	4.456,03	10%	4.901,63
7	3.897,09	10%	4.286,80
8	3.477,89	10%	3.825,67
9	3.151,84	10%	3.467,02
10	2.891,00	10%	3.180,10
11	2.677,59	10%	2.945,35

Tot seguit, haurem de calcular el moment flector màxim que suportarà la nostra biga. En tenir la càrrega uniformement repartida al llarg de la biga, aquest esdevé justament al mig d'aquesta. Utilitzarem la fórmula següent:

$$M_{m\grave{a}x} = \frac{qL^2}{8}$$

on q és la càrrega que tenim uniformement repartida i L, la distància que té la biga.

q (N/m)	L (m)	Moment flector màxim (Nm)
9.205,44	3	10.356,12
7.053,54	4	14.107,07
5.762,39	5	18.007,48
4.901,63	6	22.057,32
4.286,80	7	26.256,63
3.825,67	8	30.605,40
3.467,02	9	35.103,62

3.180,10	10	39.751,29
2.945,35	11	44.548,42

Després, calculem el moment resistent que ha de tenir la nostra biga per a poder arribar a suportar aquest moment flector màxim. Utilitzarem la fórmula següent, però aïllant la nostra incògnita, la W_x :

$$\sigma_f = \frac{M}{W_x} \rightarrow W_x = \frac{M_{\max}}{\sigma}$$

imatge 98. Fórmula de la tensió normal. *imatge extreta de <https://ingemecanica.com/tutoriales/calculo-del-momento-resistente.html>.*

on σ és el mòdul elàstic del material que utilitzem, M és el moment flector i W_x és el moment resistent.

En el nostre cas, el material utilitzat és l'acer, que té un mòdul elàstic de 470 N/mm². Tot i això, no treballarem amb aquest límit elàstic, sinó que li aplicarem un coeficient de seguretat d'1,5, el que ens dona 313,33 N/mm².

L (m)	M _{màx} (Nmm)	σ (N/mm ²)	W _x (mm ³)	W _x (cm ³)
3	10.356.122,70	313,33	33.051,81	33,05
4	14.107.074,30	313,33	45.023,06	45,02
5	18.007.481,25	313,33	57.471,30	57,47
6	22.057.323,75	313,33	70.396,46	70,40
7	26.256.634,25	313,33	83.798,66	83,80
8	30.605.399,00	313,33	97.677,84	97,68
9	35.103.618,00	313,33	112.034,02	112,03
10	39.751.291,25	313,33	126.867,17	126,87
11	44.548.418,75	313,33	142.177,32	142,18

Finalment, anem al promptuari per poder veure quina de les opcions compleix amb les nostres especificacions. Com tenim diversos valors de moment resistent, agafarem el més gran, ja que és el que podrà aguantar els esforços a totes les zones i així simplifiquem la nostra estructura, perquè si no hauríem d'anar variant de biga al llarg de la muntanya russa.

Observem que la que compleix amb el nostre moment resistent és la de perfil 160.5, i a continuació tenim les seves especificacions:

Perfil	Dimensiones				Términos de sección						Peso
	a mm	e mm	r mm	u mm	A cm ²	S cm ³	I cm ⁴	W cm ³	i cm	I _t cm ⁴	p kp/m
# 160.5	160	5	13	619	30,10	86,90	1.190,00	149,00	6,28	1.901,0	23,70

imatge 99. Característiques de la nostra biga. *imatge extreta de*
<https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html#cuadrados>

7.5.2. Càlcul dels pilars

Una vegada calculada la biga que utilitzarem, ja podem calcular els pilars necessaris per poder aguantar la nostra muntanya russa.

A la nostra atracció farem servir, com hem mencionat amb anterioritat, pilars amb dos punts de suport, fent una mena de V invertida i formant un angle de trenta graus. Al dibuix de la dreta (no està en escala) podem observar la forma que tindran.

Primer de tot, hem de tenir en compte un nou factor que han de suportar, la força del vent. Per assegurar la seguretat de la muntanya russa i els passatgers, si tenim un vent de més de 50 km/h, l'atracció es tanca. Per tant, prendrem aquest valor per a calcular la força màxima que pot provocar a la muntanya russa.



imatge 100. Dibuix de l'estructura.
imatge pròpia.

A més, necessitem saber la superfície en la que actua aquest vent. Per això, tindrem en compte la biga i el tren de la muntanya russa. La biga té 0,16 m d'altura i la seva llargada dependrà de la zona. En aquest cas agafarem la més llarga, és a dir, la d'11 metres, i la que haurà de suportar un major esforç. Pel que fa al tren, cada vagó té unes dimensions de 3,5 metres de llargada per 1,25 metres d'altura. Per tant, la superfície en la que actua el vent serà d'uns 10,51 metres quadrats.

Amb aquestes consideracions, la força màxima que ens surt serà de 1.307,67 N. Aquesta força la comptarem per a un dels dos suports del pilar, i en estar aplicada en horitzontal, l'haurem de descompondre, tenint en compte l'angle de 15 graus. Addicionalment, aplicarem el coeficient de seguretat corresponent. En aquest cas, en tractar-se de pilars metàl·lics, serà el 10%.

CÀLCUL FORÇA DEL VENT						
Element	Tipus de càrrega	Velocitat màxima	Força màxima horitzontal (N)	Força màxima descomposta (N)	Coeficient de seguretat	Força màxima final (N)
Vent	Horitzontal	50 km/h	1.307,67	338,45	10%	372,29

Si observem la forma del nostre pilar, el podem separar en dues seccions diferents: la part totalment vertical, d'aproximadament dos metres, i la part on es divideix en dues branques. A la primera, tenim tot el pes en el mateix eix, mentre que a la segona, es divideix entre les dues bifurcacions.

7.5.2.1. Part vertical

Per una banda, calculem la zona inicial, la que ha de suportar tot el pes. Per això, sumarem la força que pateix per part de la biga i els diferents elements i la força del vent. Per tal de generalitzar per a tota l'estructura, utilitzarem la força que s'ha de suportar quan els pilars estan a una distància d'11 metres, que és el màxim que tindrem.

A continuació, tenim la taula on es realitza el càlcul de la força total:

Distància entre pilars (m)	Força repartida (N/m)	Força puntual (N)	Força total que ha de suportar (N)
11	2.945,35	32.398,85	32.771,14

Seguidament, utilitzarem la fórmula següent, aïllant la nostra incògnita, és a dir, la superfície:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \rightarrow \quad S = \frac{F}{\sigma}$$

on σ és l'esforç normal, F, la força que ha de suportar el pilar, i S, la superfície del pilar.

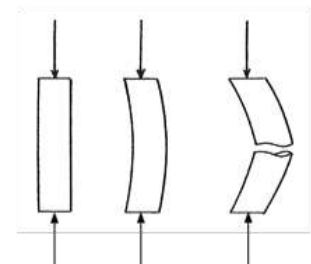
Força (N)	σ (N/cm ²)	Superfície (cm ²)
32.771,14	31.333	1,05

Per tant, obtenim que el nostre pilar ha de tenir una superfície d'1,05 centímetres quadrats.

Segons el promptuari, amb aquesta superfície es pot posar un pilar de 213 mm de diàmetre i 2,3 mm de gruix.

Una vegada tenim aquest resultat, hem de comprobar si els nostres pilars suporten el vinclament.

El vinclament és quan es produeix una corba o flexió a la meitat d'un element estructural prim que està sotmès a compressió. Això pot provocar inestabilitat en l'estructura i el trencament de l'element.



Imatge 101. Dibuix que mostra el vinclament d'una barra. Imatge extreta de <https://www.linkedin.com/pulse/la-rupture-par-flambage-et-compression-cisaillement-bou-hadjar>.

La força crítica del vinclament, és a dir, la força màxima que pot suportar un element, es calcula amb la fórmula següent:

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot \sigma \cdot I}{L^2}$$

on σ és l'esforç normal, L, la llargada del pilar, i I, la inèrcia de secció. Per una altra banda, obtenim I del promptuari. Si l'haguéssim de calcular, tindria la fórmula següent:

$$I = m \cdot r^2$$

on r és el radi del pilar, en metres, i m la massa del pilar en Kg.

Amb aquesta informació, al promptuari de *Protubsa* de perfils de secció circular foradada trobem les següents dades i calculem la força crítica que suporta el pilar:

Superfície (cm²)	Diàmetre (cm)	Gruix del pilar (mm)	I (cm⁴)	Força crítica (N)
1,05	21,30	2,3	0,6286	48.597,97

Llavors, podem observar que la força crítica del nostre pilar, la màxima que pot suportar, és major que la que ha de suportar, que són 32.771,14 N. Llavors el nostre pilar no trenca per vinclament i la superfície està ben calculada.

7.5.2.2. Part dividida

Per l'altra banda, hem de calcular la força que suportarà cada eix del pilar a partir de la divisió. En aquest cas, primer dividirem el pes entre 2, i després el descompondrem, multiplicant el resultat pel cosinus de 15 graus, per tenir l'esforç que suportarà cada costat.

Una vegada calculada aquesta força, li sumarem la que provoca el vent, i tindrem la total que ha de suportar cada pilar.

Distància entre pilars (m)	Força repartida (N/m)	Força puntual (N)	Força descomposada (N)	Força total que suportarà cada suport del pilar (N)
11	2.945,35	32.398,85	15.647,44	16.019,74

Seguidament, utilitzarem la mateixa fórmula que anteriorment, per a arribar a tenir la secció del nostre pilar.

Força (N)	σ (N/cm²)	Superfície (cm²)
16.019,74	31.333	0,51

Una vegada tenim aquest resultat, hem de comprovar si els nostres pilars suporten el vinclament, igual que hem fet abans, calculant primer la força crítica:

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot \sigma \cdot I}{L^2}$$

on σ és l'esforç normal, L , la llargada del pilar, i I , la inèrcia de secció. En aquest cas utilitzarem la llargada del pilar més gran que tindrem, que arribarà als 38 metres d'altura (hem de tenir en compte els dos metres que els pilars van totalment en vertical). Però no estan completament en vertical, sinó que hem de tenir en compte l'angle de 15 graus, i, per tant, la llargada del pilar serà de 39,34 metres.

Per una altra banda, obtenim I del promptuari, igual que hem fet abans.

Amb aquesta informació, al promptuari de *Protubsa* de perfils de secció circular foradada trobem les següents dades (el menor pilar que fabriquen és el que ens teníem en la part vertical del pilar) i calculem la força crítica que suporta el pilar:

Superfície (cm ²)	Diàmetre (cm)	Gruix del pilar (mm)	I (cm ⁴)	Força crítica (N)
0,51	21,30	2,3	0,6286	1.547,64

Llavors, podem observar que la força crítica del nostre pilar, la màxima que pot suportar, és menor a la que ha de suportar, que són 16.019,74 N. Llavors tornem a calcular, aquesta vegada tenint en compte que aguantí la força de la muntanya russa i el vinclament alhora.

$$16.019,74 = \frac{\pi^2 \cdot 31.333 \cdot 10^4 \cdot I}{39,34^2}$$

A partir d'aïllar la I , ens dona que té un valor de 0,00801715 m⁴, és a dir, 801.715,6 cm⁴. Ara anem al promptuari a veure quin perfil té aquesta inèrcia, i el fabricant que té els perfils més grans no fabrica perfils com els que necessitaríem.

Per poder anar a un perfil comercial, es proposa una solució constructiva perquè els pilars suportin el vinclament, que és fer un reforç intermedi. Aquesta solució constructiva és la que s'ha pres també a l'atracció del *Shambhala*, i consisteix a fer un reforç dividint el pilar en dos i triangulant l'estructura. El vinclament ara es calcularà en dues



Imatge 102. Solució estructural que aplicarem als nostres pilars, també utilitzats al Shambhala, com es mostra en la imatge. Imatge extreta de <https://www.campingsentarragona.com/2012/02/nueva-atraccion-portaventura-shambhala.html>

parts, dividirem la distància en un màxim de 21 metres (dividim els 39,34 en dos).

Per tant, tornem a aplicar la fórmula de la força crítica.

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot \sigma \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 31.333 \cdot 10^4 \cdot I}{21^2} = 4.407,96 \text{ N}$$

Com podem veure, la força crítica continua sent molt menor a la que ha de suportar. Per tant, tornem a aïllar la I de la fórmula.

$$16.019,74 = \frac{\pi^2 \cdot 31.333 \cdot 10^4 \cdot I}{21^2}$$

Ens dona que ha de tenir un valor de $0,00228 \text{ m}^4$, és a dir, $222.450,61 \text{ cm}^4$. Com abans, anem al promptuari i encara veiem que no hi ha un perfil que respongui a aquestes necessitats.

Per tant, ara farem el càlcul al revés, és a dir, agafarem el perfil màxim del promptuari, que és el de diàmetre 406,4 mm i 14 mm de gruix i aïllarem la distància del pilar. Així sabrem a quina distància han d'estar els reforços:

$$16.019,74 = \frac{\pi^2 \cdot 31.333 \cdot 10^4 \cdot 33.260 \cdot 10^{-8}}{L^2}$$

$$L = 8,01 \text{ m}$$

Per tant, els reforços s'hauran de col·locar cada 8,01 metres perquè els pilars aguantin la força a què estan sotmesos, i no es trenquin per vinclament. Per tal de generalitzar la nostra estructura, i fer-ho tot igual, aquesta serà la mesura que utilitzarem en tots els nostres pilars.

Al nostre pilar amb l'altura màxima, el de 39,34 metres, col·locarem 5 reforços, un cada vuit metres. En canvi, si tenim una altura de 20 metres, posarem dos reforços, i, en els trams més baixos, de dos metres d'alçada, no haurem de posar cap.

Així doncs, en finalitzar els càlculs dels nostres pilars, obtenim que a la zona vertical, de dos metres, hem d'utilitzar un de 213 mm de diàmetre i 2,3 mm de gruix; en canvi, a la zona dividida, tindrem uns de diàmetre 406,4 mm i 14 mm de gruix, amb reforços horitzontals cada 8,01 metres.

7.6. Disseny 3D

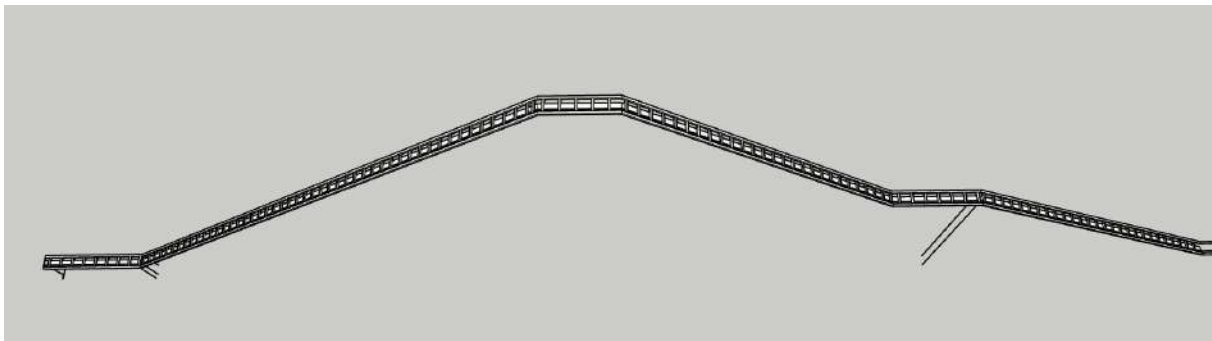
Per a il·lustrar la nostra muntanya russa i poder arribar a un prototip de com seria el disseny en la vida real, realitzarem un disseny 3D a ordinador del recorregut a escala.

A més, també s'utilitzaran aquests programes per a dissenyar altres parts claus de la maqueta, com poden ser els cartells o la caseta.

7.6.1. Disseny 3D de la muntanya russa

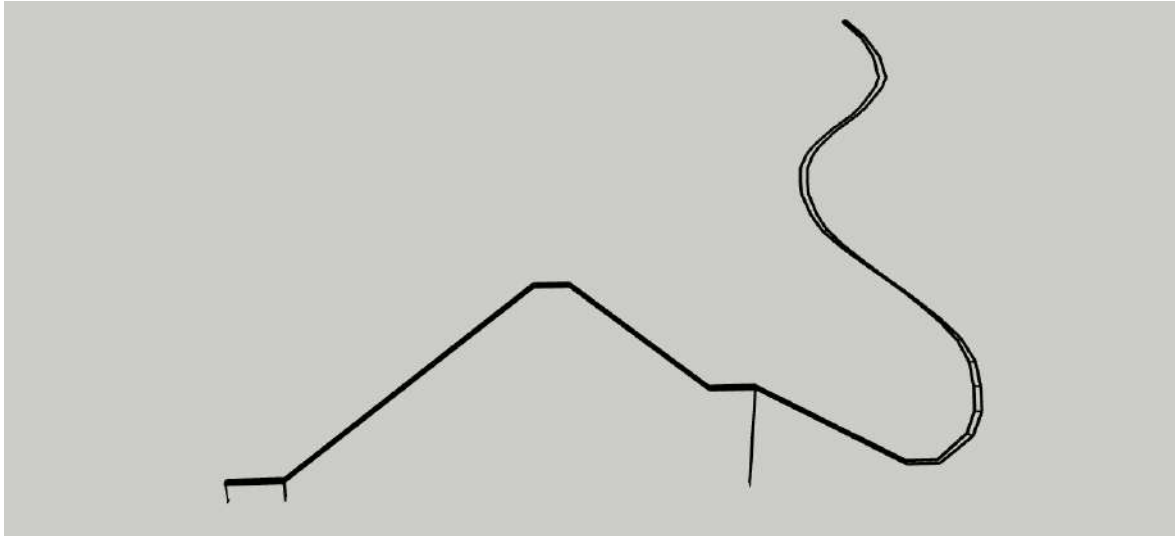
Per a poder representar la muntanya russa en 3D, es va començar per utilitzar el programa SketchUp. Aquest programa permet fer de forma ràpida figures senzilles i poder representar-les en 3D. Per a poder dissenyar-la, es van simplificar les travesses i els rails, i els vam representar amb quadrats i rectangles, en comptes de les seves formes originals.

Es va realitzar el disseny 3D del primer tram, però el problema va arribar en el segon i tercer. La primera part, en ser completament recta, és considerablement senzilla, i, per tant, fàcil de realitzar amb l'aplicació SketchUp. Tot i això, es van haver de realitzar dues versions d'aquest primer tram, per un problema mil·limètric en les mesures que va provocar que s'hagués de reiniciar el disseny des del principi.



Imatge 103. Primer tram de la muntanya russa en 3D, dissenyat amb SketchUp. *Imatge pròpia.*

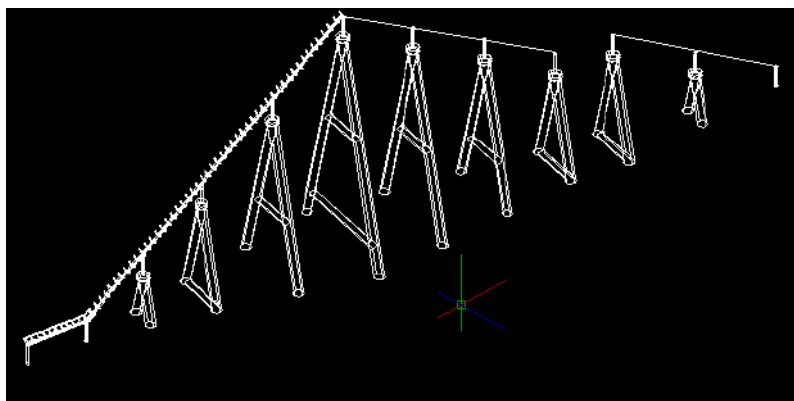
Els problemes venien una vegada començat el segon tram, on s'inicien les corbes. En ser un programa bastant senzill, no et permet dissenyar estructures massa complexes, i sol tenir bastants errades, i, quan els rails començaven a pujar a la vegada que giraven, es desfiguraven i perdien la seva forma, fent impossible la implementació de les travesses, i per tant el disseny en si.



Imatge 104. Disseny del primer tram i el començament del segon en l'SketchUp. Es pot observar com es deformen les vies a la pujada, el que va impossibilitar la realització del disseny final amb aquest programa. *Imatge pròpia.*

Per aquest motiu es va fer un canvi de programa, i es va començar a realitzar el disseny en AutoCAD. Es va realitzar un model de travessa i de pilar per a la realització de la maqueta, amb tot de detalls, i es van aprofitar aquests per construir el disseny 3D.

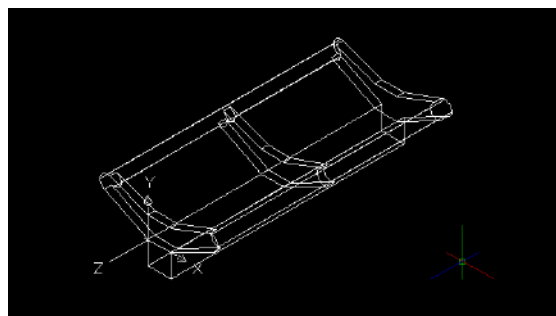
Primerament, es va voler fer la construcció des de diferents alçades, però el fet de canviar de plans contínuament portava que, tot i poder portar a terme el treball, requerís moltes hores per poder-ho realitzar.



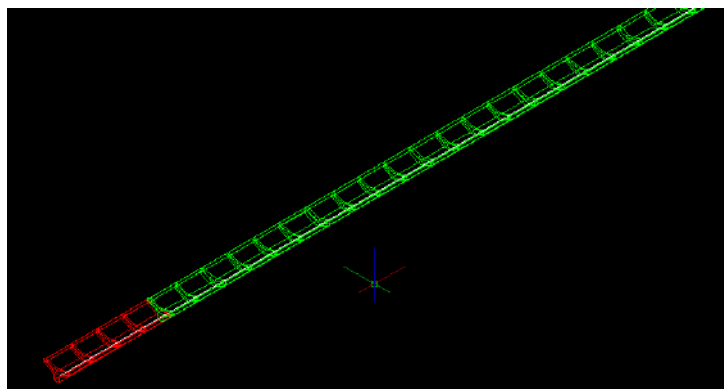
Imatge 105. Primer disseny realitzat amb AutoCAD, que després es va descartar pel treball que comportava el canvi de perspectiva constant. *Imatge pròpia.*

Per aquest motiu es va canviar la perspectiva de la construcció, i es va començar a dibuixar des de la planta. Per a això s'han hagut de calcular les distàncies reals dels diferents trams, i després els angles d'inclinació per tal de poder fer els girs. No ha estat fàcil el disseny, donat que la part de les corbes igualment s'havia d'anar construint a poc a poc, i això ha dificultat la feina havent d'invertir-hi moltes hores.

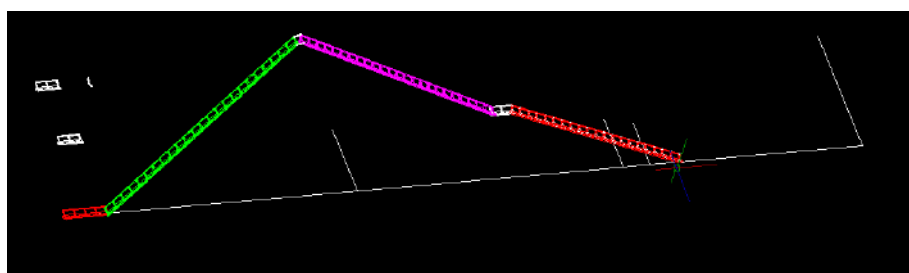
En les següents imatges es pot apreciar el procés per a la realització del disseny final. Primer es va haver de dissenyar la travessa, que va entre els dos raïls. A partir d'aquí, es va fer el disseny de la via en planta, i, a continuació, es va anar aixecant tenint en compte l'angle d'inclinació de la pujada.



Imatge 106. Disseny de la travessa en AutoCAD. Imatge pròpia.



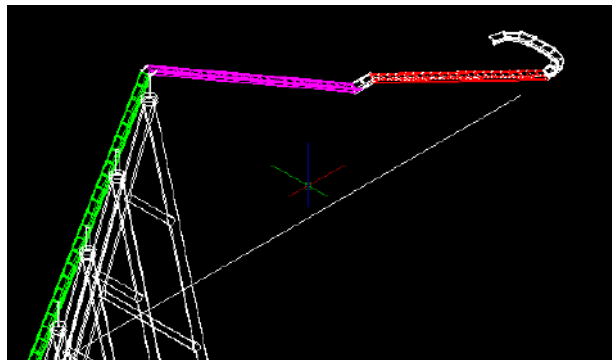
Imatge 107. Disseny de la via en planta en AutoCAD. Imatge pròpia.



Imatge 108. Aixecament de la via segons la inclinació de la pujada o baixada. Imatge pròpia.

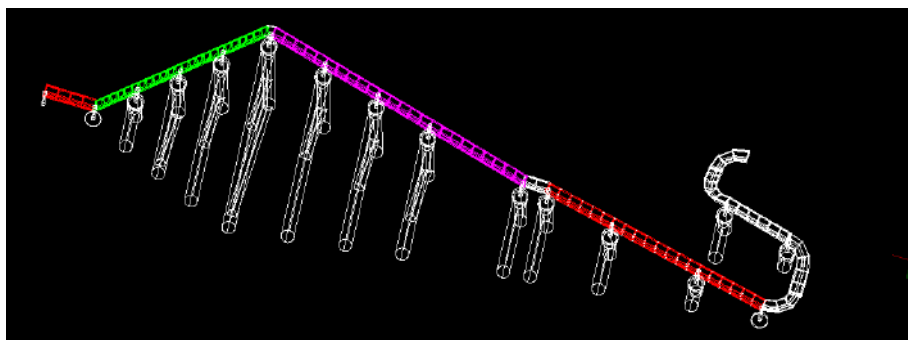
Seguidament, es van haver de col·locar els pilars, prèviament dissenyats, al llarg del recorregut. Com anteriorment, al càlcul, havíem simplificat i els havíem fet tots iguals, va ser més senzill, només havent de tenir en compte l'altura de cada zona i la col·locació de la biga central cada 8 metres.

A més, ara havíem de dissenyar la part que ens havia fallat en l'SketchUp, les corbes. En ser un programa que et permet fer coses més complexes, vam poder crear les corbes, tenint en compte els angles de gir, i, a la fotografia següent, es pot veure la realització de la primera en planta.

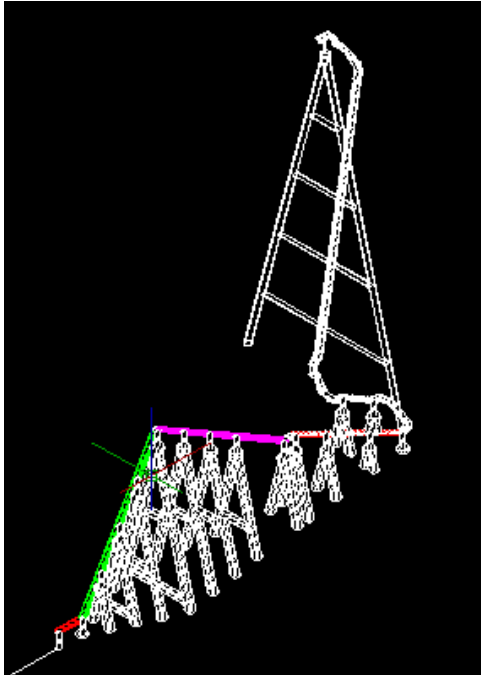


Imatge 109. Col·locació dels pilars i realització de la primera corba en planta. *Imatge pròpia.*

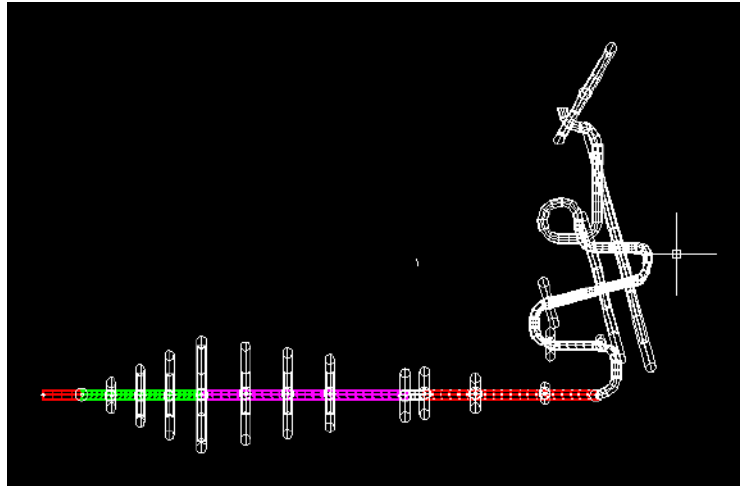
Posteriorment, vam realitzar la pujada de la primera corba realitzada fins a l'altura que havia d'assolir, obtenint un resultat satisfactori, i, seguidament, es va fer la baixada. Aquesta comportava una dificultat afegida, que era el fet que comptava amb un gir total, que a més, passava per sota de les vies anteriors.



Imatge 110. Realització de la primera corba en pujada. *Imatge pròpia.*

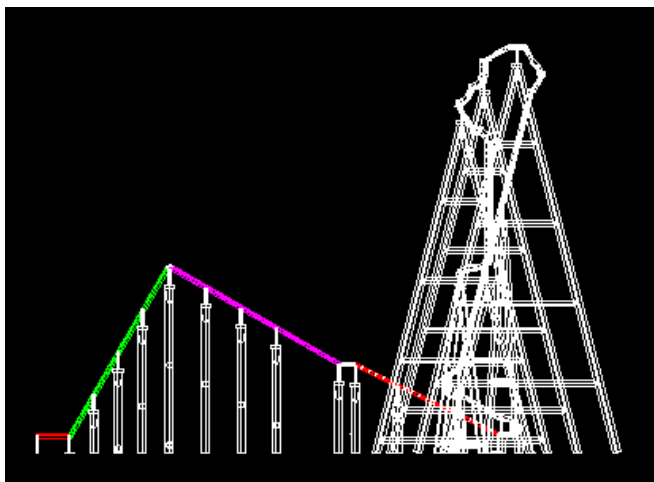


imatge 111. Realització de les corbes fins a la cota més elevada, els 40 metres d'altura. *imatge pròpia.*

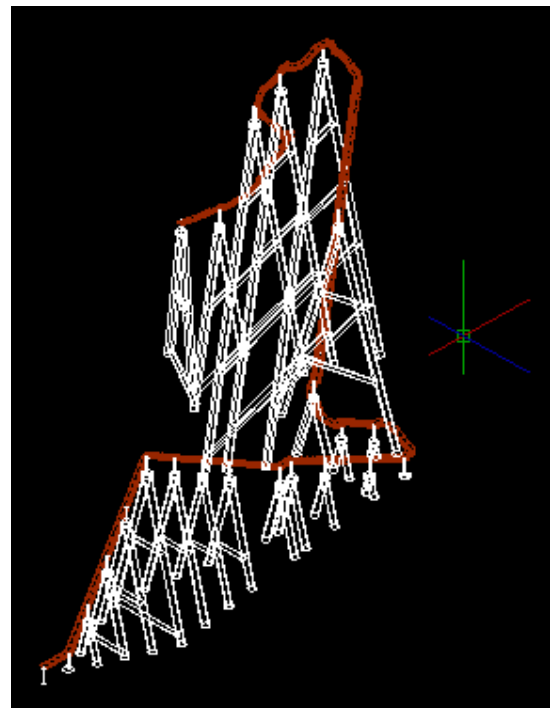


imatge 112. Disseny de la baixada del segon tram. *imatge pròpia.*

En aquest moment, ja portàvem la meitat del nostre disseny. A continuació, es pot observar la nostra muntanya russa des de diferents perspectives, en l'alçat i en perspectiva.

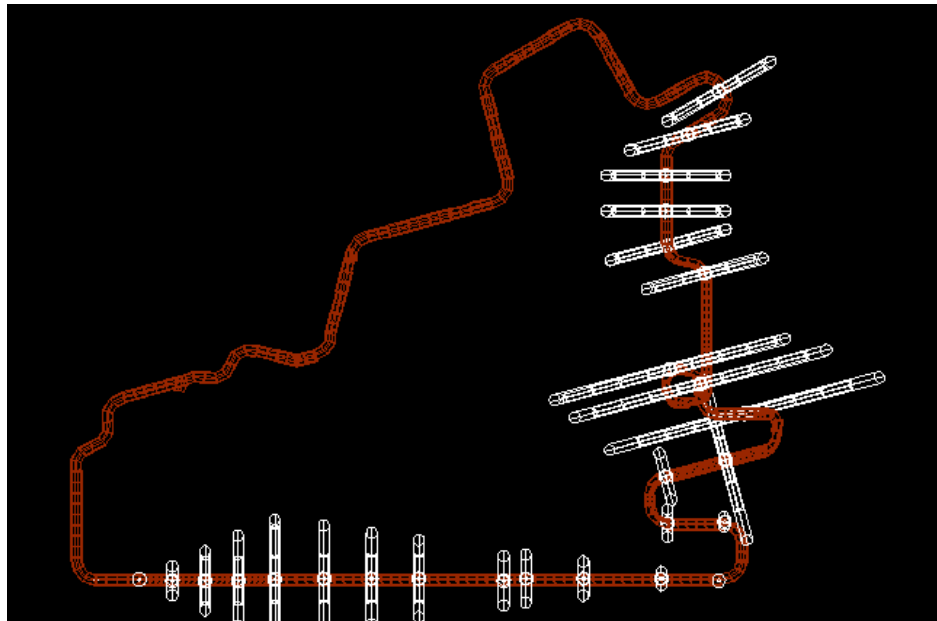


imatge 113. Vista en alçat de la meitat del nostre disseny de la muntanya russa. *imatge pròpia.*

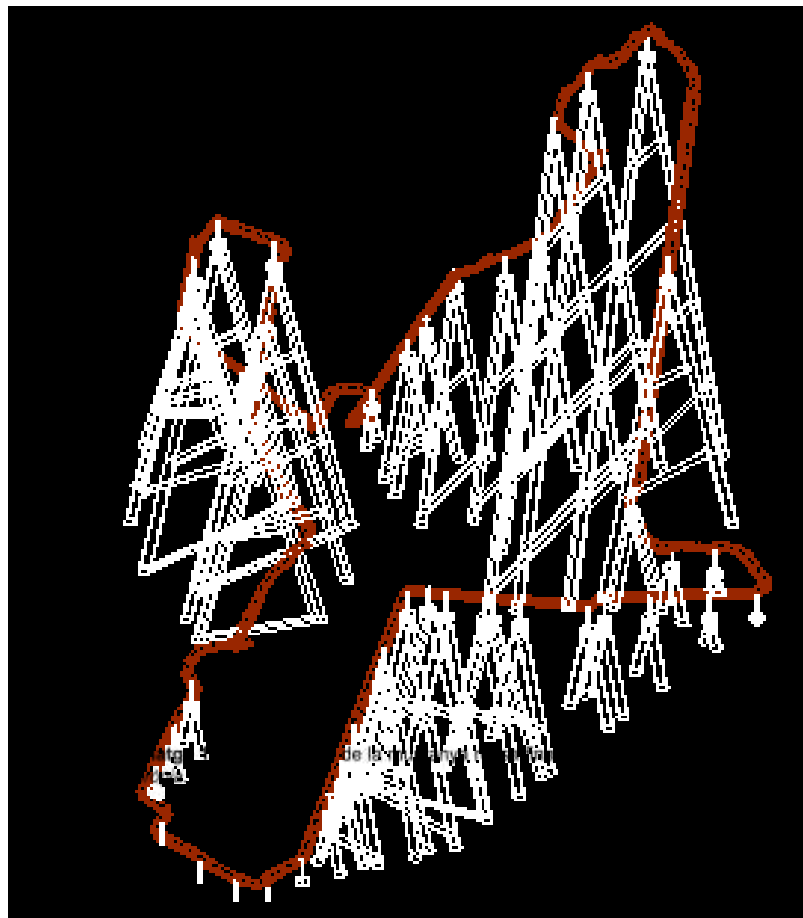


imatge 114. Perspectiva de la meitat del nostre disseny de la muntanya russa. *imatge pròpia.*

A partir d'aquí, es van anar repetint els processos per a arribar al disseny del recorregut sencer de la muntanya russa.



Imatge 115. Planta del recorregut de la muntanya russa finalitzada, sense donar alçades. Imatge pròpia.



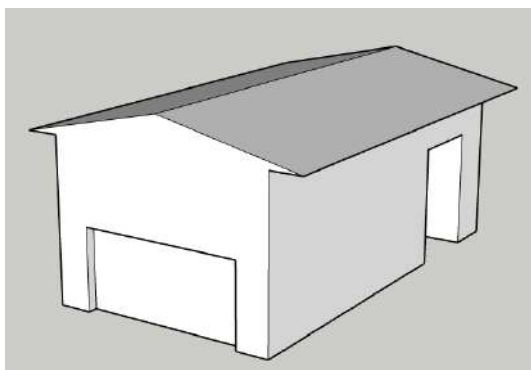
Imatge 116. Perspectiva de la muntanya russa finalitzada. Imatge pròpia.

7.6.2. Disseny 3D de la caseta

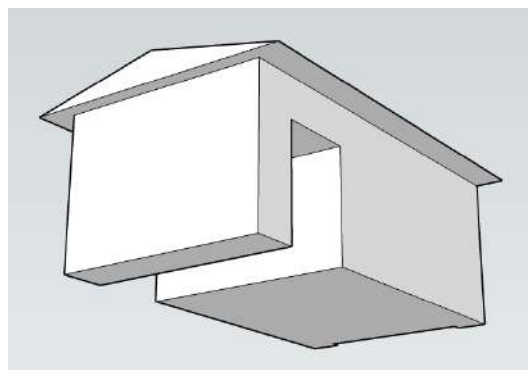
Addicionalment, al disseny de la muntanya russa, hem realitzat un model de caseta, és a dir, el lloc on les persones pujaran als vagons. Aquest edifici és molt important en algunes atraccions, majoritàriament en parcs tan visitats com PortAventura Park, on la gent passa bastant temps esperant a la fila per a poder pujar.

Hem hagut de tenir en compte l'altura a la qual està el començament de la muntanya russa, és a dir, a dos metres, i hem deixat l'espai perquè passin les vies. A més, per tal d'introduir una mica d'ambientació en la cultura xinesa (que després s'haurà de complementar amb decoracions, música, etc.), i fer que el disseny no sigui tan senzill, la caseta compta amb un sostre en una forma triangular, similar a la que s'utilitza a la Xina.

En aquest cas, en ser una estructura senzilla, sí que l'hem pogut realitzar amb l'SketchUp sense cap problema, i, a continuació, s'adjunten algunes fotografies del disseny des de diferents perspectives.



Imatge 117. Disseny de la caseta de la muntanya russa en SketchUp.
imatge pròpia.



Imatge 118. Disseny de la caseta de la muntanya russa en SketchUp.
imatge pròpia.

7.6.3. Cartell de la muntanya russa

Addicionalment, hem de dissenyar alguna cosa per a la nova muntanya russa, allò que ajudi a identificar-la i que cridi l'atenció dels visitants.

Per això, haurem de dissenyar un cartell, que sigui reconeixible i que tingui una estètica semblant als ja existents a PortAventura. Hem realitzat dues versions. A la primera, només posa el nom de la muntanya russa, *Kinabalu*. Aquest serà el que utilitzarem al voltant del parc

per a poder indicar amb fletxes el camí fins a la direcció (en aquest cas, en una mida més reduïda), i, també, el que posarem a sobre de l'entrada de la caseta.



Imatge 119. Disseny de la primera versió del cartell de la muntanya russa, amb només el nom, en SketchUp. Imatge pròpia.



Imatge 120. Disseny a color de la primera versió del cartell de la muntanya russa, amb només el nom, en SketchUp. Imatge pròpia.

En canvi, al segon disseny, hem afegit, com al primer, el nom de l'atracció, *Kinabalu*, però, a més, hem implementat una petita frase, que diu "la perla del drac", presentant el tema de la muntanya russa i sembrant la curiositat a les persones que ho llegeixin. Aquest es col·locarà a l'entrada del camí que porti a l'atracció, i, addicionalment, també es podria utilitzar en les campanyes i els cartells publicitaris.



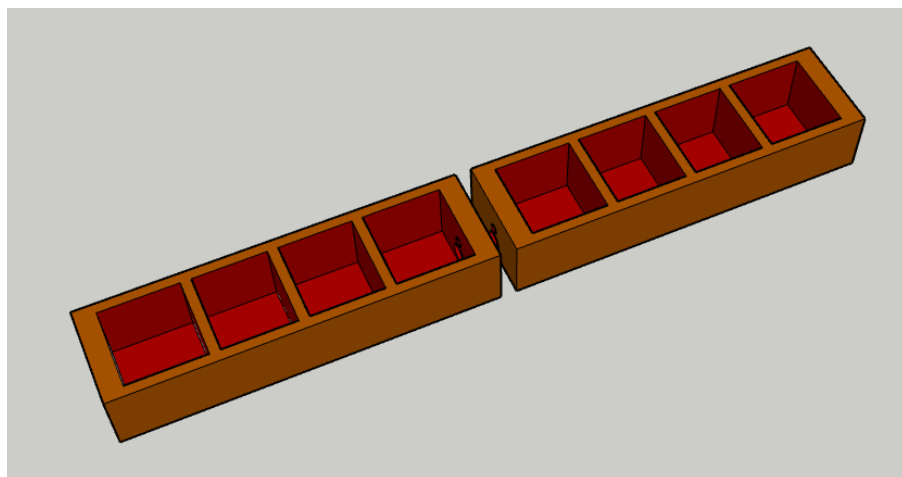
Imatge 121. Disseny de la segona versió del cartell de la muntanya russa en SketchUp. Imatge pròpia.



Imatge 122. Disseny a color de la segona versió del cartell de la muntanya russa en SketchUp. Imatge pròpia.

7.6.4. Disseny 3D d'un tren

Addicionalment, també amb l'SketchUp, s'ha dissenyat un prototip de què podria ser el tren de la muntanya russa. Per fer-ho, s'ha seguit l'esquema dibuixat a la pàgina 63 d'aquest treball i, a més, he afegit uns petits forats circulars, perquè, una vegada impresos els vagon, es puguin ajuntar per a formar el tren. A continuació s'insereix una fotografia del disseny final.



Imatge 123. Disseny a color d'un prototip de tren de la muntanya russa, en SketchUp. *Imatge pròpia.*

7.7. Creació de la maqueta

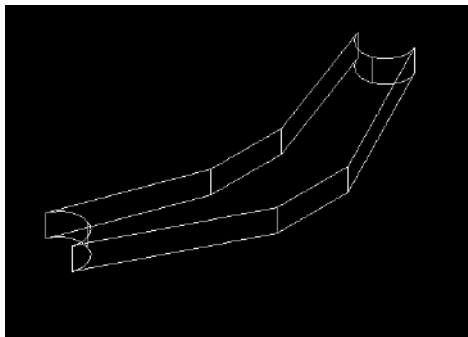
Per a la creació de la maqueta vam discutir diversos mètodes i materials. Per una banda, es podia realitzar una impressió totalment feta amb les impressores 3D, a partir del disseny anteriorment construït. Per l'altra banda, també hi havia la possibilitat de fer la maqueta des de zero i a mà, amb diferents materials.

Després de plantejar els diferents avantatges i desavantatges de les dues opcions, vam optar per fer una mena de maqueta mixta, és a dir, utilitzar impressions 3D i coses fetes a mà a la vegada.

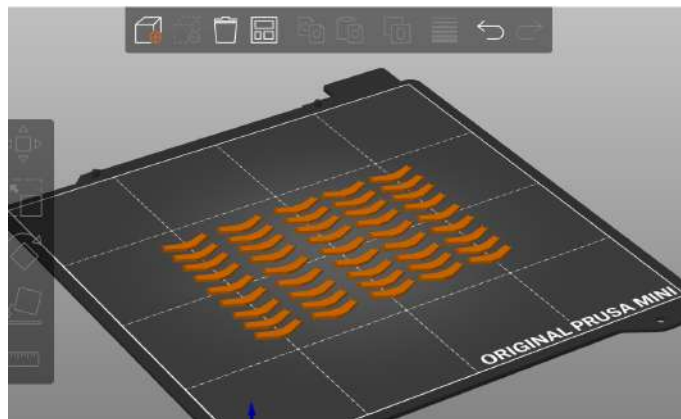
A més, també havíem de decidir l'escala de la maqueta. Havíem de tenir en compte que l'estructura tenia, tant coses de gran mesura, com els pilars, fins a detalls més petits, com les travesses. Així doncs, s'havia d'escollir una opció entremig, ni molt petita, ja que seria molt difícil treballar peces d'aquella escala, però tampoc molt gran, perquè si no quedaria una maqueta massa gran. Finalment, es va decidir utilitzar una escala 1:100, que ens permetia tenir una maqueta d'una mida mitjana i amb peces manejables.

Per tant, per una part, realitzarem els dissenys en 3D de les travesses i els pilars, pel fet que són peces que farem servir amb recurrència i d'aquesta podem crear més peces en menys temps. Per fer-ho, aprofitarem el disseny 3D de la muntanya russa anteriorment realitzat amb AutoCAD, per extreure els dissenys.

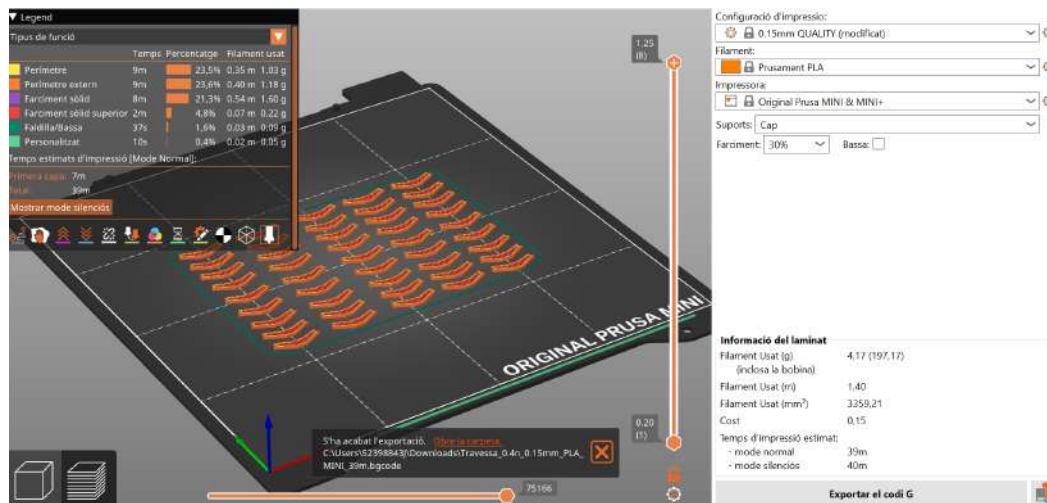
El procés des del disseny fins a la impressió és bastant llarg, i s'ha de passar per diversos programes fins a arribar a exportar l'arxiu a l'extensió llegida per les nostres impressores. De l'AutoCAD, en un arxiu .dwg, passem el disseny a extensió .stl, per a poder obrir-ho amb el Prusa Slicer. Amb aquest programa marcarem els paràmetres d'impressió i es fa el procés de laminació de les peces. Finalment, ho exportem a .gcode, que és l'extensió que llegeixen les impressores 3D. En aquest cas, utilitzarem les impressores amb les quals comptem a l'aula de tecnologia de l'institut, que són del model Bambu Lab X1 Carbon. Seguirem el mateix procés per als pilars i les travesses, i, a continuació, s'adjunten fotografies de les diferents etapes fins a la impressió.



Imatge 124. Disseny travessa per impressió a l'AutoCAD. *Imatge pròpia.*

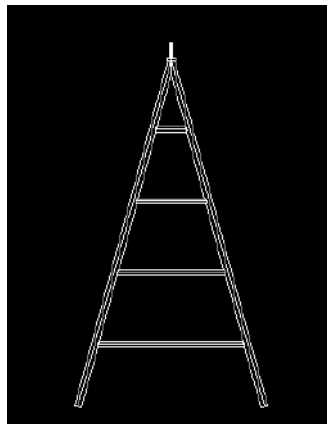


Imatge 125. Travesses per impressió al Prusa Slicer. *Imatge pròpia.*

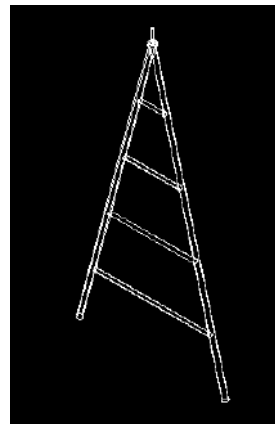


Imatge 126. Travesses per impressió al Prusa Slicer, amb laminació i paràmetres d'impressió. *Imatge pròpia.*

Tot i això, per a la impressió dels pilars vam trobar-nos amb un inconvenient: les impressores tenen una mida màxima de 20 cm, i nosaltres necessitàvem pilars de fins al doble d'aquella alçada. En conseqüència, vam haver de separar el disseny en dos, per una banda, s'imprimia la primera meitat dels pilars, i per l'altra la segona meitat. Una vegada teníem les dues parts, només s'havien d'enganxar per tenir els suports complets.



Imatge 127. Disseny dels pilars per impressió a l'AutoCAD. Imatge pròpia.



Imatge 128. Disseny dels pilars per impressió a l'AutoCAD. Imatge pròpia.



Imatge 128. Impressora de l'aula de tecnologia, model Bambu Lab X1 Carbon, durant la impressió dels pilars. Imatge pròpia.



Imatge 129. Placa de la impressora amb el disseny de la primera meitat dels pilars acabat. Imatge pròpia.

Per l'altra banda, havíem de pensar en materials bastant modelables per a poder fer, principalment, la via i la biga. Tot i ser un recorregut bastant senzill comparat amb les muntanyes russes actuals, sí que té certa complexitat a l'hora de recrear-la, ja que s'han de realitzar els girs, les pujades, etc.

Tenint tot això en compte, vam optar per utilitzar filferros de diferents mides, un més prim pels raïls i un amb més gruix per la biga. Seguint l'escala, necessitariem, respectivament uns filferros d'1 mm i 1,6 mm de secció, i a més, per a ser fidels a l'estructura, aquest últim ha de ser quadrat. Així i tot, ens vam trobar amb l'inconvenient que no hi ha grans opcions de filferros amb seccions tan grans, i menys quadrats, així que vam acabar optant per una biga amb un filferro quadrat d'1,5 mm de secció quadrada, que era el que més s'apropava a la nostra necessitat. A partir d'això vam decidir agafar un filferro marró de 0,8 mm pels raïls.



Imatge 130. Filferros per a la maqueta. A dalt, el de les vies, a baix, el de la biga. *Imatge pròpia.*

Una vegada teníem els filferros i les travesses impreses vam començar a posar totes les peces juntes. Per això, vam modelar el filferro, per simular la via, i vam començar a enganxar les peces 3D amb molt de compte. En ser les travesses i el filferro tan petits, era bastant difícil enganxar-les i fer que es quedessin en el lloc.



Imatge 131. Travesses enganxades al filferro. *Imatge pròpia.*



Imatge 132. Realització del primer tram de la maqueta. *Imatge pròpia.*

En acabar el primer tram, vam adonar-nos dels dos problemes principals que se'ns presentaven:

- El primer, la continuació del recorregut i la poca estabilitat de l'estructura que estàvem realitzant. En començar les corbes i la gran pujada del segon tram, el filferro no mantenia la seva forma, a més que era molt difícil calcular el recorregut que havia de seguir. En conseqüència, això, sumat a la dificultat base d'enganxar les travesses, feien el treball quasi impossible.
- En segon lloc, teníem la col·locació de la biga. Tot i que el filferro era fidel a l'estructura real, no havíem tingut en compte la dificultat que suposava una secció tan gran: era molt difícil modelar-lo i fer que es quedés amb la forma de la muntanya russa. A més, no es podia enganxar a l'estructura anteriorment feta, i algunes travesses es desenganxaven amb la col·locació de la biga.

Per tant, una vegada presentats aquests dos problemes, ens vam adonar que havíem de canviar els materials i el mètode de realització de la nostra maqueta, i optar per materials més fàcils de modelar i enganxar i un mètode amb més estabilitat.

Per resoldre el primer problema que se'ns presentava, el de la fermesa de l'estructura, vam decidir començar a construir per la base de la muntanya russa, és a dir, pels pilars. D'aquesta manera, mentre es realitzés la via, tindríem els pilars per guiar el recorregut i donar aquella estabilitat que ens faltava amb anterioritat.

A l'altra banda, el segon problema era més complex de solucionar. Havíem de buscar un material que fos flexible i fàcil de modelar i treballar, però a la vegada que ens donés llibertat amb les mesures i ens permetés tenir cert nivell de detall. Tenint en compte aquestes característiques, vam decidir-nos finalment per la goma eva, un material que havíem considerat al principi, descartat per la sensació que el filferro ens donaria més detalls.

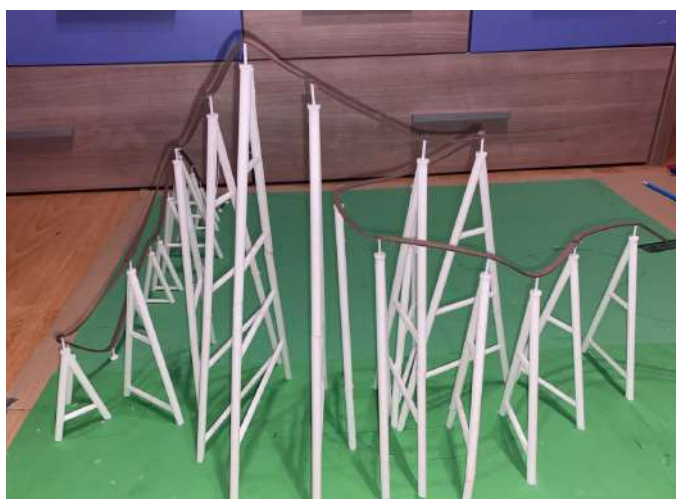
Per al nou començament de la maqueta, vam començar per tallar els pilars impresos amb les impressores 3D de les mides adequades per a cada tram. Com anteriorment havíem generalitzat i realitzat tots els suports iguals, ara havíem pogut imprimir un mateix model, amb la necessitat de només tallar-lo per adaptar-lo a les nostres necessitats. Per tant, amb l'ajuda d'una serra vam tallar a les diverses alçades, com 2 cm, 30 cm, etc., i els vam anar enganxant al cartó seguint el recorregut de la nostra muntanya russa.



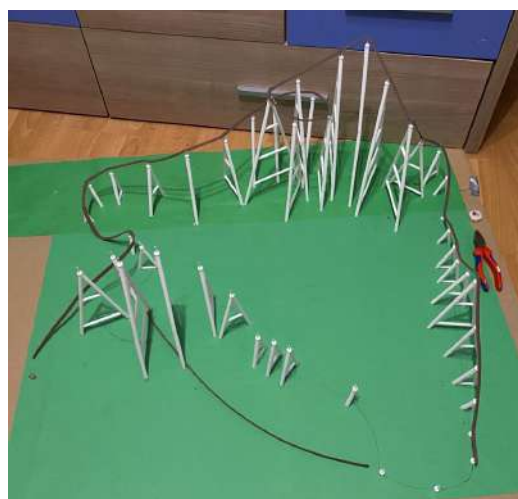
Imatge 133. Pilars de diferents mesures pel tram 1. *Imatge pròpia.*

A continuació, es va tallar la goma eva a tires per fer la biga i els raïls. Per tal de diferenciar-los, vam comprar dues tonalitats diferents de marró, una més fosca per la biga, que vam tallar aproximadament amb uns 4 mm d'amplada, i una més clara perls raïls, amb uns 1,5 mm d'amplada. Llavors, a mesura que es realitzava la col·locació dels pilars, s'enganxava també la tira marró que feia de biga.

Una de les zones més difícils va ser la part en la qual es realitza el gir sencer, on la via ha de passar per sota del recorregut anterior. En aquest fragment s'havien de posar molts pilars en poca superfície, i vam haver de quadrar l'orientació de cada un perquè tot encaixes.



Imatge 134. Segon tram de la muntanya russa. *Imatge pròpia.*



Imatge 135. Col·locació dels pilars del tercer tram de la muntanya russa. *Imatge pròpia.*

Una vegada amb tota la biga col·locada, havíem de realitzar la resta de la via. Per això, vam començar per col·locar totes les travesses enganxades a la biga al llarg del recorregut. Va estar una tasca bastant tediosa, ja que es tracta d'un recorregut bastant llarg, i col·locar una travessa cada uns dos centímetres comporta molt de temps, i va ser una de les parts amb més dificultat de la realització de la maqueta.

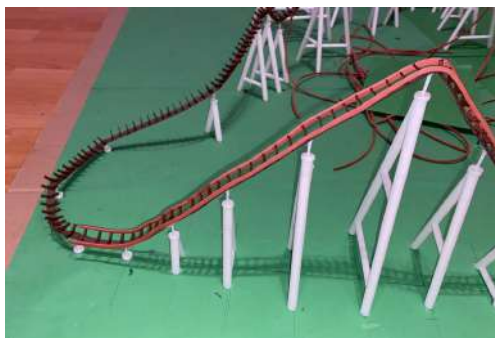


Imatge 136. Col·locació de les primeres travesses. *Imatge pròpia.*



Imatge 137. Totes les travesses col·locades al llarg de la biga. *Imatge pròpia.*

Finalment, vam enganxar a banda i banda de les travesses els rails, acabant el que seria l'estructura de la muntanya russa com a tal.



Imatge 138. Col·locació dels primers rails de la maqueta. *Imatge pròpia.*



Imatge 139. Maqueta amb tots els rails enganxats. *Imatge pròpia.*

Una vegada teníem l'estructura, tocava acabar de fer els voltants de la muntanya russa. Per fer això, vam acabar de tallar la base de cartó, seguint la forma de la muntanya russa, i vam afegir detalls com la caseta impresa amb les impressores 3D i el cartell en gran. A més, per a donar més ambientació als voltants de l'estructura, vam afegir arbres i vegetació similars als que podem trobar a PortAventura Park.



Imatge 140. Resultat final de la maqueta. *Imatge pròpia.*



Imatge 141. Resultat final de la maqueta. *Imatge pròpia.*



Imatge 142. Resultat final de la maqueta. *Imatge pròpia.*

Finalment, s'ha realitzat un vídeo que recull les diferents vistes tant del disseny com de la maqueta de la muntanya russa. A continuació, s'adjunten tant un codi QR que et porta directament al vídeo com el seu enllaç:

Enllaç: https://drive.google.com/file/d/1iX2eFuXY4-IspY58_hyv8aKQv9I4Rvwy/view?usp=sharing



Imatge 143. QR del video del resultat final. *Imatge pròpia.*

7.8. Pressupost de la maqueta

A continuació, calcularem el pressupost total que s'ha invertit en la maqueta. Per això, tindrem en compte els preus dels materials adquirits i utilitzats al llarg del procés.

PRESSUPOST DE LA MAQUETA			
Material	Quantitat	Preu unitari	Preu
PLA marró	¼ rotllo	17,99 €	4,50 €
PLA blanc	½ rotllo	17,99 €	9 €
PLA diversos colors	¼ rotllo	17,99 €	4,50 €
Goma EVA	3	1,50 €	4,50 €
Cartolines verdes	3	0,80 €	2,40 €
Lichen verd	1	18,99 €	18,99 €
Arbres de decoració	1	15,99 €	15,99 €
	Preu total		59,88 €

8. CONCLUSIONS

Després d'haver realitzat un estudi sobre les muntanyes russes i PortAventura Park, i d'haver implementat i dissenyat la meua pròpia atracció, puc arribar a donar respostes a les hipòtesis principals del meu treball, i als objectius plantejats arran d'aquestes.

La meua primera hipòtesi era: **El parc temàtic de PortAventura Park pot acollir una nova muntanya russa.**

Una vegada haver fet l'estudi dels diferents plànols del parc, aquesta hipòtesi es confirma. A conseqüència de la realització i l'estudi de diferents mapes de PortAventura Park, vam trobar fins a tres localitzacions possibles on es podrien implementar noves muntanyes russes. Per tant, el parc pot continuar desenvolupant-se, i no seria estrany que d'aquí a uns anys s'aprofitessin alguna d'aquestes zones per inaugurar noves atraccions.

Arran de l'elecció, mitjançant els diferents avantatges i desavantatges, de la zona més òptima, s'ha desenvolupat el projecte de la muntanya russa *Kinabalu*. Gràcies a l'estudi del procés de creació de les muntanyes russes, hem pogut arribar a una de disseny propi, que podria ser implementat al parc.

D'altra banda, la segona hipòtesi era: **És possible crear una maqueta d'una muntanya russa de disseny propi arran de l'estudi del seu procés de creació amb les eines de què disposem al taller de Tecnologia.**

Pel que fa a aquesta, també la podem confirmar. Sí que hem pogut realitzar la maqueta de la nostra muntanya russa, prèviament dissenyada amb una idea pròpia, amb els materials dels quals disposem al nostre taller de Tecnologia. Les peces clau de la maqueta, com són els travessers o els pilars, s'han fet per les impressores 3D de l'institut, a partir del disseny en ordinador. Això ens ha facilitat molt la feina, ja que és una forma efectiva de poder fer moltes peces iguals en menys temps del que trigàriem a fer-lo manualment.

Respecte als objectius, també plantejats a l'inici, podem concloure el següent:

- **Conèixer la història i el funcionament de les muntanyes russes.**

Arran de l'estudi realitzat inicialment, hem pogut conèixer la història de les muntanyes russes, des de l'inici del concepte com a tal, a Rússia, fins a com les coneixem avui dia, i quines són les més importants del panorama actual.

Addicionalment, també hem estudiat el seu funcionament, amb base a la física fonamental. Encara que semblin mecanismes molt complicats, el seu funcionament es basa principalment en la llei de la conservació de l'energia, intercalant la potencial i la cinètica al llarg del seu recorregut, on la gravetat juga un paper molt important.

- **Aprendre el procés de creació d'una muntanya russa, des del disseny fins a la construcció.**

El procés de creació d'una muntanya russa és molt complex. A través de l'estudi del seu funcionament i les seves parts, hem pogut descobrir el procés complicat que s'ha de seguir per a poder crear-les i posar-les en funcionament.

Des de la localització de l'atracció, la història, el disseny, les diferents parts, els càlculs de velocitats, els elements que incorporarem... Tots els factors han d'estar en harmonia i tenir-se en compte per a poder desenvolupar una bona muntanya russa. Encara que sembli que el disseny és menys important que la part física, sense un bon concepte i història no podríem desenvolupar un bon recorregut que produeixi sensacions extremes als passatgers. Totes les parts del procés han d'estar fetes a la perfecció i connectades entre elles.

- **Estudiar els plànols de PortAventura Park i poder escollir (si és possible) el lloc adequat per a poder situar la nova atracció.**

Com hem mencionat respecte a la primera hipòtesi, hem pogut realitzar diferents plànols de PortAventura Park, per, a posteriori, estudiar-los.

Donada la falta de plànols ja comesos del parc disponibles a internet, vam haver de fer els nostres propis. Després de l'estudi inicial de PortAventura i el seu funcionament, coneixent les parts i els serveis claus, vam desenvolupar diferents mapes, corresponent a les diferents àrees. Finalment, en ajuntar-los tots, vam poder observar tres possibles zones en les quals col·locar la nostra muntanya russa. Tenint en compte diferents factors, vam poder arribar a una decisió definitiva, escollint la parcel·la on aniria la nostra nova atracció.

- **Ser capaç de replicar aquest procés de creació, fins a arribar a un prototip propi i que pugui ser portat a la realitat.**

A continuació de l'estudi del procés de creació i l'elecció de la localització final, vam poder crear la nostra pròpia muntanya russa. Basant-nos en la zona temàtica dins de la qual estava situada, vam dissenyar la història, en aquest cas després d'una petita recerca sobre llegendes xineses. Seguidament, i el que podríem dir que ha estat de les parts més difícils, havíem de fer el recorregut, tenint en compte els càlculs de les energies. Finalment, vam acotar alguns aspectes tècnics i vam calcular l'estructura. Després de tot aquest procés, hem pogut arribar a un prototip que es podria arribar a traslladar a la realitat.

- **Poder realitzar una representació 3D del disseny final i després portar-ho a la realitat en forma de maqueta.**

Tot i haver trobat algunes dificultats per a fer el disseny 3D, i després d'un canvi de programa, sí que hem pogut realitzar-ho. En aquest disseny, hem representat el recorregut complet de la muntanya russa, a més de les travesses, els raïls i els diferents pilars. A més, aquest disseny previ també ens ha ajudat a la realització de la maqueta posterior.

Pel que fa a la maqueta, després de sospesar les diverses opcions, i també després d'haver hagut de començar de nou i repensar la forma de fer-la, hem obtingut un resultat bastant satisfactori. Hem pogut plasmar la nostra idea en una miniatura, a escala, i hem respectat i representat de forma bastant fidel l'estructura.

9. AGRAÏMENTS

La realització d'aquest treball ha estat un procés llarg i laboriós, que no hauria estat possible sense les persones que m'han donat suport i que m'han ajudat al llarg de la seva realització.

Primer de tot vull agrair a la meva tutora de recerca, per la seva dedicació i ajuda durant tot el procés. Agraïixo especialment els seus consells i les seves idees i aportacions, que han fet que la realització d'aquest treball hagi sigut una mica més fàcil. Ha estat la primera persona que m'ha ajudat sempre que trobava un problema, i també la primera a intentar pensar en solucions. Sense la seva ajuda aquest treball no hauria arribat a ser el que és avui.

Finalment, vull donar les gràcies a tota la meva família i amics, per la seva motivació constant i el seu interès per aquest tema. Especialment, al meu pare, Pruden, per estar sempre pendent de la realització d'aquest treball, i per resoldre tots els dubtes que li he preguntat al llarg del seu procés. A la meva mare, Mónica, per haver-me donat suport i ànims quan més els necessitava i per sempre estar disposada a ajudar-me si li era possible (encara que això comportés estar hores enganxant petites travesseres a un filferro molt prim). Al meu germà, Alejandro, per la seva ajuda al llarg del procediment i els seus consells a partir de la seva experiència. I, finalment, a la meva cosina Blanca, per sempre escoltar-me quan ho necessitava i per llegir tot el que li he anat enviant al llarg d'aquests mesos.

Gràcies.

10. WEBGRAFIA

- Aire comprimido y montañas rusas [en línia]. Quincy compressor, 10 de juny de 2020 [Consultat: 13 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.quincycompressor.com/es/compressed-air-and-roller-coasters/>>
- Alcaraz de la Osa, Rodrigo. La física de los loops de las montañas rusas [en línia]. Físicamente, 8 de juny de 2023 [Consultat: 11 de juliol de 2024]. Disponible a: <<https://fisiquimicamente.com/blog/2023/06/08/la-fisica-de-los-loops-de-las-montanas-rusas/#loops-circulares>>
- Atracciones PortAventura Park [en línia]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/atracciones>>
- Batman Gotham City Escape [en línia]. Madrid: Parque Warner [Consultat: 31 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.parquewarner.com/experiencias/atracciones/Batman-Gotham-City-Escape>>
- “Batman Gotham City Escape” la gran novedad del año, protagonista del verano en Madrid [en línia]. Madrid: Parques reunidos [Consultat: 13 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.parquesreunidos.com/content/parques/es/blog/-batman-gotham-city-escape---la-gran-novedad-del-ano.html>>
- Castillero Mimenza, Oscar. Las 10 mejores leyendas chinas (y su significado) [en línia]. Barcelona: Psicología y mente, 12 de novembre de 2018 [Consultat: 10 d’agost de 2024]. Disponible a: <<https://psicologiaymente.com/cultura/leyendas-chinas>>
- Cifra anual de visitantes en PortAventura Park de 2011 a 2023 [en línia]. Statista [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://es.statista.com/estadisticas/887388/cifra-anual-de-visitantes-en-port-aventura/>>
- Concepto de Montaña Rusa ¿Que es? Definición y Significado [en línia]. Significadosweb [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://significadosweb.com/concepto-de-montana-rusa-que-es-definicion/>>
- Com s’assoleix la velocitat de Furius Baco? [en línia]. Catalunya: PortAventura World, 18 d’agost de 2021 [Consultat 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/blog/ca/com-assoleix-la-velocitat-furius-baco>>

- ¿Cómo funcionan las montañas rusas? [en línea]. Madrid: Parque Warner Madrid, 4 d'octubre de 2021 [Consultat: 11 de juliol de 2024]. Disponible a: <<https://www.parquewarner.com/blog/como-funcionan-montanas-rusas>>
- ¿Cómo funcionan las montañas rusas? Explicación física [en línea]. Barcelona: PACommunity [Consultat: 11 de juliol de 2024]. Disponible a: <<https://www.pacommunity.com/articulos/como-funcionan-las-montanas-rusas-explicacion-fisica>>
- Como funciona una montaña rusa [en línea]. Caymans SEO, 13 de maig de 2024 [Consultat: 30 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://caymansseo.com/como-funciona-una-montana-rusa>>
- Cómo Funciona una Montaña Rusa: Explorando la Emoción y la Física [en línea]. Conoce como funciona [Consultat: 30 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://conocecomofunciona.es/tecnologia/como-funciona-una-montana-rusa/>>
- ¿Cómo se llama la montaña rusa en Rusia? [en línea]. López-Dóriga digital, 9 de juny de 2016 [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://lopezdoriga.com/vida-y-estilo/el-nombre-de-origen/>>
- Dónde está PortAventura y cómo llegar [en línea]. Viajes Estiber, 28 de juny de 2023 [Consultat: 15 de juliol de 2024]. Disponible a: <<https://www.estiber.com/blog/donde-esta-portaventura-y-como-llegar/>>
- El Diablo - Tren de la Mina [en línea]. Pafans [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/portaventura/portaventura-park/mexico/el-diablo>>
- El primer mapa de PortAventura en 1994 [en línea]. Pafans, 1 de maig de 2022 [Consultat: 6 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/actualidad/2022/el-primer-mapa-de-portaventura-en-1994-90512>>
- Escribano, Javier. Las 15 mejores montañas rusas de España [en línea]. Hobbyconsolas, 30 de juny de 2023 [Consultat: 30 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.hobbyconsolas.com/listas/15-mejores-montanas-rusas-espana-1214182>>
- Fernández, Juan. La historia de PortAventura: desde su apertura hasta la actualidad [en línea]. Madrid: MadridActual, 9 de maig de 2023 [Consultat: 10 de juny de 2024].

Disponible a: <<https://www.madridactual.es/7891104-la-historia-de-portaventura-des-de-su-apertura-hasta-la-actualidad>>

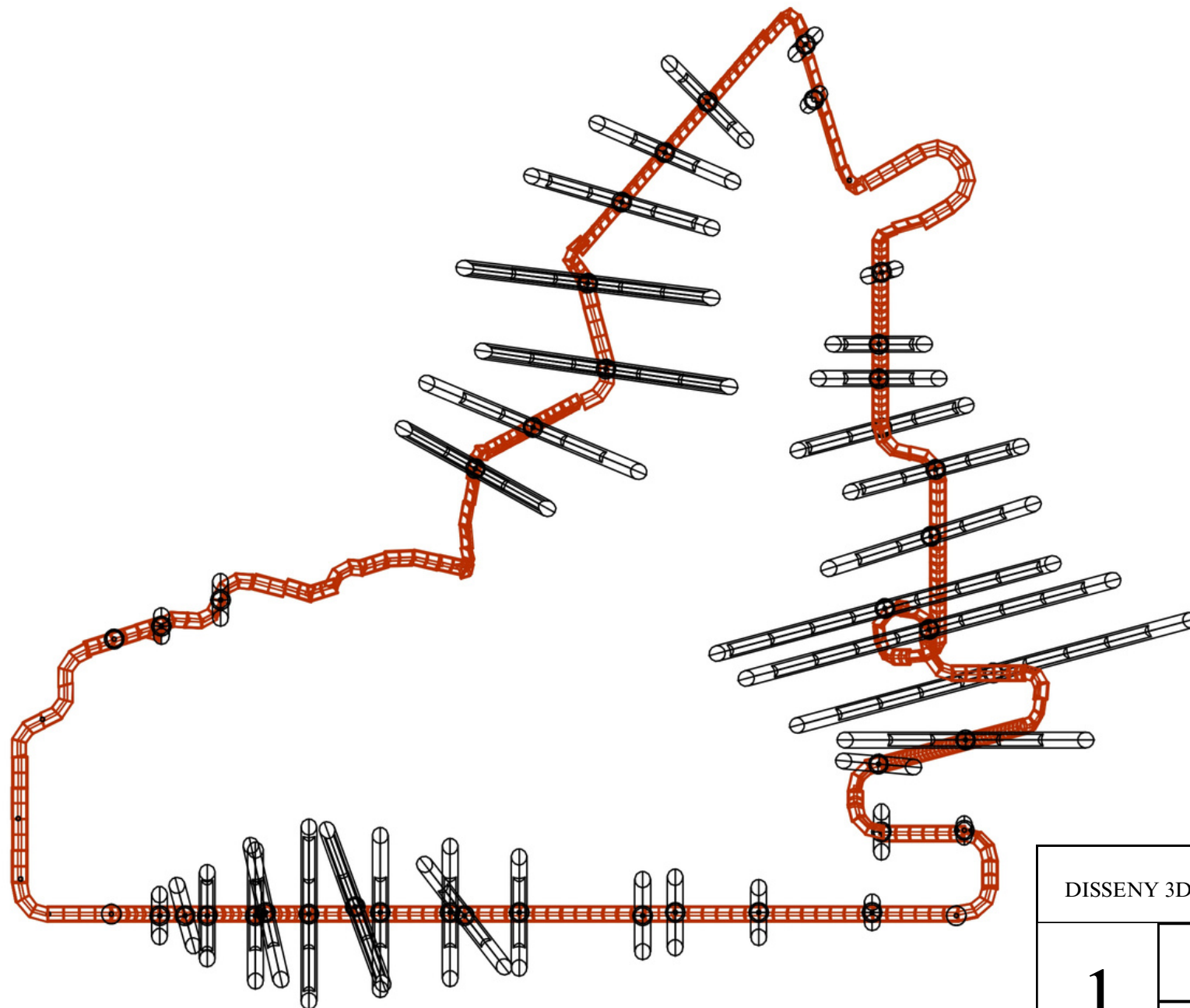
- Freire, Noelia. ¿Cómo funcionan las montañas rusas? El secreto está en la física. [en línea]. National Geographic España, 22 d'octubre de 2023 [Consultat: 10 de juliol de 2024]. Disponible a: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/fisica-detras-montanas-rusas_20868>
- Furius Baco PortAventura: un trayecto a toda velocidad [en línea]. Viajes Estiber, 21 de juny de 2022 [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.estiber.com/blog/furius-baco-portaventura/>>
- Gonçalves Cámara, Victor. Trabajo fin de grado: Diseño y análisis estructural de una montaña rusa de acero de fricción lateral según normativa UNE-EN13814:2006 [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid [Consultat: 26 de setembre de 2024]. Disponible a: <https://oa.upm.es/58713/1/TFG_Victor_J_Goncalves_Camara.pdf>
- Historia de la Montaña Rusa | ¿Cuál es su origen? [en línea]. Supercurioso [Consultat: 30 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://supercurioso.com/historia-de-la-montana-rusa/>>
- Historia PortAventura Park [en línea]. Theme Park Experts [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.themeparkexperts.com/port-aventura-world/parques-en-port-aventura-world/portaventura-park/historia-portaventura-park/>>
- Hotel Mansión de Lucy en PortAventura World [en línea]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/hoteles/mansion-de-lucy>>
- Hybrid roller coaster [en línea]. Costerpedia [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <https://coasterpedia.net/wiki/Hybrid_roller_coaster>
- La perla del dragón, leyenda china [en línea]. Sobre leyendas [Consultat: 10 d'agost de 2024]. Disponible a: <<https://sobreleyendas.com/2010/02/26/la-perla-del-dragon-leyenda-china/>>

- La montaña rusa: la atracción más querida [en línea]. Holidayworld, 2 de juny de 2021 [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.holidayworldmasp.alomas.com/blog/que-es-una-montana-rusa/>>
- Montaña suiza en Parque de Atracciones Monte Igueldo [en línea]. Barcelona: PACommunity [Consultat: 31 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.pa-community.com/parques/parque-atracciones-monte-igueldo/atracciones/montana-suiza>>
- PortAventura Park [en línea]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/portaventura>>
- PortAventura World inaugura su nueva atracción ‘Uncharted: el enigma de Penitence’ [en línea]. Catalunya: PortAventura World, 16 de juny de 2023 [Consultat: 12 de juny de 2024]. Disponible a: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/portaventura-world-production-files/wilson_cms/documents/documents/000/016/928/original/PortAventura_World_Nota_de_prensa_Inauguraci%C3%B3n_Uncharted_Spanish.pdf>
- Promptuari de tubs d’acer estructurals [en línea]. Protubsa [Consultat: 20 de setembre de 2024]. Disponible a: <https://www.protubsa.com/wp-content/uploads/Protubsa_Estructurales_Tecnico_ab1.pdf>
- ¿Qué es una montaña rusa? [en línea]. Spiegato [Consultat: 3 de maig de 2024]. Disponible a: <https://spiegato.com/es/que-es-una-montana-rusa#google_vignette>
- Red Force, 0-180 km/h in only 5 seconds [en línea]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 31 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/en/ferrari-land/rides/red-force>>
- Red Force: Challenge the wind [en línea]. Pafans [Consultat: 31 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/portaventura/ferrari-land/red-force>>
- Ricardo, Rodrigo. ¿Qué es una montaña rusa híbrida de madera y acero? [en línea]. Exoviajes [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://exoviajes.com/que-es-una-montana-rusa-hibrida-de-madera-y-acero/>>
- Roller Coasters de PortAventura World [en línea]. Pafans [Consultat: 10 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/fan-area/rollercoasters>>

- Shambhala, la montaña rusa más alta de PortAventura Park [en línia]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 31 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/atracciones/shambhala>>
- Tami-Tami [en línia]. Pafans [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/portaventura/portaventura-park/sesamo-aventura/tami-tami>>
- Tami Tami PortAventura, la montaña rusa infantil [en línia]. Viajes Estiber, 4 de maig de 2023 [Consultat: 11 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.estiber.com/blog/tami-tami-portaventura/>>
- Tipos de montaña rusa [en línia]. Amino, 14 d'octubre de 2016 [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a: <https://aminoapps.com/c/rollercoaster/page/blog/tipos-de-montana-rusa/xpGk_kb3s2uw8V0aJ7BwgW5IPNxxk3eaLRzI>
- Tipos de vagón [en línia]. Fisicatraccion [Consultat: 5 de maig de 2024]. Disponible a: <<http://fisicatraccion.weebly.com/tipo-de-vagoacuten.html>>
- UNCHARTED: El Enigma de Penitence [en línia]. Pafans [Consultat: 12 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.pafans.com/portaventura/portaventura-park/far-west/uncharted-el-enigma-de-penitence>>
- «UNCHARTED: El Enigma de Penitence»: todo sobre la nueva atracción de PortAventura [en línia]. ParqueTemático.net [Consultat: 12 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.parquetematico.net/portaventura/uncharted>>
- Uncharted: L'Enigma de Penitence. L'adrenalina és el tresor més gran! [en línia]. Catalunya: PortAventura World [Consultat: 12 de juny de 2024]. Disponible a: <<https://www.portaventuraworld.com/ca/atraccions/uncharted>>
- Ventura, Dalia. La montaña rusa, el aterrador legado que nos dejó Catalina la Grande [en línia]. BBC News Mundo, 22 de desembre de 2019 [Consultat: 30 de maig de 2024]. Disponible a: <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-50842384>>

11. ANNEX

1. Plànol de planta
2. Plànol d'alçat
3. Plànol de perfil
4. Vista Nord Oest
5. Vista Nord Est
6. Vista Sud Oest
7. Vista Sud Est
8. Vista d'ocell 1
9. Vista d'ocell 2
10. Vista d'ocell 3
11. Vista d'ocell 4



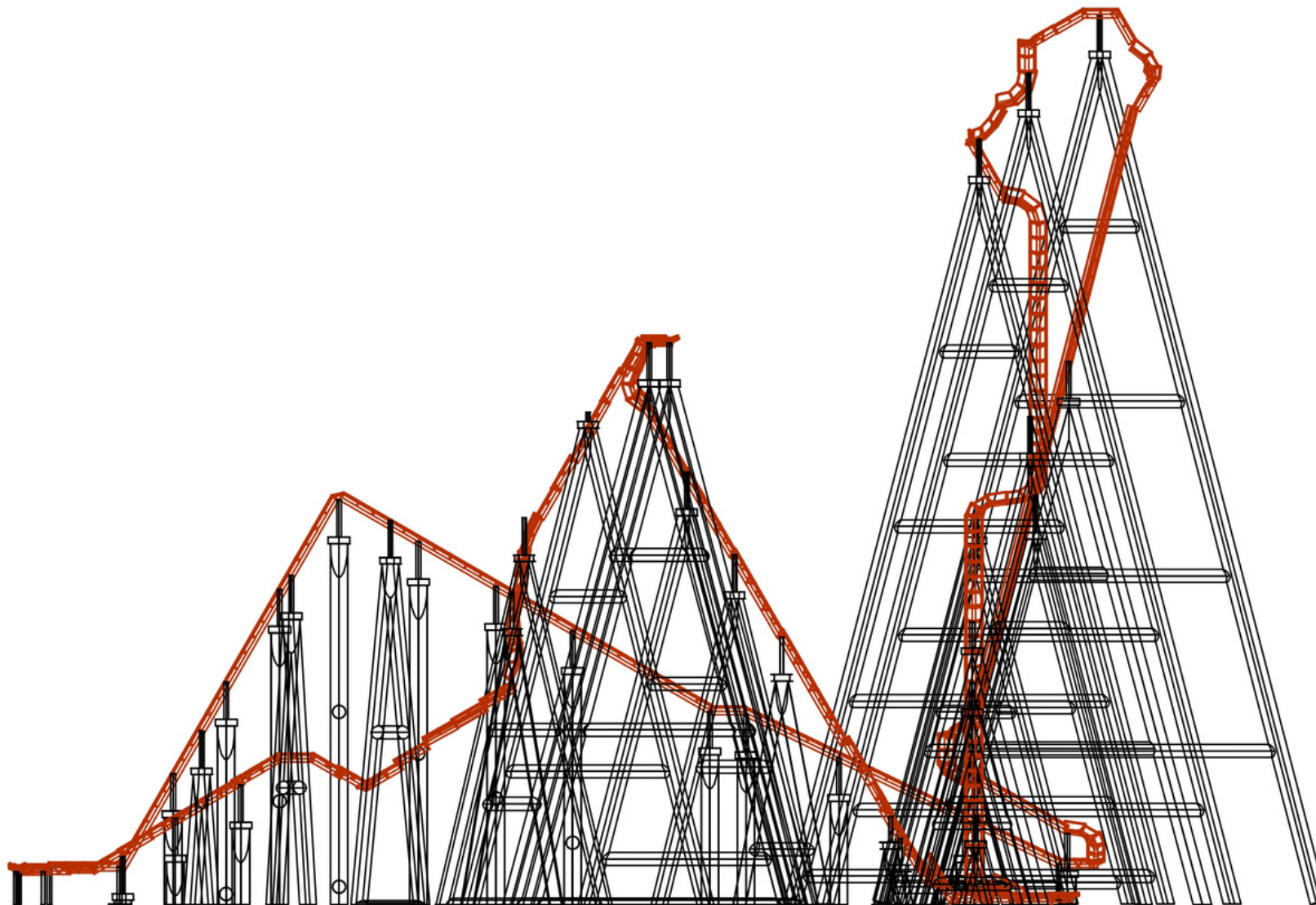
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

1

PLÀNOL DE PLANTA
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



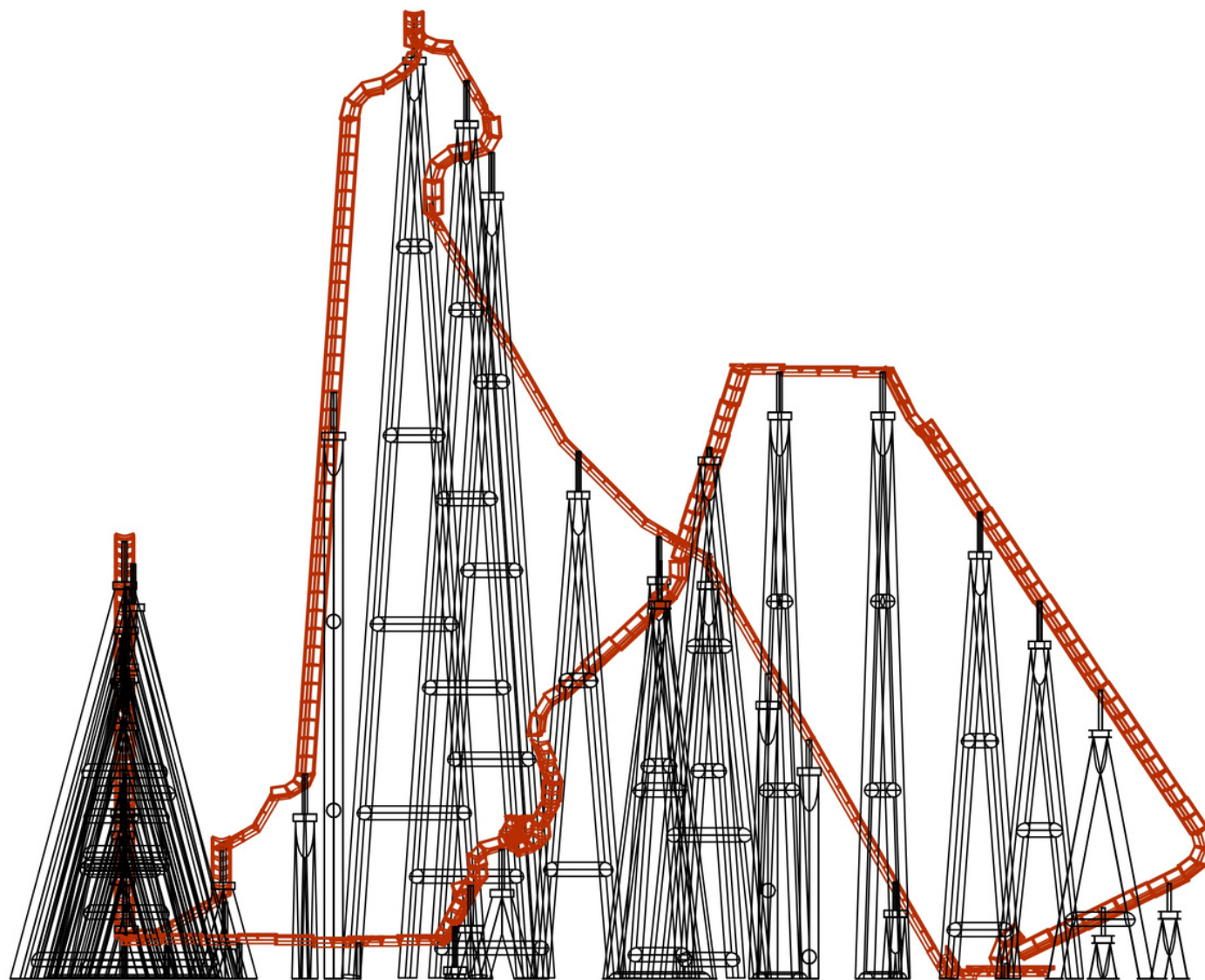
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

2

PLÀNOL D'ALÇAT
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



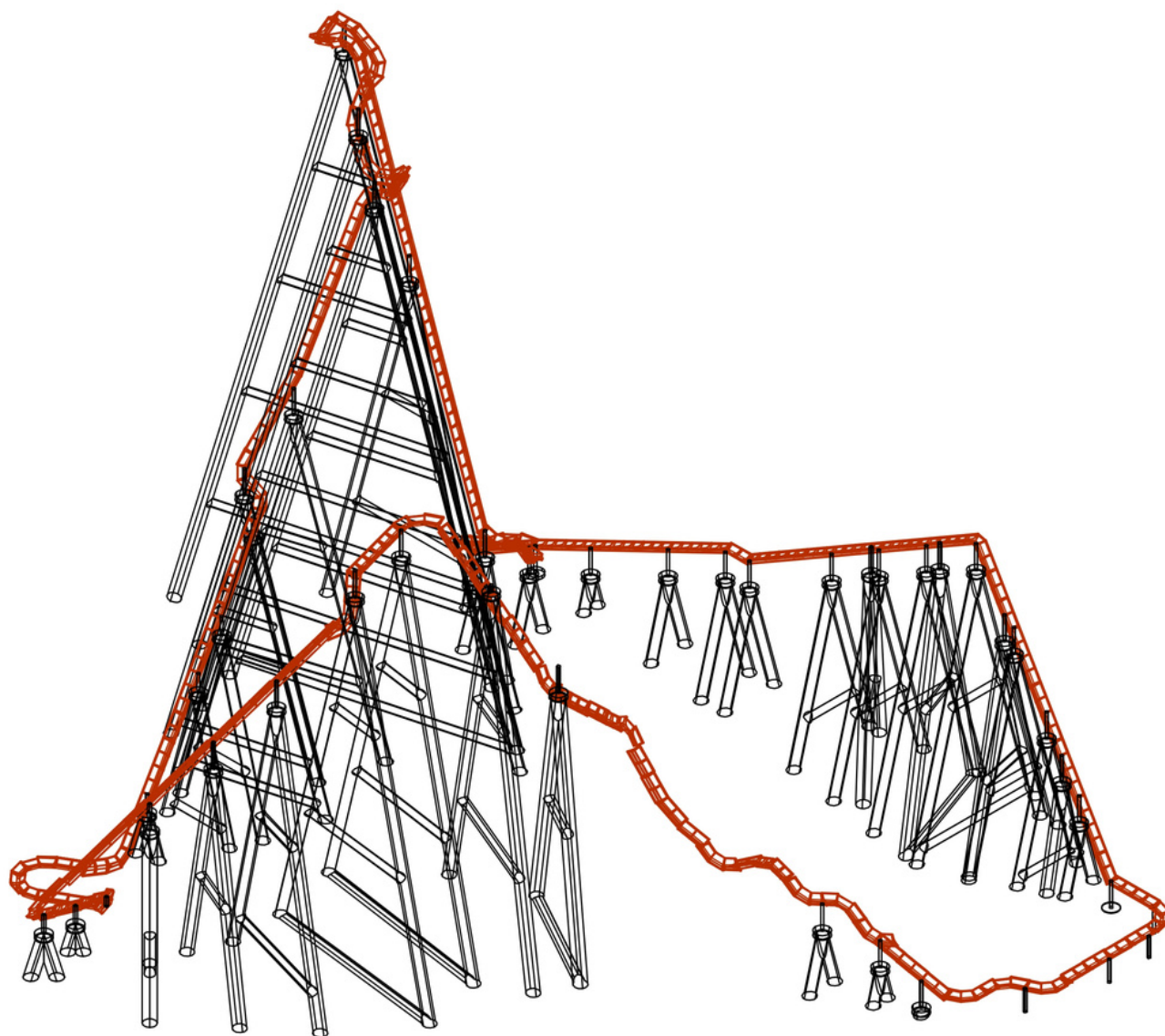
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

3

PLÀNOL DEL PERFIL
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



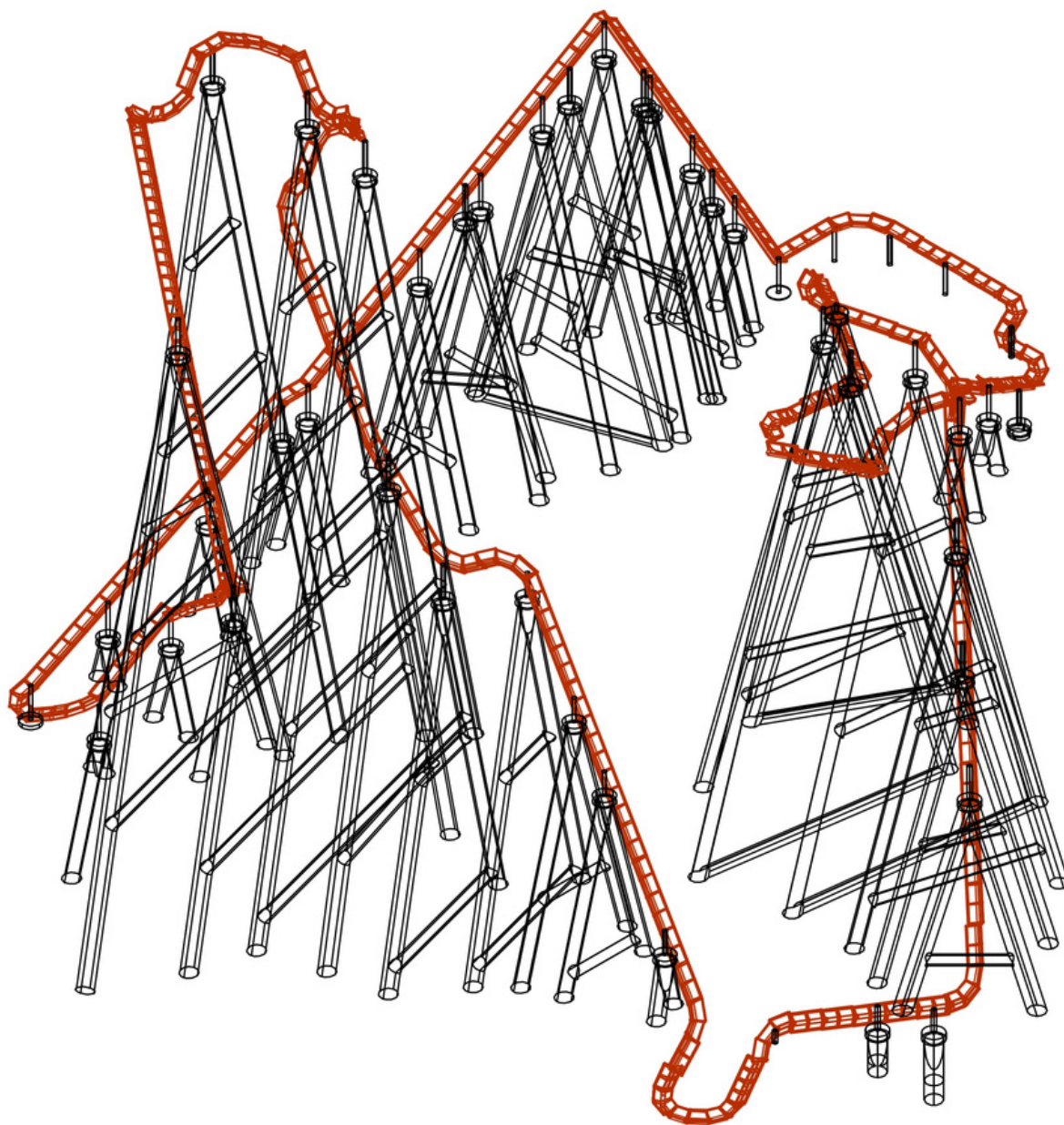
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

4

PLÀNOL ISOMÈTRIC APAISAT NORD
OEST
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



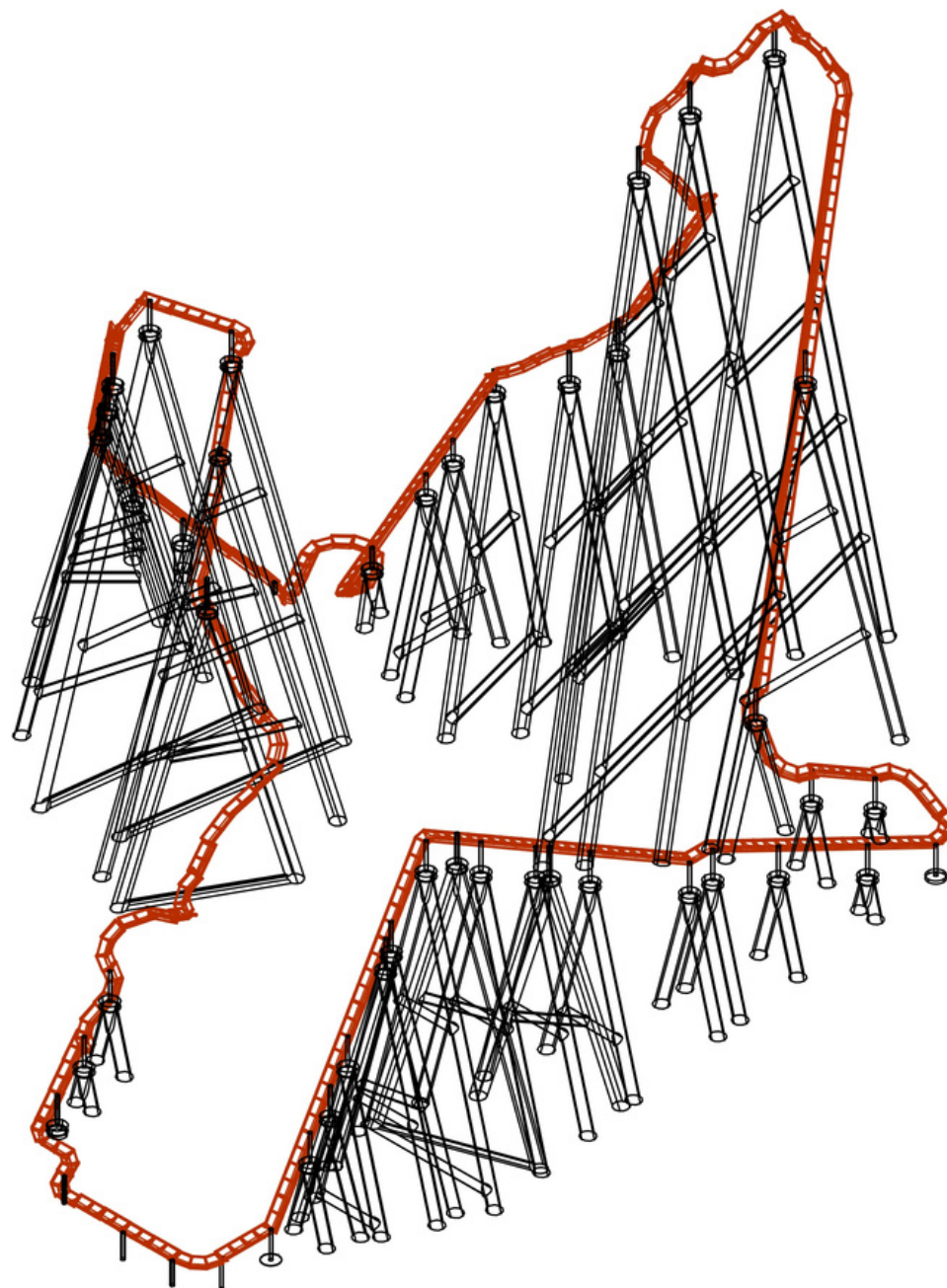
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

5

PLÀNOL ISOMÈTRIC APAISAT NORD
EST
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



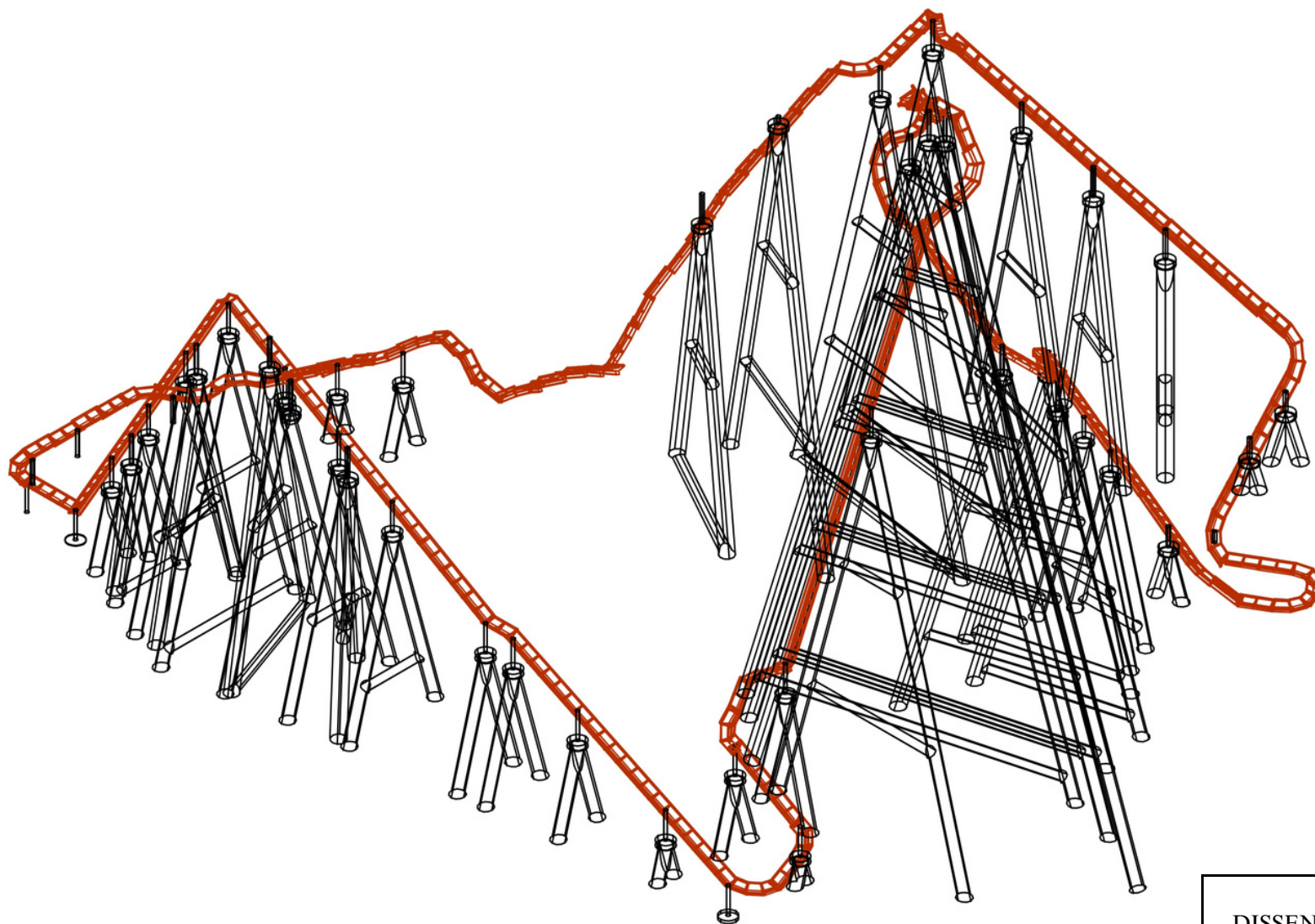
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

6

PLÀNOL ISOMÈTRIC APAISAT SUD
OEST
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



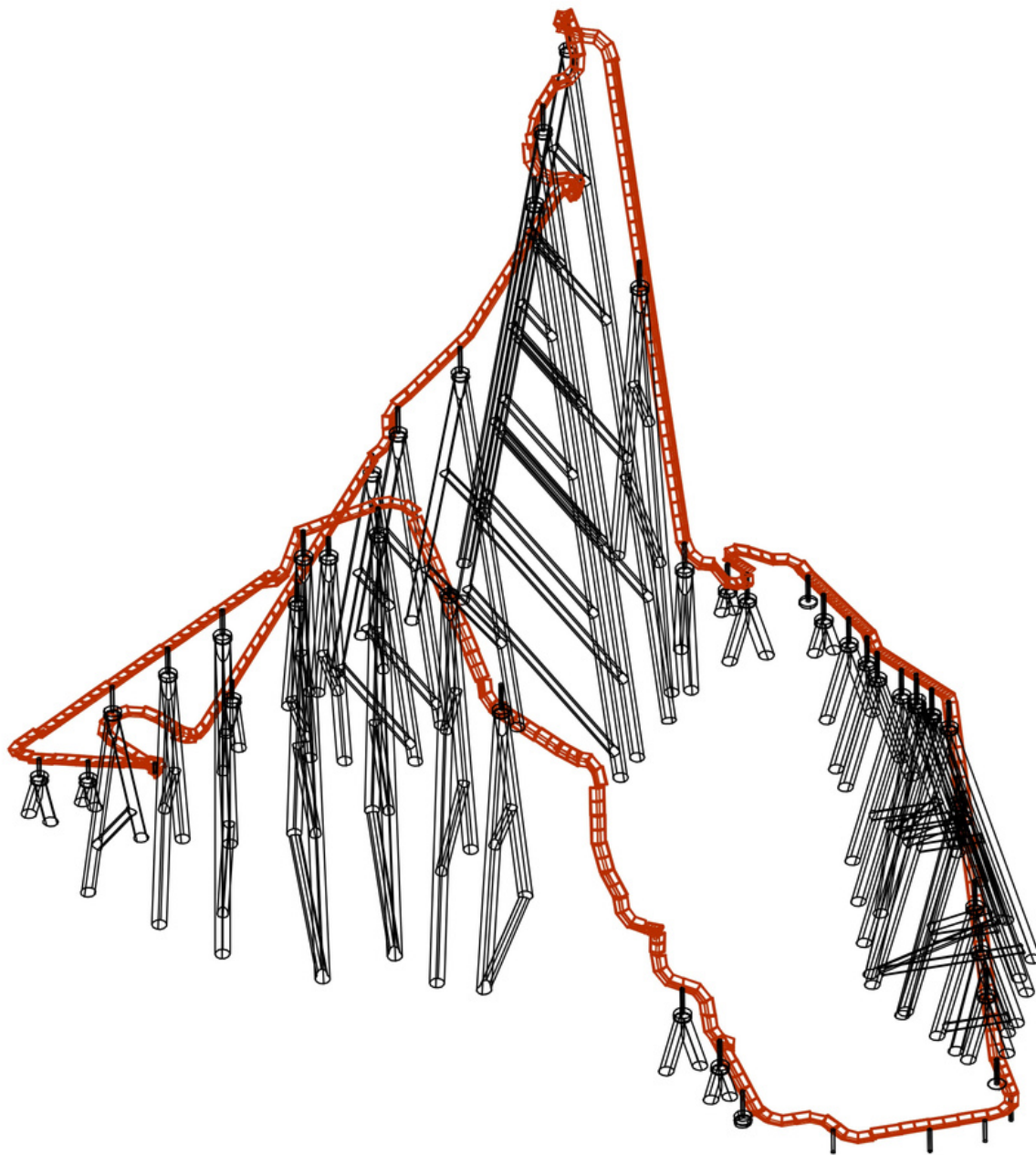
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

7

PLÀNOL ISOMÈTRIC APAISAT SUD
EST
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



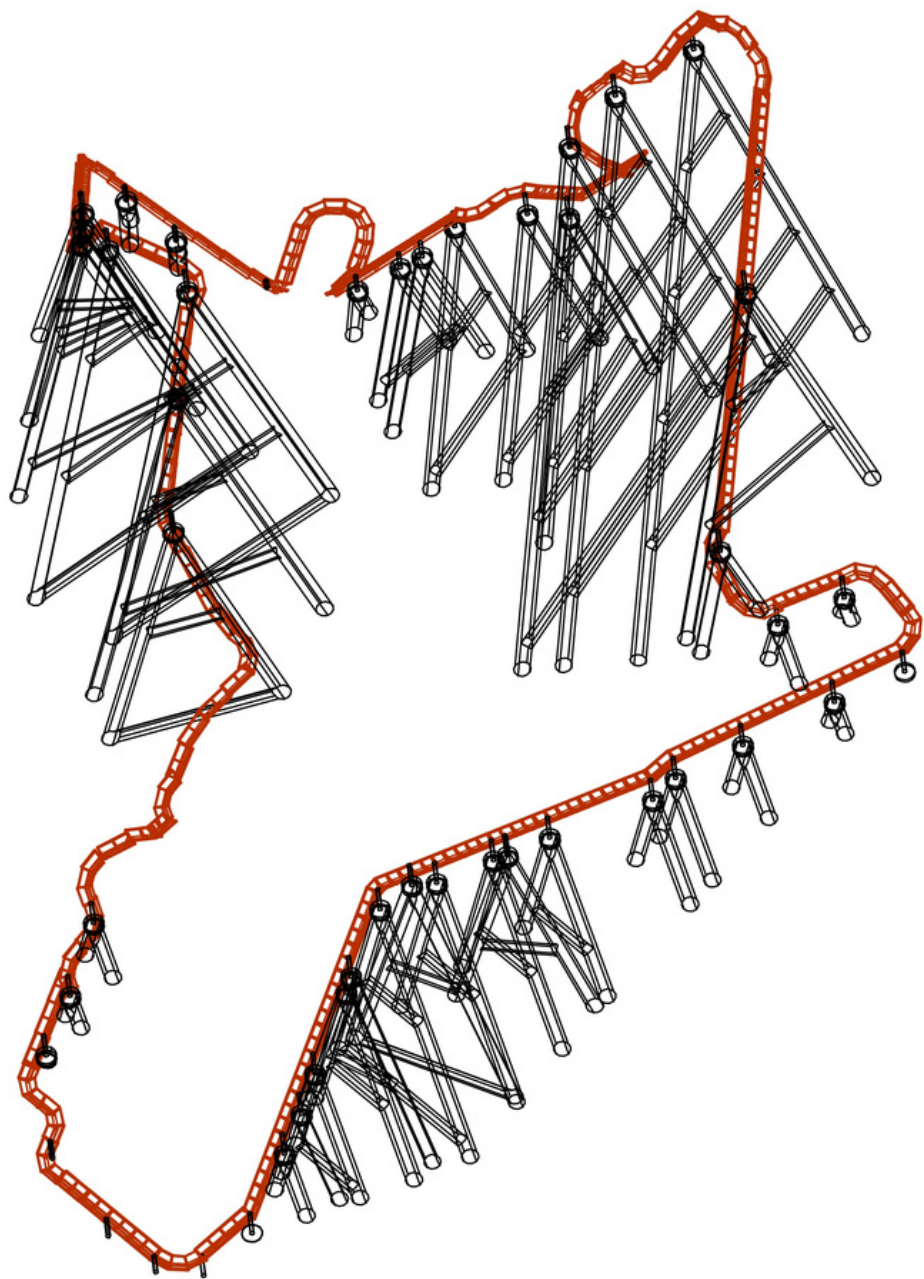
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

8

PLÀNOL VISTA D'OCELL 1
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



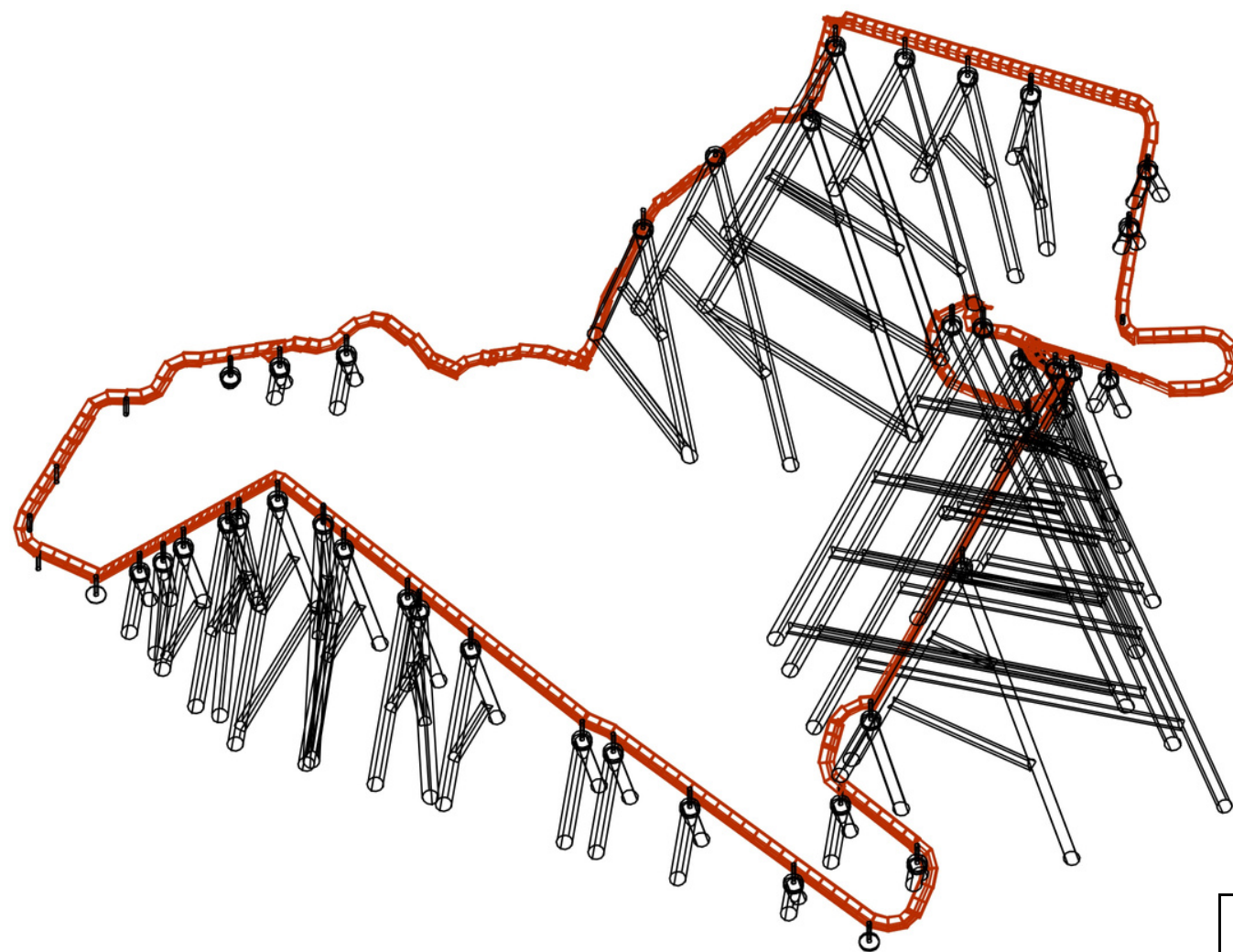
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

9

PLÀNOL VISTA D'OCELL 2
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



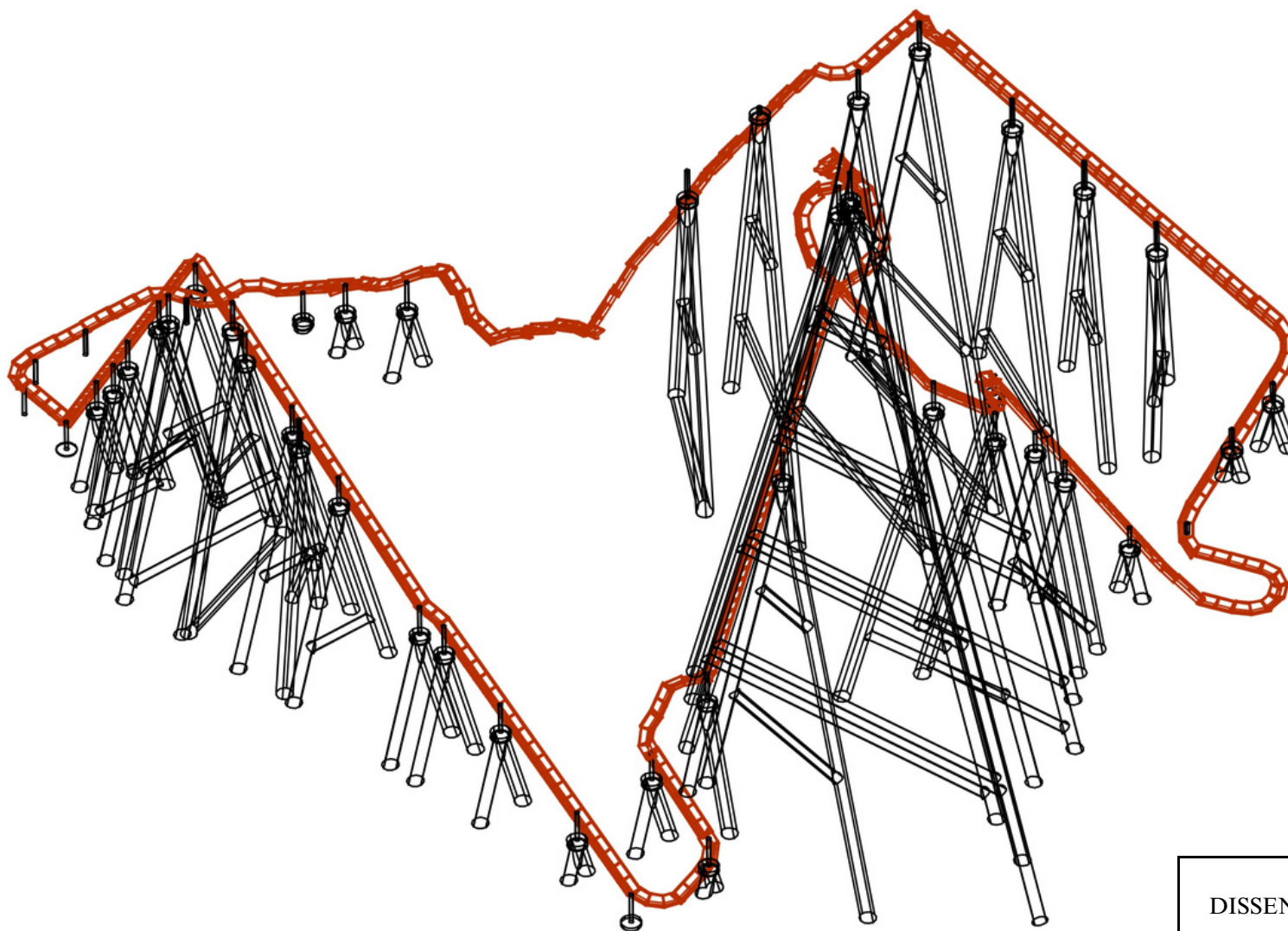
DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

10

PLÀNOL VISTA D'OCELL 3
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024



DISSENY 3D DE LA MUNTANYA RUSSA

11

PLÀNOL VISTA D'OCELL 4
E = 1/200

Kinabalu

Octubre 2024