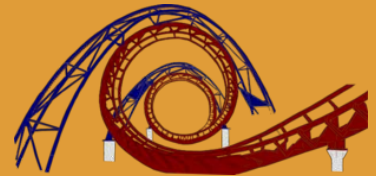




$$F_c = m \frac{v}{r^2}$$

# MUNTANYES RUSSES

DE LA TEORIA A LA PRÀCTICA

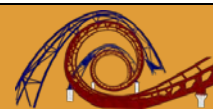


MARC SOSPEDRA

EMILI RIPOLL

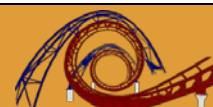
2n BATX A

CURS 2017/2018

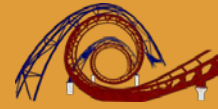


## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 MOTIVACIÓ DEL TREBALL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 OBJECTIUS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 CONTINGUT DEL TREBALL.....</b>	<b>4</b>
<b>2. LES MUNTANYES RUSSES .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 QUÈ SÓN?.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 NAIXEMENT I HISTÒRIA.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 ORIGEN (S. XVII) .....	5
2.2.2 INTERNACIONALITZACIÓ (S. XIX).....	6
2.2.3 INNOVACIÓ I EXPANSIÓ (S. XX).....	8
2.2.4 ELS DESAFIAMENTS (S. XXI).....	15
<b>2.3 ACTUALITAT, RÈCORDS I CURIOSITATS.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 ACTUALITAT .....	19
2.3.2 EL LLIBRE DELS RÈCORDS .....	20
2.3.4 CURIOSITATS.....	22
<b>2.4 LES MUNTANYES RUSSES I LES PERSONES.....</b>	<b>23</b>
2.4.1 ASPECTES PSICOLÒGICS .....	23
2.4.2 ASPECTES MÈDICS.....	25
2.4.3 SEGURETAT DE LES MUNTANYES RUSSES.....	29
<b>2.5 FABRICANTS I PARCS.....</b>	<b>31</b>
2.5.1 PRINCIPALS FABRICANTS DE MUNTANYES RUSSES .....	31
<b>2.6 CLASSIFICACIÓ DE LES MUNTANYES RUSSES.....</b>	<b>33</b>
2.6.1 SEGONS EL TIPUS DE TREN/VAGONETES.....	34
2.6.2 SEGONS EL TIPUS DE PROPULSIÓ.....	39
2.6.3 SEGONS LA SEVA ALÇADA.....	41
<b>2.7 PARTS D'UNA MUNTANYA RUSSA .....</b>	<b>42</b>
2.7.1 ELEMENTS BÀSICS .....	42
2.7.2 ELEMENTS D'EMOCIÓ.....	45
<b>2.8 EL DRAGON KHAN .....</b>	<b>50</b>
2.8.1 HISTORIA I PRINCIPALS CARACTERÍSTIQUES .....	50
2.8.2 DESCRIPCIÓ DEL RECORREGUT .....	53



<b>3. DE LA TEORIA.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 FÍSICA DE LES MUNTANYES RUSSES.....</b>	<b>57</b>
3.1.1 CONCEPTES BÀSICS .....	57
3.1.2 FORCES G EN UNA MUNTANYA RUSSA.....	64
3.1.3 CLOTOIDES, ELS LOOPINGS NO SÓN CIRCULARS.....	67
<b>4. A LA PRÀCTICA.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1 MESURES A LES ATRACCIONS DE PORT AVENTURA.....</b>	<b>69</b>
4.1.1 EINES UTILITZADES .....	69
4.1.2 PROCEDIMENT .....	70
<b>4.2 RESULTATS OBTINGUTS I ANÀLISIS .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3 REPRODUCCIÓ A ESCALA D'UN LOOPING VERTICAL .....</b>	<b>87</b>
4.3.1 PROCÉS CONSTRUCTIU .....	87
<b>5. CONCLUSIÓ.....</b>	<b>92</b>
<b>5.1 PRINCIPALS DIFICULTATS TROBADES.....</b>	<b>92</b>
<b>5.2 AGRAÏMENTS .....</b>	<b>93</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>94</b>
6.1 HISTORIA I ACTUALITAT DE LES MUNTANYES RUSSES .....	94
6.2 FÍSICA I FUNCIONAMENT DE LES MUNTANYES RUSSES .....	94
6.3 BASES DE DADES DE MUNTANYES RUSSES .....	96
6.4 MESURES D'ACCELERACIONS .....	96
6.5 FABRICANTS DE MUNTANYES RUSSES .....	96
6.6 DRAGON KHAN I ALTRES MUNTANYES RUSSES A CATALUNYA .....	97
6.7 KRAKEN .....	97
6.8 MESURES AMB SMARTPHONES .....	97
6.9 MESURES AMB IMATGES.....	98
6.10 LLIBRES I VIDEOS .....	98
6.11 APP'S I PROGRAMES .....	99



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1 MOTIVACIÓ DEL TREBALL

Després d'unes quantes incerteses, i algun que altre canvi d'opinió, finalment vaig decidir fer cas al que em deien que havia de fer alhora de triar el tema del Treball de Recerca : “escull allò que més t'agrada”. Així, un cop descartat qualsevol tema relacionat amb estar tombat al sofà, i deixant de banda allò que m'era més fàcil (tot el relacionat amb el bàsquet i la celiàquia), vaig fer literalment un salt al buit amb tirabuixó i looping inclòs tot decantant-me per les Muntanyes Russes. I com és això?, pensareu. Doncs perquè resulta que la meua passió amagada que pocs coneixen són les atraccions en general, i en particular les muntanyes russes. Des de ben petit ja era un fanàtic d'aquest tipus d'entreteniment tot sentit una gran fascinació per pujar i gaudir una i altra vegada de les acceleracions i velocitats que es senten en elles. Per sort vivim en un lloc on de forma mes o menys propera tenim a l'abast parcs d'atraccions del mes alt nivell (Port Aventura, Disneyland Paris, etc) els quals he tingut l'oportunitat de visitar en varies ocasions.

Més endavant ho he pogut combinar amb la tecnologia, tot fent ús dels jocs, com per exemple el *Roller Coaster Tycoon* o mes recentment amb algunes de les apps que hi ha sobre aquesta temàtica. Aquestes experiències també han estat molt importants a l'hora de decidir quin contingut donar-li al treball. Tot això per si sol tampoc hauria estat suficient sense una altra “passió”, la que al llarg del Batxillerat he tingut l'oportunitat de descobrir, gracies a l'assignatura de Física. Aquesta m'ha permès una nova forma de veure i entendre el que ens envolta, i tot i que a vegades la trobi una mica complicada haig de dir que és molt interessant i que m'agrada força.

## 1.2 OBJECTIUS

Segons les fonts consultades, una teoria és pot definir com un model de la realitat, usat per a racionalitzar, explicar i predir fenòmens. De vegades es presenta oposada a la pràctica i ambdues poden ser complementàries i no necessàriament excloents. D'acord amb el mètode científic (conjunt de tècniques utilitzades per investigar fenòmens, **adquirir nous coneixements, o corregir i integrar coneixements previs**), **una teoria ha de poder ser comprovada per mitjà de l'experimentació o l'observació.**



Així doncs fent servir aquestes definicions, “Muntanyes Russes de la Teoria a la Pràctica” pretén ser un recorregut en el sentit del text de l’anterior paràgraf, de manera que combinant la Teoria i la Pràctica s’intenta aprofundir en el coneixement de com funciona una Muntanya Russa. Així, podríem dir que el principal objectiu és precisament aquest, el d’entendre i aprendre com funciona una Muntanya Russa des de la vessant de la Física que en ella hi intervé.

A banda d’aquest objectiu principal també hi trobem altres tals com la familiarització amb la realització de treballs d’aquests tipus , l’ús d’eines ofimàtiques i tecnològiques, la cerca d’informació i el seu aprofitament, etc.

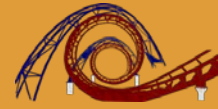
### **1.3 CONTINGUT DEL TREBALL**

A grans trets el contingut del treball es troba organitzat en tres parts. En la primera es fa un repàs de tot allò que he cregut important saber i conèixer sobre les muntanyes russes: la seva història, com son, qui les fa, on estan, la interacció amb les persones, etc. Aquest primer bloc es tanca amb un apartat específic pel Dragon Khan.

En la segona part hi apareixen aquells conceptes teòrics relacionats amb la física que ens permeten entendre i comprendre millor com funciona una muntanya russa.

Finalment en la tercera i darrera part es mostra el treball pràctic fet i s’analitza com aquest està relacionat amb els conceptes teòrics previs.





## 2. LES MUNTANYES RUSSES

### 2.1 QUÈ SÓN?

A grans trets podríem dir que les muntanyes russes són unes atraccions destinades al entreteniment i al lleure, normalment com a instal·lacions fixes en parcs d'atraccions o temàtics, i que consisteixen en un sistema especialitzat de ferrocarril amb unes vagonetes que pugen, baixen i fan voltes per uns rails segons esquemes específics. De forma genèrica les persones van subjectes a l'interior de les vagonetes, les quals acostumen a ser elevades per un pendent amb l'ajut d'un sistema mecànic accionat per un motor. Arribats a la part més alta del pendent, les vagonetes es deixen caure lliurement de tal manera que s'acceleren per tal d'assolir prou velocitat com per poder seguir el recorregut. Aquest pot ser senzill o força complex, incorporant elements tal com loopings, tirabuixons i corbes força tancades, tot cercant el generar en les persones sensacions de diversió i por.

### 2.2 NAIXEMENT I HISTÒRIA

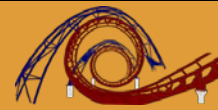
#### 2.2.1 Origen (S. XVII)

El que avui en dia coneixem com a muntanya russa podem establir que té els seus orígens a la Rússia del segle XVII, més en concret a la ciutat de Sant Petersburg, on es va construir uns rails fets de fusta i coberts de gel. D'aquí l'origen del seu nom.

Aquestes construccions estaven fetes amb el objectiu de mantenir els residents de la zona entretinguts durant els llargs hiverns russos. Consistien en una sèrie de torres de fusta, amb alçades que podien arribar fins als 30m, de les que hi sortien rampes a mode de tobogan que estaven cobertes de neu i gel per les quals les persones lliscaven mitjançant unes vagonetes en forma de trineus.

L'accés a les torres es feia mitjançant unes escales, mentre que uns monticles de amb pendent s'encarregaven de frenar els trineus. Aquesta forma d'entreteniment va arribar a ser tant popular que fins i tot l'emperadriu Catalina II la Gran, dona del Tsar Pere III, se'n va fer construir unes quantes en els seus jardins.

Al llarg dels anys, els rails de gel es van anar tornant més sofisticats, i es va començar a posar sorra al final de les rampes amb l'objectiu de frenar els trineus que eren utilitzats com a vagonetes.

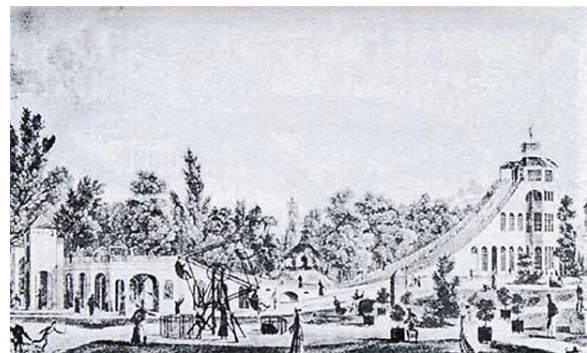


Gravats d'època de les primeres Muntanyes Russes a Rússia al S. XVII

Originalment, aquestes atraccions només podien ser utilitzades a l'hivern però a principis del 1800, les rodes van ser afegides a les vagonetes per tal de que l'atracció fos utilitzada durant tot el any. Els russos solien denominar a aquestes muntanyes russes "American Mountains", es a dir, Muntanyes Americanes, fet que resulta una mica irònic.

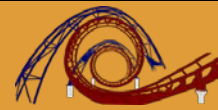
### 2.2.2 Internacionalització (S. XIX)

Es creu que els soldats russos que van ocupar Paris des del 1815 fins el 1816, després de la derrota de Napoleó a Waterloo, podrien ser els que van introduir a França la diversió de llençar-se en trineu per fortes pendents.



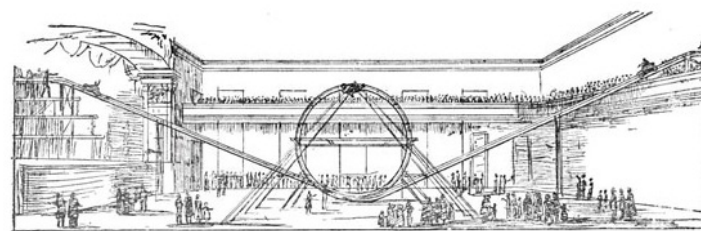
Reproduccions de les primeres Muntanyes Russes a França al S. XVII

Tot i això no va ser fins el 1817 quan un banquer anomenat Nicolas Beaujon va obrir un parc de diversió als Camp Elisis que incorporava una atracció inspirada en les muntanyes russes originals. Així, la anomenada *Promenades Aeriennes* tenia una caiguda d'uns 25 metres i on es podien assolir velocitats de fins a 64 Km/h. Incorporava vagonetes amb rodes fixades a uns rails que eren remolcades amb un sistema de cables fins a la part superior



d'una torre des d'on eren posteriorment alliberats per tal de baixar per una de les dues rampes en forma de corba que hi havia. En poc temps va haver fins a set atraccions similars a París : *Les Montagnes françaises, Le Delta, Les Montagnes de Belleville, Les Montagnes américaines, Les Montagnes susses i Les Montagnes égyptiennes.*

La següent data important a tenir en compte en la història de les muntanyes russes és l'aparició de la primera instal·lació fixe en forma de looping, la *Centrifugal Railway*, amb una caiguda de 13m i una alçada del bucle de 4m. Això va succeir l'any 1846 a París als jardins de Frascati.



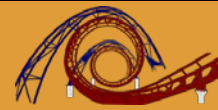
CENTRIFUGAL RAILWAY  
*Constructed by P. Esplan at St. Hippolyte and others from a model by M. H. Biot  
the Com. of Works, M. de B. & C. Al. Brancaster. The first constructed upon a scale  
large enough to convey a living Traveller. Railway 300 feet long  
Vertical Rise upwards of 40 feet in Curvature*

#### Centrifugal Railway a Paris l'any 1846

Després del seu establiment a França, és als Estats Units (EEUU) on es troben referències d'instal·lacions semblants a les muntanyes russes.

Així, cap el 1873, en el poble de *Mauch Chunk* (Pennsilvanià) adapten un tren miner de carbó abandonat per utilitzar-lo com a atracció tot fent pujar un vagó ple de gent per un fort pendent per a després deixar-lo caure lliurement. La velocitat màxima que podia assolir era d'uns 10 Km/h. Aviat és va fer força popular produint-se llargues cues de gent que pagava 5 cèntims de dollar per pujar, com va ser el cas del president dels EEUU Ulysses S. Grant.

A partir de la idea de l'adaptació del tren miner de *Mauch Chunk* s'obre al públic al 1884 a Coney Island (Brooklyn-NY) la primera muntanya russa comercial com a tal als EEUU. S'anomenava *Gravity Pleasure Switchback Railroad* i va ser dissenyada, patentada i

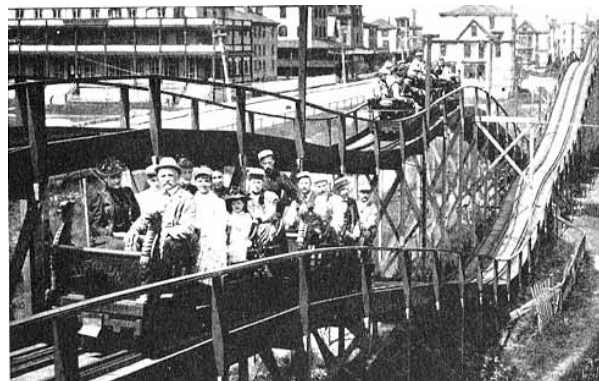


construïda per Marius Adna Thompson , motiu pel qual se'l considera com l'inventor de les muntanyes russes "modernes".



**Imatges del Mauch Chunk Switchback Railroad**

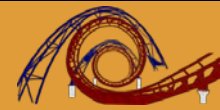
Aquesta atracció consistia en un recorregut ondulant d'uns 180m de llargada en els que les vagonetes es podien desplaçar a una velocitat d'uns 10 Km/h. En ella, i a diferència del tren Miner de Mauch Chunk, quan les vagonetes arribaven al final del trajecte eren empeses pels operaris per tal de fer el recorregut de tornada per una segona via. L'èxit de l'atracció va ser tal que en poc temps va aconseguir recuperar la inversió inicial de 1600\$.



**Gravity Pleasure Switchback Railroad a Coney Island (EEUU) a l'any 1884**

### **2.2.3 Innovació i expansió (S. XX)**

Amb la inclusió de l'electricitat i dels avenços en el terreny de l'enginyeria relacionada amb les muntanyes russes, aquestes van anar evolucionant al llarg del segle XX. Així poc a poc es van anar instal·lant en els parc tot convertint-se en les atraccions mes populars d'ells. Les

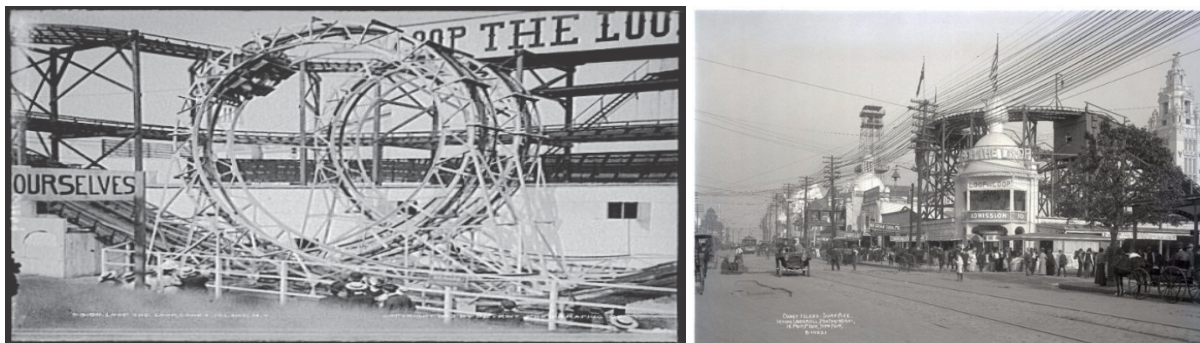


primeres estaven fetes amb complexes estructures de fusta (conegudes com a *Wooden Coasters*), tal com la *Leap-The-Dips*, inaugurada el 1902 al *Lakemont Park* a Pennsylvania i que està considerada com la muntanya russa de fusta en funcionament mes antiga del món.



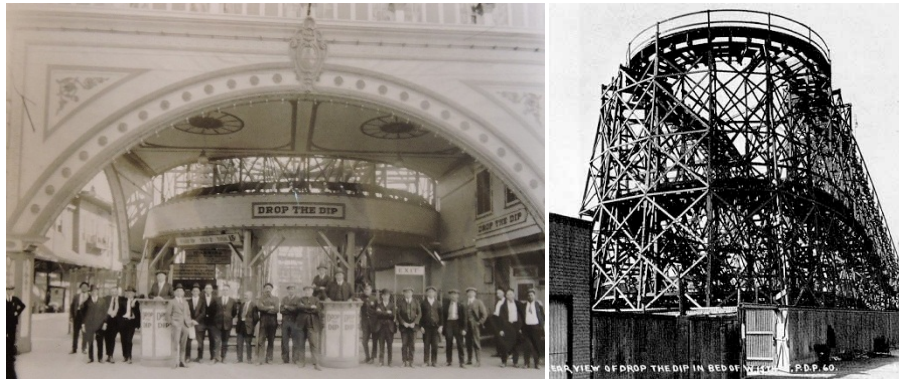
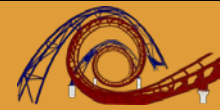
**Leap-The-Dips (1902), la muntanya russa en funcionament mes antiga del món**

D'aquesta mateixa època també hi trobem la anomenada *Loop The Loop* a Coney Island (1901), on comencen a aparèixer alguns dels elements que mes tard incorporaran les muntanyes russes modernes, com es el cas dels bucles o inversions.



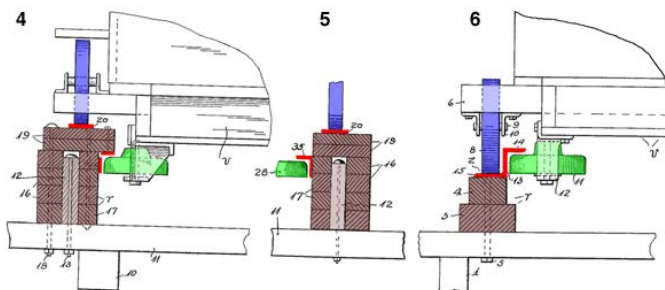
**Loop The Loop (1901)**

L'evolució de les muntanyes russes també va afectar a elements tals com la seguretat, imprescindibles per poder fer anar cada cop més ràpid les vagonetes al llarg de recorreguts mes exigents. Així per exemple al 1907 apareix la primera on es va introduir un barra de seguretat que impedia sortir volant als passatgers. Es deia *Drop-the-Dips* i es trobava al parc de Coney Island a Nova York.



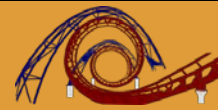
Drop-The-Dips (1907)

Mes endavant cap el 1912 John Miller (dissenyador de muntanyes russes, inventor i home de negocis americà) fa la primera patent d'un sistema de rodes de retenció, anomenat *Upstop*. Aquest sistema format per varies rodes permet retenir la vagoneta en el raïl fent que aquesta pugui assolir velocitats més elevades d'una forma segura. Pensat inicialment per les muntanyes russes amb rails de fusta va ser adaptat en posterioritat als rails metàl·lics.



Dibuixos de la patent i imatge d'un sistema Upstop a l'actualitat

Mes endavant, cap als anys 20, es produeix el que es considera com l'època daurada de les muntanyes russes a Amèrica. Aproximadament unes 2000 muntanyes russes de fusta van ser construïdes abans de que comences la Gran Depressió (fou una crisi econòmica mundial que es prolongà durant la dècada del 1930 on l'industria dels parcs d'atraccions és va veure fortament afectada). Exemples d'aquesta època són la *Jack Rabbit* (1920 – Kennywood, Pennsilvania), la *Wildcat* (1927 – Lake Compounce, Connecticut) i la més famosa de totes, la *Cyclone* (1927 - Coney Island, NY).



Muntanya Russa *Jack Rabbit* (1920)

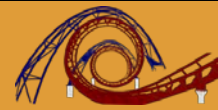
La *Cyclone*, del dissenyador John Miller, amb un recorregut d'uns 800m de llargària podia arribar als 96 Km/h gracies a una caiguda des d'una alçada d'uns 30m, el que va ser tot un rècord a la seva època.



Muntanya Russa *Cyclone* (1927)

Després de l'època daurada dels anys 20, no va haver cap avenç significatiu en les muntanyes russes fins a la dècada dels anys 50 quan va haver un gran canvi gracies a la utilització de ferro enlloc de fusta en les seves construccions. El més gran exponent d'això va ser l'aparició l'any 1959 de la *Matterhorn Bobsleds* al parc temàtic de Disneyland a California, on a més del ferro es comencen a fer servir materials plàstics per a la construcció de les vagonetes i altres parts de la muntanya russa. Això afavoreix que les atraccions s'ambientalitzin amb entorns relacionats amb elles.

Amb posterioritat, l'any 1966 apareix la *Mine Train* al parc Six Flags Over Texas (Dallas), sent la primera que incorpora un túnel sota l'aigua.



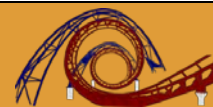
**Muntanya Russa *Mine Train* (1966)**

Cap a la dècada dels 70 té lloc un nou fet important en el desenvolupament de les muntanyes russes, l'aparició dels primers bucles o loopings i tirabuixons. Així l'any 1976 obre al públic la primera muntanya russa moderna que incorpora un bucle vertical : La *Great America Revolution* al parc Six Flags Magic Mountain (California, EEUU). L'alçada del bucle era d'aproximadament 27 metres i es podia assolir una velocitat màxima d'uns 88 Km/h.

També a l'any 1976 hi trobem la *Corksrew* al parc de Cedar Point a Ohio (EEUU), que a més del bucle vertical incorporava inversions seguides en forma de tirabuixó o llevataps (d'aquí el seu nom).



**Muntanya Russa *Great America Revolution* (1976)**



Muntanya Russa *Corkscrew* (1976)

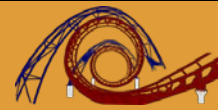
Ja a la dècada dels 80 s'inicia una cursa entre els diferents parcs i els fabricants per tal de tenir la muntanya russa més alta, més ràpida, amb més inversions, etc, etc, etc. Així per exemple trobem a l'any 1980 la primera muntanya russa amb 4 inversions (*Carolina Cyclone* al parc de *Carowinds* a Charlotte, EEUU), o a l'any 1989 la primera en arribar als 200 peus d'alçada (*Magnum XL-200* al parc de *Cedar Points* a Ohio, EEUU).



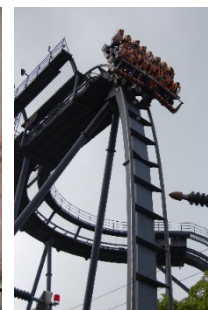
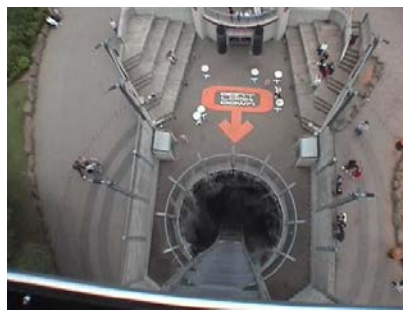
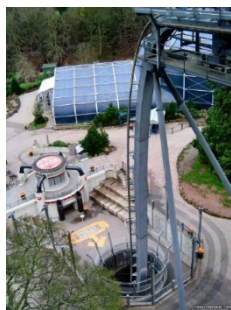
Muntanya Russa *Carolina Cyclone* (esquerra) i *Magnum XL-200* (dreta)

Tot seguit, a la dècada dels 90, continua la progressió cap el "mes difícil encara" fent aparició construccions com la *Batman* (1992, *Six Flags Great America*, Illinois, EEUU), considerada la primera amb recorregut invertit, la *Dragon Khan* (1995, *Port Aventura*, Catalunya) la primera amb 8 inversions al seu recorregut, la *Flight's of Fear* (1996, *Kings Dominion*, Virginia, EEUU) considerada com la primera on es va fer servir propulsió mitjançant un elèctric del tipus lineal, la *Tower of Terror* (1997, *Dreamworld*, Australia) primera on es va assolir les 100 mph, o la *Oblivion* (1998, *Alton Towers*, Anglaterra) considerada com la primera del tipus *Diving* o d'inmersió,

**MUNTANYES RUSSES  
DE LA TEORIA A LA PRACTICA**



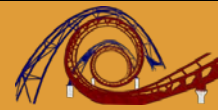
**Muntanya Russa *Batman* (esquerra), *Dragon Khan* (centre) i *Flight's of Fear* (dreta)**



**Muntanya Russa *Oblivion***



**Muntanya Russa *Tower of Terror***



#### 2.2.4 Els desafiaments (S. XXI)

Amb el pas del temps i amb l'arribada de les noves tecnologies es van millorar els dissenys, tot construint atraccions amb un cost comparatiu menor que suposen un total desafiament a les lleis de la física i a la capacitat de resistència del cos humà.

Tot just entrant al nou mil·lenni, a l'any 2000, obre al públic la muntanya russa Millennium Force al parc d'atraccions Cedar Point a Ohio (EUAU). Té una alçada màxima d'uns 310 peus (~94.5 m) que li permet arribar gairebé als 150 Km/h després de caure per un pendent de 80° d'inclinació. Tot seguit, a l'any 2001, trobem al Japó l'atracció Do-Dodonpa amb una caiguda d'uns 90°, la primera del món amb aquesta característica, que arriba als 172 Km/h.



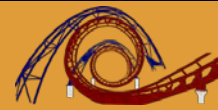
*Muntanya Russa Millennium Force (esquerra) i Do-Dodonpa (dreta)*

Al 2002 s'obre al parc Warner a Madrid la Superman, considerada com la primera del tipus "floorless", es a dir sense terra. Es substitueixen les clàssiques vagonetes per seients sense res a sota de forma que els viatgers vam amb les cames penjant.



*Muntanya Russa Superman*

Al mateix any 2002, obre al públic la muntanya russa X2 al parc Six Flags Magic Mountain a California (EUAU), sent la primera on els seients giren sobre si mateixos alhora que es fa el



recorregut, convertint-se en la primera d'un nou tipus de muntanya russa anomenada de "quarta dimensió".



Muntanya Russa X2

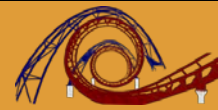
Al 2003 es bat un nou rècord en quan a la muntanya russa mes alta. Es tracta de la Top Thrill Dragster al parc Cedar Point a Ohio (EEUU) on es traspasa la barrera dels 400 peus (~128 m) arribant a velocitats d'aproximadament els 190 Km/h. Poc li va durar el rècord doncs a l'any 2005 hi trobem la Kingda Ka al parc Six Flags Great Adventure a New Jersey (EEUU), que amb els seus 456 peus (~139 m) i 206 Km/h estableix una nova marca mundial.



Muntanya Russa *Top Thrill Dragster* (esquerra) i *Kingda Ka* (dreta)

La següent data significativa es produeix l'any 2009 quan apareix la *Saw : The Ride* (Thorpe Park, Anglaterra) que presenta una caiguda lliure de 100°.

L'any següent, al 2010, obre al públic la que encara es a dia d'avui la muntanya russa més ràpida del món : la *Formula Rosa* al parc *Ferrari World* a Abu Dhabi (Emirats Àrabs). Els seus 240 Km/h en 4 segons encara no han estat superats.



Muntanya Russa Formula Rossa

En aquesta esbojarrada cursa dels “més difícil encara” hi tenim l’any 2011 la *Takabisha* al parc de *Fuji-Q Highland* al Japó, que amb una caiguda lliure de 121° bat l’anterior rècord del 2009 de la *Saw: The Ride*.



Muntanya Russa *Saw: The Ride* (esquerra) i *Takabisha* (dreta)

Mes endavant al 2013 hi tenim la *Full Throttle* al parc *Six Flags Magic Mountain* a Califòrnia (EEUU) que estableix un nou rècord en quan al bucle o looping mes alt del món amb 48.8 metres. També al 2013 hi ha la *The Smiler* al parc *Alton Towers* (Anglaterra) que es caracteritza per ser la primera amb 14 inversions al llarg del seu recorregut.



Muntanya Russa *Full Throttle* (esquerra) i *The Smiler* (dreta)



Al 2016 apareix la primera muntanya russa on es combina la mes avançada tecnologia en aquest camp amb la cada vegada mes estesa de la Realitat Virtual o VR (Virtual Reality). Es tracta de l'atracció *Galactica* a *Alton Towers* (Anglaterra) que utilitza com a base la muntanya russa del 2002 anomenada originalment *Air*.



**Muntanya Russa Galactica amb realitat virtual**



## 2.3 ACTUALITAT, RÈCORDS I CURIOSITATS

### 2.3.1 Actualitat

A l'actualitat hi ha escampades per tot el món una gran quantitat de muntanyes russes. Segons el Roller Coaster Database (RCDB) n'hi ha al voltant de 4500 englobades en els diferents tipus existents (veure capítol 2.4 Classificació de les Muntanyes Russes). Aquest nombre va augmentant any a any, així segons la mateixa font al 2016 es van construir unes 207 de noves, mentre que en el que portem d'any 2017 ja n'hi unes 238 mes. La previsió per l'any 2018 és de moment d'un 120 addicionals.

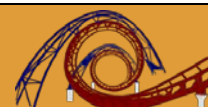
Continentes	Acero								Madera		Totales sumadas	
	Bobsled	Flying	Inverted	Pipeline	Sit Down	Stand Up	Suspended	Wing	Bobsled	Sit Down		
África	-	-	3	-	89	-	-	-	-	72	-	72
Asia	-	6	69	4	2006	4	19	5	-	23	2106	2131
Australia	-	-	2	-	23	-	-	-	-	2	25	27
Europa	5	5	35	-	1070	2	16	7	-	37	1135	1172
North America	3	11	49	-	677	6	7	11	1	122	752	865
South America	-	-	4	-	162	-	4	-	-	1	170	171
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>153</b>	<b>4</b>	<b>4001</b>	<b>11</b>	<b>48</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	<b>185</b>	<b>4272</b>	<b>4458</b>

Nombre i distribució de muntanyes russes al món segons el RCDB

A dia d'avui la cerca de muntanyes russes més altes i més ràpides continua endavant. Un exemple d'això es la muntanya russa prevista pel 2022 al parc Skyplex (actualment en construcció) a Orlando (Florida, EEUU). Es dirà *Skyscraper*, es construirà al voltant d'una gran torre i tindrà uns 150 metres d'alçada i la caiguda mes pronunciada i la inversió mes forta fins ara construïda.



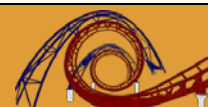
Muntanya russa *Skyscraper* prevista pel 2022



### 2.3.2 El Llibre dels Rècords

Mentrestant no arriba el 2022 podem gaudir de tot un seguit d'atraccions que a dia d'avui suposen tot un repte pels valents que hi pugen. Així dins del top de la classificació dels diferents rècords d'alçada, velocitat, caiguda , etc. , ens trobem amb les muntanyes russes que apareixen en la següent taula on també s'han inclòs aquelles que tenim properes i que podem identificar fàcilment.

Muntanyes Russes de Rècord	
Les més Ràpides	1 <sup>a</sup> al món: 240 Km/h - <b>Formula Rossa</b> – Ferrari World Abu Dahbi (Abu Dahbi, EAU, 2010) 2 <sup>a</sup> al món: 206 Km/h - <b>Kingda Ka</b> – Six Flags Great Adventure (New Jersey, EEUU, 2005) 3 <sup>a</sup> al món: 193.1 Km/h - <b>Top Thrill Dragster</b> – Cedar Point (Ohio, EEUU, 2003)
	4 <sup>a</sup> al món: 180 Km/h, - <b>Red Force</b> – Ferrari World Port Aventura (Catalunya, 2017)
Les més Altes	1 <sup>a</sup> al món: 139 m - <b>Kingda Ka</b> – Six Flags Great Adventure (New Jersey, EEUU, 2005) 2 <sup>a</sup> al món: 128 m - <b>Top Thrill Dragster</b> – Cedar Point (Ohio, EEUU, 2003) 3 <sup>a</sup> al món: 126.5 m - <b>Superman</b> – Six Flags Magic Mountain (California, EEUU, 1997)
	5 <sup>a</sup> al món: 112 m - <b>Red Force</b> – Ferrari World Port Aventura (Catalunya, 2017)
Les més Llargues	1 <sup>a</sup> al món : 2479 m - <b>Steel Dragon 2000</b> – Hagashima Spa Land (Nagashima, Japó, 2000) 2 <sup>a</sup> al món : 2268 m - <b>Ultimate</b> – Lightwater Valley (Ripo, Anglaterra, 1991) 3 <sup>a</sup> al món : 2243 m - <b>Beast</b> – King Island (Ohio, EEUU, 1979)
	4 <sup>a</sup> a Europa : 1564 m - <b>Shambala</b> – Port Aventura (Catalunya, 2012)
Les de més Caiguda	1 <sup>a</sup> al món: 127 m - <b>Kingda Ka</b> – Six Flags Great Adventure (New Jersey, EEUU, 2005) 2 <sup>a</sup> al món: 121.9 m - <b>Top Thrill Dragster</b> – Cedar Point (Ohio, EEUU, 2003) 3 <sup>a</sup> al món: 100m - <b>Superman</b> – Six Flags Magic Mountain (California, EEUU, 1997)
	8 <sup>a</sup> al món : 78 m - <b>Shambala</b> – Port Aventura (Catalunya, 2012)
Amb més Inversions	1 <sup>a</sup> al món : 14 - <b>The Smiler</b> – Alton Towers (Alton, Anglaterra, 2013) 2 <sup>a</sup> al món : 10 - <b>Colossus</b> – Thorpe Park (Surrey, Anglaterra, 2002) 3 <sup>a</sup> al món : 8 - <b>Dragon Khan</b> – Port Aventura (Catalunya, 1995)
	4 <sup>a</sup> al món : 7 - <b>Superman</b> – Parque Warner (Madrid, Espanya 2002)
Amb major Força G	1 <sup>a</sup> al món : 6.3 G - <b>Tower of Terror</b> – Gold Reef City (Johannesburg, Sudàfrica, 2001) 2 <sup>a</sup> al món : 5.9 G - <b>Shock Wave</b> – Six Flags Over Texas (Texas, EEUU, 1978) 3 <sup>a</sup> al món : 5.2 G - <b>Boomerang</b> – Six Flags Discovery Kingdom (California, EEUU, 1998)
	7 <sup>a</sup> al món : 4.7 G - <b>Furious Baco</b> – Port Aventura (Catalunya, 2007)



Amb major Pendent	1 <sup>a</sup> al món : 121° - <b>Takabisha</b> – Fuji-Q Highland (Japó, 2011) 2 <sup>a</sup> al món : 120.5° - <b>Green Lantern</b> – Warner Bros Movie World (Australià, 2011) 3 <sup>a</sup> al món : 120° - <b>Crazy Bird</b> – Happy Valley Tianjin (China, 2013)
	?? al món : 76° - <b>Shambala</b> – Port Aventura (Catalunya, 2012)
Amb la Inversió més alta	1 <sup>a</sup> al món : 51.8 m - <b>GateKeeper</b> – Cedar Point (Ohio, EEUU, 2013) 2 <sup>a</sup> al món : 48.8 m - <b>Full Throttle</b> – Six Flags Magic Mountain (California, EEUU, 2013) 3 <sup>a</sup> al món : 47.2 m - <b>Volcano The Blast Coaster</b> – Kings Dominion (Virginia, EEUU, 1998)
	4 <sup>a</sup> al món : 46.2 m - <b>Abismo</b> – Parque de Atracciones de Madrid (Madrid, Espanya, 2006)
Amb la major Acceleració de Llançament	1 <sup>a</sup> al món : 32.1 m/s <sup>2</sup> (~3.27 G) – <b>Do-Dodonpa</b> – Fuji-Q Highland (Japó, 2001) 2 <sup>a</sup> al món : 22.2 m/s <sup>2</sup> (~2.3 G) – <b>Ring Racer</b> – Nürburgring (Alemanya, 2013) 3 <sup>a</sup> al món : 19.8 m/s <sup>2</sup> (~2.0 G) – <b>Fluch von Novgorod</b> – Hansa Park (Alemanya, 2009)
	?? al món : 10 m/s <sup>2</sup> (~1.0 G) – <b>Red Force</b> – Ferrari World Port Aventura (Catalunya, 2017)
Amb la millor Valoració dels usuaris	1 <sup>a</sup> al món : <b>Expedition GeForce</b> – Holiday Park (Alemanya, 2001) 2 <sup>a</sup> al món : <b>New Texas Giant</b> – Six Flags Over Texas (Texas, EEUU, 2011) 3 <sup>a</sup> al món : <b>Intimidator 305</b> – Kings Dominion (Virginia, EEUU, 2010)
	8 al món : <b>Shambala</b> – Port Aventura (Catalunya, 2012)



### 2.3.4 Curiositats

El nom amb el que originalment es coneixien les muntanyes russes al seu lloc d'origen, Rússia, era precisament "Amerikanskie Gorki" que vol dir Muntanyes Americanes. En canvi als Estats Units i a gran part del món se les coneix per "Roller Coaster". Aquest nom es creu que es deu a que en les primeres atraccions d'aquest tipus s'utilitzaven plataformes que lliscaven per sobre de tubs o rodets que en anglès es diuen "rollers".

El primer cop que es té constància de l'ús d'aquest terme es al 1885 al poble de Salisbury a Massachusetts (EEUU) on Stephen E. Jackman i Byron B. Van construïren una muntanya russa anomenada Roller Tobogan.

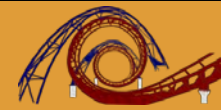


Muntanya russa *Roller Tobogan* (1885)

El dia 16 d'Agost es celebra als Estats Units el Dia Nacional del Roller Coaster (National Roller coaster Day). Aquest any 2017 ha estat la 31ª edició en la que s'han commemorat els 200 anys de la inauguració de la primera muntanya russa a París. La data del 16 d'Agost va ser escollida per un diari nord-americà en record d'una de les primeres patents d'una muntanya russa de fusta (J.G.Taylor, 1872).



Rètol del Dia Nacional de les Muntanyes Russes als EEUU



## **2.4 LES MUNTANYES RUSSES I LES PERSONES**

Tal com hem pogut veure al capítol sobre la història de les muntanyes russes el principal objectiu des dels seus ha estat el de servir de mitjà de diversió i entreteniment. Amb el pas del temps tant els coneixements com les possibilitats constructives han permès la evolució des dels tobogans de neu i gel originals fins a les increïbles atraccions que podem trobar a dia d'avui en el parcs de tot el món.

### **2.4.1 Aspectes psicològics**

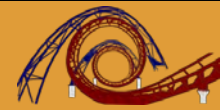
Les muntanyes russes proporcionen actualment una cada cop mes buscada diversió per la societat. Les seves actuals característiques fan que, més enllà de la diversió pròpiament, dita generin sensacions i sentiments com el risc, pànic, l'afany de superació, l'excitació, mareigs, etc. En tal cas, què empeny a les persones a pujar-hi tot i saber que durant una estona seran sotmeses a sacsejades, acceleracions fortes, inversions, etc? Què és el que fa a les muntanyes russes prou atractives com per a tenir aquest efecte hipnotitzador? Aquest efecte és igual per a tothom? Depèn de l'edat, de les característiques de l'atracció?

Hi ha psicòlegs que son de la opinió que aquests tipus d'emocions son particularment atractives per a gent amb una personalitat descrita com la de "buscadors d'emocions", que es caracteritza per estar sempre buscant la varietat, la novetat, la intensitat i el risc. Això voldria dir que els addictes a la adrenalina de les muntanyes russes podrien tenir una necessitat neurològica que els impulsa a buscar les emocions físiques intenses, i que els faria pujar una i una altra vegada a la mateixa muntanya russa quan en canvi la resta de persones ho proven només un cop.



**Les muntanyes russes generen diferents reaccions en les persones**

D'altres en canvi sostenen que l'atractiu de les muntanyes russes recau en la il·lusió del domini de la por enfront d'una amenaça, el que genera un sentiment de satisfacció després de comprovar que s'està sa i estalvi. Aquestes persones volen enfrontar-se a un pendent que els terroritzi, tal com fan els paracaigudistes o els esquiadors. Després de la immersió



en el perill es genera una sensació d'alleujament i benestar immensa al no materialitzar-se el perill.

Totes aquestes qüestions són tingudes en compte pels dissenyadors de les muntanyes russes, els quals sobretot utilitzen el temor que genera la pèrdua de control que sent una persona al pujar en una d'aquestes atraccions. Un cop que son a la vagoneta els passatgers no poden fer res mes que seure, o en alguns casos estar de peu, i cridar. Tot forma part d'un joc psicològic que sovint s'inicia fins i tot abans d'accedir a la atracció.

Tant se val si es tracta de una muntanya russa de fusta tradicional o una de ferro moderna, totes utilitzen dos temors universals relacionats entre ells : la por a les alçades i la por a caure. Una muntanya russa podrà tenir tots el girs que es vulgui però sempre haurà de tenir una gran caiguda.

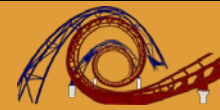


**Muntanya russa *Kingda Ka* (139m, 206 Km/h)**

El tipus de vagoneta també hi juga el seu paper ja que segons sigui aquesta, i el sistema de fixació de la persona a ella, la sensació d'estar protegit o exposat augmenta considerablement.

En aquelles muntanyes russes que no tenen grans caigudes es pot recórrer a les fortes acceleracions i grans velocitats per generar el temor, com succeeix en les que el recorregut s'inicia amb una mena de llançament previ. N'hi ha inclús que combinen ambdós aspectes, tal com la Kingda Ka. Igualment les fortes acceleracions que es generen als girs, o les inversions consecutives busquen generar en les persones la sensació de desorientació.

Un altre que també té la seva importància en aquest joc psicològic son els sons. Així en les muntanyes russes tradicionals es proporciona un accés lent a la primera caiguda, tot accedint per un llarg pendent on les vagonetes solen anar remolcades per un sistema de cadena que els hi proporciona un soroll característic. En les de fusta, a més es juga amb els



cruijts que es generen en la seva estructura i que fan pensar a més d'un que es trencarà en qualsevol moment. En les de ferro per exemple el disseny es fa a vegades buscant que el soroll del pas de les vagonetes s'amplifiqui a fi d'augmentar mes l'efecte.



**Muntanyes russes amb túnels i amb recorreguts a les fosques**

Precisament en algunes atraccions s'utilitza la foscor i els llums intensos per incrementar la sensació d'incomoditat i temor. Sovint això s'aconsegueix fent passar les vagonetes a alta velocitat per l'interior d'un tub o túnel, com és el cas de la Oblivion. En d'altres tot el recorregut es cobert i a les fosques, com es el cas de la Space Mountain i de la Roller 'n' Rock. La incorporació de les darreres tecnologies en el camp de la realitat virtual obren tot un ventall de possibilitats als fabricants per tal de incrementar encara mes les sensacions que es poden arribar a experimentar dalt d'una muntanya russa.

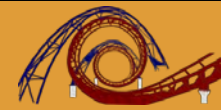


**Utilització de la realitat virtual a les muntanyes russes**

#### **2.4.2 Aspectes mèdics**

Des d'un punt de vista mèdic moltes son les opinions i els estudis que s'han fet en relació a com afecta a l'organisme d'una persona el pujar a una muntanya russa de les considerades "extremes", tal com pot ser algunes de les mes properes a nosaltres (Dragon Khan, Shambhala, etc).

Tot allò que fa divertida a una muntanya russa pot resultar perjudicial per a persones susceptibles de tenir algun problema de salut. Per aquest motiu es habitual que abans



d'accedir a determinades atraccions hi trobem rètols informatius indicant dels perills que pot suposar el pujar-hi en cas de patir algun problema físic.

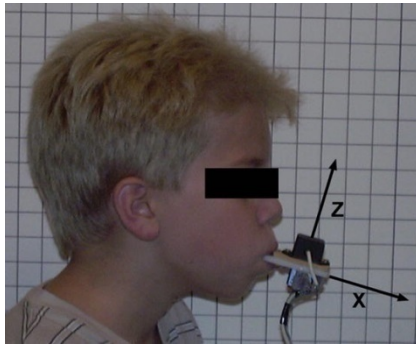
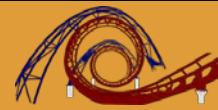


*Rètol de seguretat a l'atracció Green Lantern (Six Flags Magic Mountain, EEUU)*

Encara que no es tingui cap problema de salut cal igualment tenir en compte que en aquests tipus d'atraccions hi intervenen forces puntuals de gran magnitud que sobrepassen a les que estem normalment acostumats a rebre, tal com es mostra en la següent taula.

<b>1 G</b>	Força "normal" a la que estem sotmesos quan caminem
<b>3.5 G</b>	Força sostinguda experimentada pels astronautes del Space Shuttle
<b>4 - 5 G</b>	Força puntual a la que podem estar sotmesos en una muntanya russa extrema
<b>5 G</b>	Força sostinguda en la que s'acostuma a perdre el coneixement
<b>6.3 G</b>	Major força puntual que es genera en una muntanya russa (Tower of Terror)
<b>8 - 10 G</b>	Força puntual a la que es veu sotmès un pilot de caces de combat

Així aquestes forces exerceixen una gran pressió sobre l'esquelet, múscles i sistema cardiovascular de les persones. Per exemple una força de 4G implica que el cap pot arribar a pesar 4 cops més del que normalment fa, de tal manera que els lligaments, musculatura i ossos que el sostenen han de suportar-ho generant un esforç pel que potser no estan preparats. Per veure fins a quin punt tot això pot afectar a una persona es realitzen tota mena d'estudis mèdics. Sovint aquests estudis els porten a terme els mateixos dissenyadors/fabricants d'una muntanya russa per tal de determinar si es viable per a la salut de les persones. Per fer-ho s'utilitzen instruments de mesura fixats a les persones o s'utilitzen dummies o maniquins equipats amb multitud de sensors.



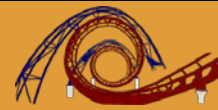
*Mètodes per a la mesura de les forces sobre les persones*

Un clar exemple de la importància de totes aquestes qüestions es el cas de l'anomenada Euthanasia Coaster, o muntanya russa assassina. El disseny conceptual d'aquesta atracció de 510 metres d'alçada està fet amb el propòsit de causar la mort als seus passatgers mitjançant la hipòxia cerebral (no deixar arribar oxigen al cervell). Per fer-ho sotmet a les persones a tot un seguit d'inversions consecutives durant uns 60 segons (fins a 7) generant sobre d'elles una força màxima de 10G.



*Euthanasia Coaster (Julijonas Urbonas, 2010)*

Ara be, no tot han de ser qüestions perjudicials per a la salut de les persones. Darrerament s'ha fet públic un estudi dut a terme per investigadors de la Universitat Estatal de Michigan (East Lansing, EEUU) on s'avalua fins a quin punt el pujar a una muntanya russa pot servir per tal d'eliminar pedres als ronyons. Així l'estudi, publicat a la revista "The Journal of the American Osteopathic Association" mostra com el fet de pujar a una muntanya russa d'intensitat mitjana pot ajudar a eliminar de forma espontània les pedres petites que puguin haver dins d'un ronyó abans que aquestes es facin més gran, i que no poden ser eliminades normalment orinant.

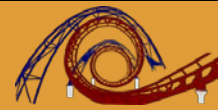


L'objectiu de l'estudi va ser verificar si era cert el que havien dit diversos pacients, els quals asseguraven que després d'haver pujat a la muntanya russa "Big Thunder Mountain Railroad" (Disney World, Orlando, EEUU) havien pogut dissoldre de forma complerta les pedres que tenien als ronyons. Per fer-ho van crear un model anatòmic de silicona d'un ronyó amb una impressora 3D i el van omplir amb orina i amb càlculs renals de diferents mides que van col·locar a diferents llocs dels conductes interns del ronyó. Un cop fet això van ficar el ronyó artificial dins d'una motxilla i es van pujar diverses vegades a diferents atraccions del parc de Disney World.



*Big Thunder Mountain Railroad a Disney World (Orlando, EEUU)*

Les atraccions triades van ser precisament la Big Thunder Mountain Railroad, la Space Mountain i la Rock 'n' Roller Coaster Aerosmith. La primera d'elles es una atracció tipus "Tren de la Mina" amb velocitats màximes de 56 Km/h i baixa força G i cap inversió, mentre que les altres dos es caracteritzen per tot el contrari (velocitats properes als 90Km/h, forces de fins a 5 vegades la gravetat i gran nombre d'inversions). Sorprenentment van poder observar com només en la Big Thunder l'experiment va funcionar. Així doncs la muntanya russa ideal per aquesta mena de tractament mèdic seria una de ràpida, amb alguns girs i voltes i sense inversions. A més, amb l'estudi també van poder comprovar com l'efecte era diferent en funció de quin vagó es feia servir, de tal manera que era molt més efectiu seure a la darrera fila.



### 2.4.3 Seguretat de les muntanyes russes

Una de les principals conseqüències del “joc psicològic” que s’ha comentat abans dins d’aquest capítol és la sensació de inseguretat que poden generar les muntanyes russes. Això ens porta a pensar en si realment ho son de segures.

Des de la vessant de la prevenció cal dir que tant els mecanismes de seguretat i retenció de les persones (cinturons, arnesos, etc) com els sistemes de la pròpia atracció estan fortament regulats i son sotmesos a inspeccions regulars. De fet es habitual que abans de l’obertura dels parcs al públic es facin recorreguts de prova on les persones son substituïdes per maniquins de plàstic plens d’aigua per tal de simular el pes de les persones.

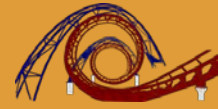


*Utilització de maniquins per a la verificació del funcionament de les muntanyes russes*



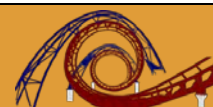
*Treballs d’inspecció de les muntanyes russes*

Per tal d’establir tots els aspectes relacionats amb la seguretat, els fabricants de muntanyes russes d’arreu del món han creat diverses associacions, tals com la IAAPA (International Association of Amusement Parks and Attractions – Associació Internacional de Parcs de Diversió i Atraccions) amb seu a Orlando (EEUU). A través d’aquestes associacions elaboren procediments i protocols de seguretat que han de complir totes les muntanyes russes a fi de garantir que no suposen cap perill per a les persones. Malauradament tot i això s’han arribat a produir accidents força greus, que en la majoria de les vegades han tingut mes a veure amb errors humans o amb l’incompliment per part dels passatgers de les normes de seguretat.



*Es important respectar les normes de seguretat en una muntanya russa*

Tot i que es difícil de precisar, la probabilitat de patir un accident a una muntanya russa es menor que la de rebre l'impacte d'un llamp. Només als Estats Units es calcula que uns 300 milions de persones van fer ús de les muntanyes russes l'any 2014, de les quals 380 aproximadament van haver de ser ateses per algun incident en el seu ús.



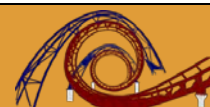
## 2.5 FABRICANTS I PARCS




### 2.5.1 Principals Fabricants de Muntanyes Russes

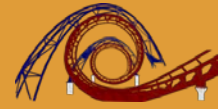
Totes aquestes muntanyes russes modernes existeixen en part gràcies a les grans inversions econòmiques que es fan per que hi siguin en un parc d'atraccions, i en part gràcies a les empreses especialitzades que les conceben, dissenyen i construeixen. Actualment les principals empreses del sector son les que es mostren tot seguit.

Principals Fabricants		
Fabricant	Descripció	Exemples de Muntanyes Russes Fabricades
	<p>Fou fundada a Suïssa l'any 1988 i en l'actualitat té prop de 80 muntanyes russes operatives al món. Ha estat una de les principals empreses alhora de desenvolupar la tecnologia actual de les muntanyes russes així com de crear-ne nous tipus com és el cas del les Invertides. Actualment n'hi ha 113 de les 114 que ha construït fins ara</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Dragon Khan</i> (Port Aventura)</li> <li>- <i>Shambhala</i> (Port Aventura)</li> <li>- <i>Superman</i> (Parque Warner)</li> <li>- <i>Batman</i> (Parque Warner)</li> <li>- <i>Fury 325</i> (Carowinds)</li> <li>- <i>Leviathan</i> (Canada's Wonderland)</li> <li>- <i>Kraken</i> (Seaworld Orlando)</li> </ul>
	<p>Fundada l'any 1967 a Suïssa ha dissenyat i construït mes de 70 muntanyes russes al voltant de tot el món incloent la mes alta fins avui. Ha construït fins a 149 atraccions de les quals 136 encara existeixen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Kingda Ka</i> (Six Flags Great Adventure)</li> <li>- <i>Top Thrill Dragster</i> (Cedar Point)</li> <li>- <i>Superman</i> (Six Flags Magic Mountain)</li> <li>- <i>Tower of Terror</i> (Dreamworld)</li> <li>- <i>Formula Rossa</i> (Ferrari World)</li> <li>- <i>Colossus</i> (Thorpe Park)</li> <li>- <i>Red Force</i> (Ferrari Land)</li> </ul>
	<p>Fundada l'any 2001 te la seva seu a Hayden, Ohio (EEUU). En l'actualitat té 11 muntanyes russes en funcionament. Està especialitzada en muntanyes russes de fusta. En total ha construït 17 muntanyes russes que encara es troben en funcionament.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Goliath</i> (Six Flags Great America)</li> <li>- <i>The Joker</i> (Six Flags Discovery Kingdom)</li> <li>- <i>Wildfire</i> (Kolmården Wildfire Park)</li> <li>- <i>Lightning Rod</i> (Dollywood)</li> </ul>
	<p>Fundada l'any 1946 a Mountain View, Califòrnia (EEUU) va fer fallida a finals del 2001. A la dècada dels 60 part de l'empresa era propietat de Walt Disney. Va arribar a construir fins a 98 atraccions de les quals 72 encara existeixen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Matterhorn Bobsleds</i> (Disneyland)</li> <li>- <i>Mine Train</i> (Six Flags Over Texas)</li> <li>- <i>Corkscrew</i> (Cedar Point)</li> <li>- <i>Magnum XL-200</i> (Cedar Point)</li> <li>- <i>X</i> (Six Flags Magic Mountain)</li> </ul>
	<p>L'origen de l'empresa el trobem el 1926 a Holanda tot i que no va ser fins al 1970 quan va iniciar-se en el sector de les muntanyes russes. Des d'aleshores n'ha construït prop de 335 de les 319 encara existeixen, sent el constructor que més n'ha fet al món.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Corkscrew</i> (Vallefair)</li> <li>- <i>Goliath</i> (Six Flags New England)</li> <li>- <i>Ben 10</i> (Drayton Manor)</li> <li>- <i>Odyssey</i> (Fantasy Island)</li> <li>- <i>Rock&amp;Roller</i> (Walt Disney Studios Park)</li> <li>- <i>Space Mountain</i> (Disneyland Paris)</li> </ul>

## MUNTANYES RUSSES DE LA TEORIA A LA PRACTICA



	<p>Fundada l'any 2001 a Kansas (EEUU) a partir de l'empresa D.H. Morgan Manufacturing, la qual va ser creada l'any 1983 a Califòrnia (EEUU) per un fill d'un dels fundadors de Arrow Dynamics. Actualment hi té 8 muntanyes russes operatives.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Mamba</i> (Worlds of fun)</li> <li>- <i>Steel Dragon 2000</i> (Nagashima Spa Land)</li> <li>- <i>Steel Force</i> (Dorney Park)</li> <li>- <i>Supermán</i> (Six Flags Mexico)</li> <li>- <i>Wild Thing</i> (Valley fair)</li> </ul>
	<p>Fundada el 2002 a Ohio (EEUU) ha construït fins a l'actualitat prop de 20 muntanyes russes. La seva especialitat son les mixtes de fusta i ferro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Hades 360</i> (Mount Olympus Park)</li> <li>- <i>Voyage</i> (Holiday World)</li> <li>- <i>Jungle Trailblazer</i> (Fantawild Dreamland)</li> <li>- <i>Twister</i> (Gröna Lund)</li> </ul>
	<p>Fundada l'any 1982 a Bavaria (Alemanya) ha construït fins a dia d'avui un total de 87 muntanyes russes de les quals encara n'hi ha 86.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>The Smiler</i> (Alton Towers)</li> <li>- <i>Eurofighter</i> (Zoosafari Fasanolandia)</li> <li>- <i>Pandemonium</i> (Six Flags New England)</li> <li>- <i>Firechaser Express</i> (Dollywood)</li> <li>- <i>Mammut</i> (Erlebnispark Tripsdrill)</li> </ul>



## ***2.6 CLASSIFICACIÓ DE LES MUNTANYES RUSSES***

Des dels seu inicis fins l'actualitat, la constant evolució de les muntanyes russes ha fet que tant els materials emprats en la seva construcció, com les seves formes, recorreguts i tecnologies aplicades hagin sofert grans transformacions. Això a dia d'avui es tradueix en que no podem parlar d'un sol tipus de muntanyes russes trobant-nos amb tot un gran ventall d'atraccions basades en elles.

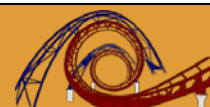
A gran trets les muntanyes russes es poden classificar en dos grans grups : les de fusta i les de ferro.

Les muntanyes russes de ferro tenen recorreguts formats per rails en forma de tubs de metall els que permet a les vagonetes seguir trajectòries força complexes amb gir a altes velocitats en qualsevol direcció de forma suau i segura. En canvi les de fusta tenen rails de metall plans subjectes a estructures de fusta. A diferència de les de ferro no tenen inversions, caracteritzant-se per recorreguts a alta velocitat a través dels cims del trajecte tot buscant el generar sensacions de forces G negatives o "air time" (temps de vol).




Mes enllà d'aquesta primera classificació en podem trobar d'altres segons aspectes tals com :

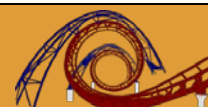
- El tipus de tren, vagonetes o com van situats els passatgers en elles
- El tipus de propulsió
- L'alçada màxima del recorregut

Tot seguit s'indiquen els diferents tipus alhora que es mostren exemples reals de com son cadascun d'ells.

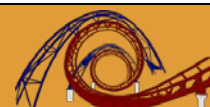


**2.6.1 Segons el tipus de tren/vagonetes**

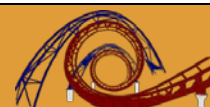
Tipus de Tren	Principal Característica	Exemple	
<p><b>4th Dimension roller coaster</b></p>	<p>Les vagonetes tenen capacitat per girar sobre d'elles mateixes mentre segueixen el recorregut</p>	<p><i>Inferno (2007 - Terra Mítica, Espanya)</i></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 142 m</li> <li>• Alçada : 25.4 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 59.5 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : Cap</li> <li>• Passatgers : 8 (4x2)</li> </ul>	
<p><b>Bobsled roller coaster</b></p>	<p>Les vagonetes circulen lliures sense rails per l'interior d'una pista en forma de mig tub o canal</p>	<p><i>Schweizer Bobbahn (1988 - Europa -Park, Alemanya)</i></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 500 m</li> <li>• Alçada : 20 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 50 Km/h</li> <li>• Força G : 3</li> <li>• Inversions : Cap</li> <li>• Passatgers : 12 (2x6)</li> </ul>	
<p><b>Dive roller coaster</b></p>	<p>Les vagonetes experimenten caigudes de gairebé 90° després de quedar suspeses en l'aire durant uns segons. Aquestes estan formades per 2 o 3 fileres de seients on poden haver diverses persones</p>	<p><i>Oblivion (1998 - Alton Towers, Anglaterra)</i></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 372 m</li> <li>• Alçada : 20 m</li> <li>• Caiguda : 55 m</li> <li>• Velocitat : 109 Km/h</li> <li>• Força G : 4.5</li> <li>• Inversions : Cap</li> <li>• Passatgers : 16 (2x8)</li> </ul>	







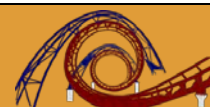
<b>Family roller coaster</b>	Tal com succeeix en les muntanyes russes invertides, les vagonetes es desplacen penjades per sota dels rails però sense balanceig de forma que es segueix la forma del recorregut sense inversions a una moderada velocitat	<b>Family Inverted (2014 - Happy Valley, Shangai)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 405 m</li> <li>• Alçada : 20 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 48.9 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : Cap</li> <li>• Passatgers : 20 (2x10)</li> </ul>	
<b>Floorless roller coaster</b>	Les persones queden assegudes a les vagonetes amb les cames penjant lliurement per sobre el recorregut ja que aquestes no tenen terra a on recolzar-les	<b>Rougarou (2015 - Cedar Point, Ohio, EEUU)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1200 m</li> <li>• Alçada : 44 m</li> <li>• Caiguda : 42 m</li> <li>• Velocitat : 97 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 4</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	
<b>Flying roller coaster</b>	Les persones queden col·locades als seients de tal forma que les seves esquenes quedin paral·leles al recorregut a fi de simular la sensació de volar	<b>Air (2002 - Alton Towers, Anglaterra)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 840 m</li> <li>• Alçada : 20 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 75 Km/h</li> <li>• Força G : 3.5</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 28 (4x7)</li> </ul>	
<b>Inverted roller coaster</b>	Les persones es desplacen penjades per sota dels rails però sense balanceig, de forma que es segueix la forma del recorregut amb inversions i a una elevada velocitat	<b>Black-Mamba (2006 - Phantasialand, Alemanya)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 768 m</li> <li>• Alçada : 26 m</li> <li>• Caiguda : 27 m</li> <li>• Velocitat : 80 Km/h</li> <li>• Força G : 4</li> <li>• Inversions : 4</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	



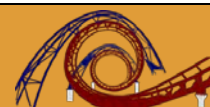
		<b><i>El Diablo (1995 – Port Aventura, Catalunya)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1707.7 m</li> <li>• Alçada : 16.5 m</li> <li>• Caiguda : 16.5 m</li> <li>• Velocitat : 60 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 34 (2+6x6)</li> </ul>	
		<b><i>Wave Breaker (2017 – Seaworld, Sant Antonio, EEUU)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 790 m</li> <li>• Alçada : 19 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 71 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 16 (2x8)</li> </ul>	
		<b><i>Ultra Twister (1984 – Nagashima Spa Land, Japó)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 433 m</li> <li>• Alçada : 30 m</li> <li>• Caiguda : 26 m</li> <li>• Velocitat : 71 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 3</li> <li>• Passatgers : 6 (2x3)</li> </ul>	
		<b><i>Leap the Dips (1902 – Lakemont Park, Pennsylvania, EEUU)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 443 m</li> <li>• Alçada : 12 m</li> <li>• Caiguda : 2.7 m</li> <li>• Velocitat : 16 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 4 (2x2)</li> </ul>	
<b>Mine Train roller coaster</b>	<p>Les vagonetes són amb forma de trens o carretons miners on el primer d'ells acostuma a tenir forma de petita locomotora de vapor. L'entorn del recorregut sols estar ambientat en una mina</p>		
<b>Motorbike roller coaster</b>	<p>Els passatgers van pujats de forma individual a una vagoneta que té una forma inspirada en una motocicleta, moto d'aigua o similar</p>		
<b>Pipeline roller coaster</b>	<p>Els trens viatgen per l'interior d'una estructura en forma de tub tot fent voltes sobre si mateixos alhora que es desplacen pel recorregut</p>		
<b>Side friction roller coaster</b>	<p>Les vagonetes disposen de dos jocs de rodes: unes de normals que llisquen per sobre els rails i unes altres de fricció lateral que serveixen per evitar que puguin descarrilar en les corbes pronunciades</p>		






		<b><i>Dragon Khan (1995 – Port Aventura, Catalunya)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1269.5 m</li> <li>• Alçada : 45.1 m</li> <li>• Caiguda : 49.1 m</li> <li>• Velocitat : 104.6 Km/h</li> <li>• Força G : 4</li> <li>• Inversions : 8</li> <li>• Passatgers : 28 (4x7)</li> </ul>	
<b>Sitting roller coaster</b>	Els passatgers van situats asseguts en diferents fileres. Es la forma mes tradicional i tant la podem trobar en muntanyes russes de fusta com de ferro	<b><i>Stampida (1997 – Port Aventura, Catalunya)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 953.1 m</li> <li>• Alçada : 25.6 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 74 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 24 (2x12)</li> </ul>	
<b>Spinning roller coaster</b>	Les vagonetes tenen capacitat per girar sobre el seu eix vertical alhora que van seguint el recorregut	<b><i>Pandemonium (2007 – Six Flags St. Louis, Missouri, EEUU)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 411.6 m</li> <li>• Alçada : 14.6 m</li> <li>• Caiguda : 8.2 m</li> <li>• Velocitat : 49.9 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 4 (2x2)</li> </ul>	
<b>Stand-up roller coaster</b>	Les persones van de peu subjectes a les vagonetes	<b><i>Riddler's Revenge (1998 – Six Flags M. M., California, EEUU)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1330 m</li> <li>• Alçada : 48 m</li> <li>• Caiguda : 45 m</li> <li>• Velocitat : 105 Km/h</li> <li>• Força G : 4.2</li> <li>• Inversions : 6</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	

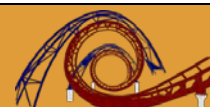


<b>Steeplechase roller coaster</b>	Les persones van sobre reproduccions de cavalls en vies paral·leles simulant una cursa	<b><i>Steeplechase (1977 – Pleasure Beach Blackpool, Anglaterra)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 518 m</li> <li>• Alçada : --</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : --</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 2 (1+1)</li> </ul>	
<b>Suspended roller coaster</b>	Les vagonetes pengen per sota del recorregut i tenen un mecanisme a mode de frontissa que els hi permet que es puguin balancejar de costat mentre es desplacen com si fossin una mena de gronxador	<b><i>Vortex (1991 – Canada's Wonderland, Canadà)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 720 m</li> <li>• Alçada : 28 m</li> <li>• Caiguda : 26 m</li> <li>• Velocitat : 89 Km/h</li> <li>• Força G : 4</li> <li>• Inversions : 4</li> <li>• Passatgers : 24 (2x12)</li> </ul>	
<b>Wing roller coaster</b>	Les persones van subjectes a uns seients que sobresurten de les vagonetes de tal forma que no tenen res al seu voltant	<b><i>Furius Bacco (2007 – Port Aventura, Catalunya)</i></b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 850 m</li> <li>• Alçada : 14 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 135 Km/h</li> <li>• Força G : 4.7</li> <li>• Inversions : 1</li> <li>• Passatgers : 24 (4x6)</li> </ul>	

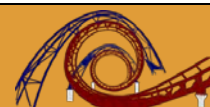


**2.6.2 Segons el tipus de propulsió**

Tipus de Propulsió	Principal Característica	Exemple	
<p><b>Per Gravatat</b></p>	<p>L'energia necessària per realitzar tot el recorregut s'obté a partir d'elevat les vagonetes, per mitjans mecànics, fins a una alçada suficient com per permetre assolir al llarg de la caiguda la suficient velocitat per seguir tot el trajecte o fins arribar a un altre punt d'elevació.</p> <p>Hi ha diferents formes de dur les vagonetes fins el punt elevat inicial : Mitjançant arrossegament per un pla inclinat, amb elevació vertical o be per basculació.</p>	<p><b><i>Nitro (2001 – Six Flags Great Adventure, New Jersey, EEUU)</i></b></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1644 m</li> <li>• Alçada : 70 m</li> <li>• Caiguda : 66 m</li> <li>• Velocitat : 130 Km/h</li> <li>• Força G : 4.3</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 36 (4x9)</li> </ul>	
		<p><b><i>Stunt Fall (2002 – Parque Warner, Madrid, Espanya)</i></b></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 367 m</li> <li>• Alçada : 58.2 m</li> <li>• Caiguda : 53.9 m</li> <li>• Velocitat : 105.6 Km/h</li> <li>• Força G : 4.5</li> <li>• Inversions : 3</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	
<p><b><i>Gravity Max (2002 – Lihpao Land, Taichung, Taiwan)</i></b></p>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 568 m</li> <li>• Alçada : 34.7 m</li> <li>• Caiguda : --</li> <li>• Velocitat : 90.1 Km/h</li> <li>• Força G : 3.5</li> <li>• Inversions : 1</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>			

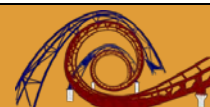


<p><b>Per Llançament</b></p>	<p>L'energia necessària per realitzar tot el recorregut s'obté a partir d'accelerar les vagonetes des d'una posició de repòs fins assolir la suficient velocitat per seguir tot el trajecte o fins arribar a un altre punt d'acceleració.</p> <p>Hi ha diferents formes de llançar les vagonetes : Mitjançant sistemes hidràulics, amb aire comprimit o be utilitzant sistemes elèctrics (motors lineals).</p>	<p><b><i>Formula Rossa (2010 – Ferrari World, Abu Dhabi, Emirats A.)</i></b></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propulsió : Hidràulica</li> <li>• Llargada : 2000 m</li> <li>• Alçada : 52 m</li> <li>• Velocitat : 240 Km/h</li> <li>• Força G : 4.8</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 16 (2x8)</li> <li>• Acceleració : 0-240 Km/h en 4.0 s</li> </ul>	
		<p><b><i>Do-Doponda (2001 – Fuji-Q Highland, Japó)</i></b></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propulsió : Aire comprimit</li> <li>• Llargada : 1244 m</li> <li>• Alçada : 49 m</li> <li>• Velocitat : 180 Km/h</li> <li>• Força G : 4.25</li> <li>• Inversions : 1</li> <li>• Passatgers : 8 (2x4)</li> <li>• Acceleració : 0-180 Km/h en 1.46 s</li> </ul>	
		<p><b><i>Thunderbird (2015 – Holiday World, Indiana, EEUU)</i></b></p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propulsió : Elèctrica</li> <li>• Llargada : 925 m</li> <li>• Alçada : 52 m</li> <li>• Velocitat : 97 Km/h</li> <li>• Força G : --</li> <li>• Inversions : 4</li> <li>• Passatgers : 16 (4x5)</li> <li>• Acceleració : 0-240 Km/h en 3.5 s</li> </ul>	



**2.6.3 Segons la seva alçada**

Segons l'Alçada	Principal Característica	Exemple	
<b>Megacoaster</b>	H > 150 peus (~45.8m)	<b>Goliath (2002 – Walibi Holand, Holanda)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1214.3 m</li> <li>• Alçada : 47.17 m</li> <li>• Caiguda : 46.31 m</li> <li>• Velocitat : 107.7 Km/h</li> <li>• Força G : 4.5</li> <li>• Inversions : 3</li> <li>• Passatgers : 32 (2x16)</li> </ul>	
<b>Hypercoaster</b>	H > 200 peus (~61m)	<b>Shambala (2012 – Port Aventura, Catalunya)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 1564 m</li> <li>• Alçada : 76 m</li> <li>• Caiguda : 78 m</li> <li>• Velocitat : 134 Km/h</li> <li>• Força G : 3.8</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	
<b>Gigacoaster</b>	H > 300 peus (~91.5 m)	<b>Fury 325 (2015 – Carowinds, North Carolina, EEUU)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 2012.3 m</li> <li>• Alçada : 99.1 m</li> <li>• Caiguda : 97.5 m</li> <li>• Velocitat : 152.9 Km/h</li> <li>• Força G : 4</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 32 (4x8)</li> </ul>	
<b>Stratacoaster</b>	H > 400 peus (~122 m)	<b>Kingda Ka (2005 – Six Flags Great Adventure, New Jersey, EEUU)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llargada : 950 m</li> <li>• Alçada : 139 m</li> <li>• Caiguda : 127 m</li> <li>• Velocitat : 206 Km/h</li> <li>• Força G : 5</li> <li>• Inversions : 0</li> <li>• Passatgers : 18 (2x9)</li> </ul>	



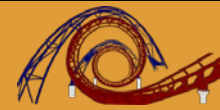
## 2.7 PARTS D'UNA MUNTANYA RUSSA

En una muntanya russa es poden distingir grups d'elements que intervenen en el seu funcionament i que tenen una funció ben diferenciada. Així hi podem trobar elements bàsics tal com les vagonetes, elements de seguretat com els frens, elements d'arrossegament o aquells que intervenen en el crear l'emoció i generar adrenalina al passatger. Tot seguit es fa referència a tots ells alhora que es mostra una petita descripció de que són i com funcionen.

### 2.7.1 Elements bàsics

**FRENS** → És un element de la muntanya russa que té com a objectiu aturar o reduir la velocitat de les vagonetes en circulació. En la majoria de muntanyes russes, els frens són controlats per un sistema informàtic, però algunes antigues muntanyes russes de fusta tenen frens d'accionament manual. Aquests eren controlats per unes grans palanques accionades pels operadors de l'atracció.

Tipus de Frens	
<b>D'Ajust</b>	Poden estar situats a qualsevol zona de la muntanya russa i es fan servir per reduir la velocitat de les vagonetes, ja sigui per reduir les forces g, o per evitar un desgast excessiu en les vagonetes i la pista.
<b>De Bloqueig</b>	Serveixen per aturar les vagonetes per complet, es fan servir en muntanyes russes on hi ha més de un tren en el mateix recorregut, i per evitar que si un tren quedés aturat, el següent no xoqués contra ell.
<b>De Fricció</b>	Estan formats per unes pastilles de ceràmica, que en fregar amb el tren aconseguen retenir-ho. Actualment estan en desús.
<b>D'Aleta</b>	Els trens compten amb unes plaques de metall, que en passar per unes pinces situades en la pista fan que es tanquin i comprimeixen les plaques, retenint al tren. Són molt usuals en l'actualitat, sobretot a les muntanyes de Bolliger & Mabillard, com Dragon Khan, de Port Aventura Park.
<b>Magnètics</b>	Són els més actuals i els més rendibles, ja que no hi ha fregament cap, solament usen la força magnètica. Estan formats per imants situats en la pista, que en passar el tren amb unes plaques de metall aconseguen frenar-ho. També poden estar col·locats al revés. La força de frenada és proporcional a la velocitat amb la qual passi el tren, per la qual cosa mai poden parar el tren per complet i fan falta els altres tipus. Un exemple és Kingda Ka, de Six Flags Great Adventure.
<b>Pneumàtics d'Impulsió o Compressió</b>	Estan formats per dos pneumàtics enfrontats situats en la pista que giren en sentits contraris; en passar el tren entre ells aquestes rodes impulsen o frenen al tren. Solen estar col·locats a les zones de les estacions, per portar al tren a la zona de llançament o ascensió, encara que en algunes muntanyes russes s'usen per llançar al tren a gran velocitat.



*Fre de fricció (esquerra) i magnètics (centre i dreta)*

PISTA DE FRENAT → És un tram del recorregut de la muntanya russa on estan disposats els frens i que es fa servir per reduir la velocitat de les vagonetes o per aturar-les del tot.

BUZZ BARS → És el nom que reben les barres de seguretat d'una sola posició que es feien servir a les muntanyes russes de fusta.

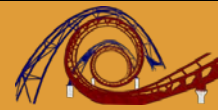
SQUEEZE TIRE → És el nom amb que es coneix el sistema basat amb rodes del tipus neumàtics disposades de dos en dos i que s'utilitza per moure les vagonetes en algunes muntanyes russes.



*Squeeze Tire (esquerra) i prova de Headchopper ( dreta)*

HEADCHOPPER → És el nom que rep qualsevol part del recorregut d'una muntanya russa que queda molt a prop dels passatgers, tant sigui per la part dels seus caps i braços com de les seves cames. Abans d'obrir al públic una muntanya russa es fan probes per verificar que no es pot produir cap impacte amb aquestes parts.

LAUNCH TRACK (PISTA DE LLENÇAMENT) → És la part de les muntanyes russes del tipus llençades on es produeix l'acceleració inicial que ha de permetre a les vagonetes assolir prou velocitat (energia cinètica) com per poder fer tot el recorregut de l'atracció.



**LIFT HILL** → És la part de les muntanyes russes que es fa servir per elevar les vagonetes fins a un punt prou elevat com per que aquestes assoleixin prou alçada (energia potencial) com per garantir que podran seguir tot el recorregut de l'atracció o fins el següent *lift hill*. Tant la forma com el tipus de sistema per elevar les vagonetes es força variat, trobant-nos des de els clàssics plans inclinats equipats amb sistemes d'elevació per cadena (*chain lift*) fins als sistemes mes moderns del tipus ascensor.



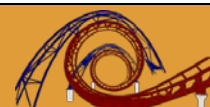
*Exemples de Lift Hills*

**MOTOR D'INDUCCIÓ LINEAL** → És un tipus de motor elèctric utilitzant en les muntanyes russes modernes per donar velocitat a les vagonetes. Enlloc de sistemes de cadena i rodes mòbils, els sistemes amb motors d'inducció lineal utilitzen la força magnètica que es genera entre unes làmines metàl·liques situades en la part inferior de les vagonetes, i unes bobines disposades al llarg d'un tram de la pista. Al fer passar corrent elèctric per les bobines es produeix el moviment de les vagonetes.

**ON-RIDE CAMERA** → Amb aquest nom es coneix a les càmeres que es col·loquen al llarg del recorregut d'una muntanya russa, normalment en algun punt d'especial interès, amb el propòsit de prendre imatges dels passatgers. A la sortida de l'atracció les imatges estan disponibles per a la seva visualització i si interessa, adquisició.





**STATION** → Nom que rep el punt d'inici i final del recorregut d'una muntanya russa i que coincideix normalment amb el lloc on els passatgers pugen i baixen de les vagonetes o tren.

**TREN** → Nom que rep el vehicle que transporta als passatgers al llarg del recorregut. Un tren es compon de varis cotxes o vagonetes units entre sí que porten un nombre variable de persones en funció de com sigui cada atracció.

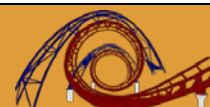


### 2.7.2 Elements d'emoció

En una muntanya russa els elements d'emoció son aquelles parts del recorregut que estan pensades per tal de generar sensacions de caiguda, d'ingravedesa, de temps de vol, etc, a partir de fer que les vies per les que hi circulen les vagonetes prenguin diferents formes. Bàsicament els podem classificar en funció del nombre de inversions que produeixen, tal com es mostra en les següents taules.

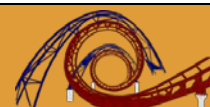
Elements d'emoció sense inversions		
<p><b>Hammerhead Turn</b></p>	<p>Es tracta d'una corba elevada molt tancada i simètrica on els rails agafen la forma de la corba pel seu interior fent que les vagonetes giren cap dins al entrar en ella i cap enfora al sortir. La podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitro (Six Flags Great Adventure)</li> <li>• Behemoth (Canada's Wonderland)</li> <li>• Diamondback (Kings Island)</li> </ul>	
<p><b>Inclined diving loop</b></p>	<p>Un bucle o llaç d'immersió inclinada es bàsicament un llaç d'immersió on enlloc de fer una inversió completa es fa només un gir parcial. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydra the Revenge (Dorney Park &amp; Wildwater Kingdom)</li> <li>• GateKeeper (Cedar Point)</li> </ul>	
<p><b>Non-inverting loop</b></p>	<p>Es tracta d'una varietat de bucle que quan les vagonetes arriben a la seva part superior es queden totalment cap a munt. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hollywood Rip Ride Rockit (Universal Studios Florida)</li> <li>• Shock (Rainbow MagicLand)</li> <li>• Superman: Ultimate Flight (Six Flags Discovery Kingdom)</li> <li>• Tempesto (Busch Gardens Williamsburg)</li> </ul>	
<p><b>Overbanked turn</b></p>	<p>Es tracta d'una corba on la pista s'inclina més enllà dels 90 graus, normalment entre els 100 i els 120. La podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superman the Ride (Six Flags New England)</li> <li>• Millennium Force (Cedar Point, Sandusky, Ohio)</li> </ul>	

## MUNTANYES RUSSES DE LA TEORIA A LA PRACTICA

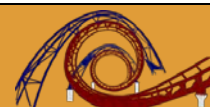


<p><b>Top hat</b></p>	<p>També conegut com a <i>Top Cap</i>, aquest element es troba normalment a les muntanyes russes llançades. Consisteix en un ascens i descens de 90 graus en el que el tren surt amb la mateixa direcció per on ha entrat sense efectuar cap gir sobre ell mateix. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Top Thrill Dragster (Cedar Point)</li> <li>• Kingda Ka (Six Flags Great Adventure)</li> </ul>	
-----------------------	---	--

<b>Elements d'emoció amb una inversió</b>		
<p><b>Cutback</b></p>	<p>Es tracta d'un element amb una inversió semblant a un tirabuixó en el que les seves dues meitats tenen direccions oposades. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sky Rocket (Kennywood Park)</li> <li>• Untamed (Canobie Lake Park)</li> <li>• RailBlazer (California's Great America)</li> <li>• Star Wars Hyperspace Mountain: Rebel Mission (Disneyland Paris)</li> </ul>	
<p><b>Dive loop</b></p>	<p>També conegut com a <i>Diving loop</i> es un element on la pista es troça cap amunt i cap un costat per acabar "submergint-se" cap el terra en un bucle semi-vertical. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrow's Cyclone (Dreamworld)</li> <li>• Vekoma's Ninja (Six Flags over Georgia)</li> <li>• Dragon Khan (Port Aventura)</li> </ul>	
<p><b>Immelmann loop</b></p>	<p>Es tracta d'un element en forma de mig bucle seguit d'un mig gir on les vagonetes surten en la mateixa direcció que han entrat. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Afterburn (Carowinds)</li> <li>• Valravn (Cedar Point)</li> <li>• X-Flight (Six Flags Great America)</li> <li>• Superman (Parque Warner)</li> </ul>	



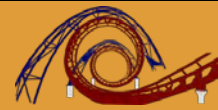
<p><b>Inclined loop</b></p>	<p>Un bucle inclinat, també conegut com bucle obliquo, es un bucle de 360° que enloc d'estar vertical es troba lleugerament inclinat (entre 45 i 80°). El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rougarou (Cedar Point)</li> <li>• Green Lantern (Six Flags Great Adventure)</li> <li>• Riddler's Revenge (Six Flags Magic Mountain)</li> <li>• The Swarm (Thorpe Park)</li> </ul>	
<p><b>Pretzel loop</b></p>	<p>Es tracta d'una inversió típica en les muntanyes russes del tipus <i>flying</i>. Consisteix en un mig-bucle cap per vall i un mig-bucle cap per munt. L'entrada i la sortida del bucle es superposen en la seva part més elevada formant una forma que recorda a un Pretzel, d'aquí el seu nom. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acrobat (Nagashima Spa Land)</li> <li>• Crystal Wing (Happy Valley)</li> <li>• Tatsu (Six Flags Magic Mountain)</li> <li>• Superman (Six Flags Great America)</li> </ul>	
<p><b>Vertical loop</b></p>	<p>Es tracta de l'element amb inversió més bàsic i clàssic de les muntanyes russes. Està format per una secció on la pista ascendeix de forma continua fins completar els 360°. La part superior es recorre cap per vall. La seva forma es més propera a una llàgrima que a un cercol, tot seguint el que es coneix com a corba <i>Clotoide</i>. Les seves característiques fan que el bucle sigui més confortable a l'hora de recorre'l. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dragon Khan (Port Aventura)</li> <li>• Stunt Fall (Parque Warner)</li> <li>• Kraken (Seaworld, Orlando)</li> <li>• Full Throttle (Six Flags Magic Mountain)</li> </ul>	
<p><b>Zero-g roll</b></p>	<p>També conegut com a <i>zero-gravity roll</i> es tracta d'un element d'una inversió on la pista gira sobre si mateixa 360° al mateix temps que s'enlaira en el seu recorregut, normalment en forma de muntanya. El nom ve del efecte d'ingravedesa que els passatgers experimenten durant la inversió. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p>	



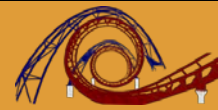
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dragon Khan (Port Aventura)</li> <li>• Start Trek (Movie Park)</li> <li>• Twisted Colossus (Six Flags Magic Mountain)</li> <li>• Alpegeist (Busch Gardens Williamsburg)</li> </ul>	
--	---	--

Elements d'emoció amb dues inversions		
<b>Batwing</b>	<p>Es tracta d'un element en forma de cor que es caracteritza per tenir dues inversions. El tren entra en un <i>Sidewinder</i> invers seguit d'un <i>Sidewinder</i> normal. Es podria dir que es com un bucle <i>Cobra</i> invers. Segons el fabricant també rep el nom de <i>Boomerang</i>. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Afterburn (Carowinds)</li> <li>• Goudurix (Parc Astérix)</li> <li>• Vortex (Kings Island)</li> </ul>	
<b>Butterfly inversion</b>	<p>Aquest element comença com un bucle normal però tant aviat com la pista va cap amunt aquesta gira sobre si mateixa 45° cap un costat, desfent-se el gir tant aviat com està cap per vall. Aquest moviment es torna a repetir a l'inversa per tal de completar la segona inversió. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blue Hawk (Carowinds)</li> <li>• Goudurix (Parc Astérix)</li> <li>• Vortex (Kings Island)</li> </ul>	
<b>Cobra roll</b>	<p>La forma d'aquest element recorda la del cap d'una serp Cobra, d'aquí el seu nom. El seu recorregut comença cap amunt al llarg d'un mig bucle vertical del tipus <i>Immelman</i> seguit d'un dive-loop que es troba posat en posició horitzontal i que connecta amb els segon mig bucle vertical. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stunt Fall (Parque Warner)</li> <li>• Dragon Khan (Port Aventura)</li> <li>• Sea Serpent (Morey's Pier)</li> </ul>	

**MUNTANYES RUSSES  
DE LA TEORIA A LA PRACTICA**



<p><b>Interlocking corkscrews</b></p>	<p>En aquest element hi trobem dos tirabuixons o Corkscrews entrelaçats de forma que un gira al voltant de l'altre. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nemesis Inferno (Thorpe Park)</li> <li>• Dominator (Kings Dominion)</li> <li>• Dragon Khan (Port Aventura)</li> </ul>	
<p><b>Interlocking loops</b></p>	<p>En aquest element hi trobem dos bucles verticals entrelaçats de forma que un passa per l'interior de l'altre. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Loch Ness Monster (Busch Gardens Williamsburg)</li> <li>• Orient Express (Worlds of Fun)</li> </ul>	
<p><b>Norwegian loops</b></p>	<p>Aquest element es la combinació de dos elements: un <i>Dive loop</i> i un <i>Immelman</i>. Ambdós formen una inversió que sembla dos bucles un del costat de l'altre. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrenheit (Herseypark)</li> <li>• Helix (Liseberg)</li> <li>• Speed Monster (TusenFryd)</li> </ul>	
<p><b>Sea serpent roll</b></p>	<p>També conegut com <i>Roll over</i>. En aquest element hi trobem dos meitats de bucle vertical connectats per dos mitjos tirabuixons oposats. El podem trobar a les següents muntanyes russes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medusa (Six Flags Discovery Kingdom)</li> <li>• Rock 'n' Roller Coaster (Disneyland Paris)</li> <li>• Smiler (Alton Towers)</li> </ul>	



## 2.8 EL DRAGON KHAN

### 2.8.1 Historia i Principals Característiques

El Dragon Khan va ser inaugurat coincidint amb l'obertura al públic de Port Aventura, el 2 de maig de 1995. El seu disseny es obra d'en John Wardley amb col.laboració amb l'empresa alemana Ingenieur Büro Stengel GmbH. La construcció del Dragon Khan va ser feta per una de les principals empreses del sector, la suïssa Bolliger and Mabillard (B&M), amb un cost aproximat d'uns 6M€.

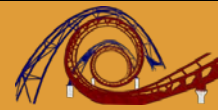


*Dragon Khan en construcció*

L'atracció, situada al sector de la Xina del Parc temàtic de Port Aventura, està ambientitzada amb la llegenda del príncep Hu. Aquesta diu que el príncep, hereu d'una de l'estirp més poderosa de les planes de Beijing i repudiat per tota la població, va decidir convertir-se en un ferotge drac vermell anomenat Khan per tal de poder atemorir als habitants del seu futur reialme. A dia d'avui es diu que el valent que aconsegueix pujar dalt del Drac Khan i suportar les seves salvatges acrobàcies a l'aire, pot arribar a tenir en les seves mans el poder que reina sobre tota la Xina i les terres més llunyanes.



*Vista general del Dragon Khan a Port Aventura abans del 2011*



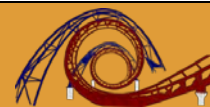
Es tracta d'una muntanya russa de ferro del tipus *sit-down* construïda sobre una estructura en forma de biga quadrada de color vermell que es recargola una i una altra vegada tot intentant semblar-se a un drac ferotge volant pel cel. Aquesta biga es una característica del fabricant B&M que fa es produeixi un soroll molt característic quan passen les vagonetes que intenta simular el rugir del drac.

En el moment de la seva inauguració el Dragon Khan va ostentar dos rècords mundials, el de la muntanya russa amb major nombre de inversions (8) fins l'any 2002, i el del looping vertical de més alçada (36m) fins l'any 2000.

L'any 2011 arran de la construcció del Shambhala va estar tancada, moment que es va aprofitar per repintar la seva estructura i trens a fi de fer-la més present en el nou sky-line del Parc.



*Vista general del Dragon Khan a Port Aventura després del 2011*

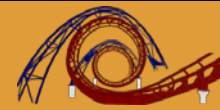


Tot seguit s'indiquen algunes de les seves principals característiques.

<b>Principals característiques del Dragon Khan</b>	
<b>Fabricant</b>	Bolliger and Mabillard
<b>Tipus</b>	Twisted sit-down steel coaster
<b>Llargada</b>	1265.9 m
<b>Durada recorregut</b>	1 minut i 45 segons
<b>Alçada màxima</b>	45.1 m
<b>Caiguda màxima</b>	49.1 m
<b>Velocitat màxima</b>	104.6 Km/h
<b>Sistema de pujada</b>	Cadena
<b>Frens</b>	Neumàtics / D'aleta
<b>Edat mínima passatgers</b>	16 anys
<b>Alçada mínima i màxima passatgers</b>	1.4 i 1.95 m
<b>Trens</b>	Fins a 3 de forma simultània amb 7 fileres de 4 seients per tren, amb arnesos d'espatlles i cinturó de seguretat
<b>Llargada Tren</b>	12.32 m
<b>Pes tren (sense passatgers)</b>	9 Tn
<b>Capacitat</b>	Fins a 1300 persones/hora
<b>Altres</b>	Tanca amb vents superiors als 50 Km/h



*Detall del recorregut del Dragon Khan*



## 2.8.2 Descripció del recorregut



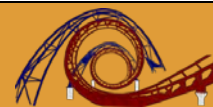
*Vista general del recorregut del Dragon Khan i localització de les principals inversions*

Tant aviat com surt de l'estació, el comboi format per 7 vagonetes amb 4 seients en fila cadascuna d'elles (28 passatgers en total), pren una corba a la dreta amb un petit descens per tot seguit quedar encarat al sistema d'elevació amb cadena (*chain lift*), que arrossega al comboi al llarg d'un pendent d'un  $26^\circ$  fins als 45.1 metres d'alçada respecte el nivell del terra.



*Vista del tram de pujada inicial (esquerra) i punt mes alt abans caiguda (dreta)*

Un cop arribat al punt més elevat hi ha una lleugera caiguda (*pre-drop*) d'un parell de metres d'alçada que accelera el comboi fins els 20-25 Km/h. Aquest és un altre element característic del fabricant B&M. De seguida trobem un lleuger gir a la dreta per encarar la baixada principal de gran pendent, d'uns  $45^\circ$ . Aquesta caiguda de 49.1 metres (aprofitant el desnivell de terreny i un fossar de 2 metres de fondària) es produeix al llarg de 2 segons aproximadament, assolint una velocitat màxima d'uns 104.6 Km/h, tot donant la sensació de que ens estavellarem contra el terra.



Tot seguit s'enfila el *looping vertical* principal de 36 metres d'alçada (primera inversió), que es completa en uns 8 segons aproximadament, dels quals durant 3 s'està "cap per vall". A continuació hi trobem un *dive-loop* d'uns 20 metres d'alçada (segona inversió).



*Vistes del primer looping (esquerra), del dive-loop (centre) del cobra-roll (dreta)*

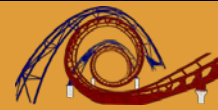
Sobrevolem prop d'una vintena de metres a ras del terra tot seguint una línia recta amb alguns peraltes fins arribar al *zero-G roll* (tercera inversió). Aquí la via s'eleva fins gairebé uns vint metres d'alçada alhora que es recargola sobre si mateixa, tot generant en els passatgers una sensació momentània d'ingravedesa (d'aquí el seu nom).



*Vistes del zero-G roll*

Sense temps per agafar de nou aire ens dirigim cap el *cobra-roll*, que ens enlaira de nou fins els 15 metres tot experimentant dues inversions (quarta i cinquena), un *dive-loop* i un *immelman* units per una petita corba peraltada en el seu centre.

Al sortir del *cobra-roll* es travessa tot una zona plena de bases i suports de l'estructura del Dragon Khan fins arribar a una petita recta on hi ha un regulador de velocitat (MCBR).



*Vistes del Cobra roll*

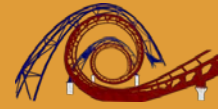
Després d'aquesta trobem una corba que descendeix amb un peralt a la dreta i que ens porta a la part més exigent del recorregut. Primer passem pel segon *looping vertical* (sisena inversió), molt més petit que el principal però on les forces que es generen ens faran estar enganxats als seients sense poder gairebé aixecar els braços mentre passem per la corba tancada superior.



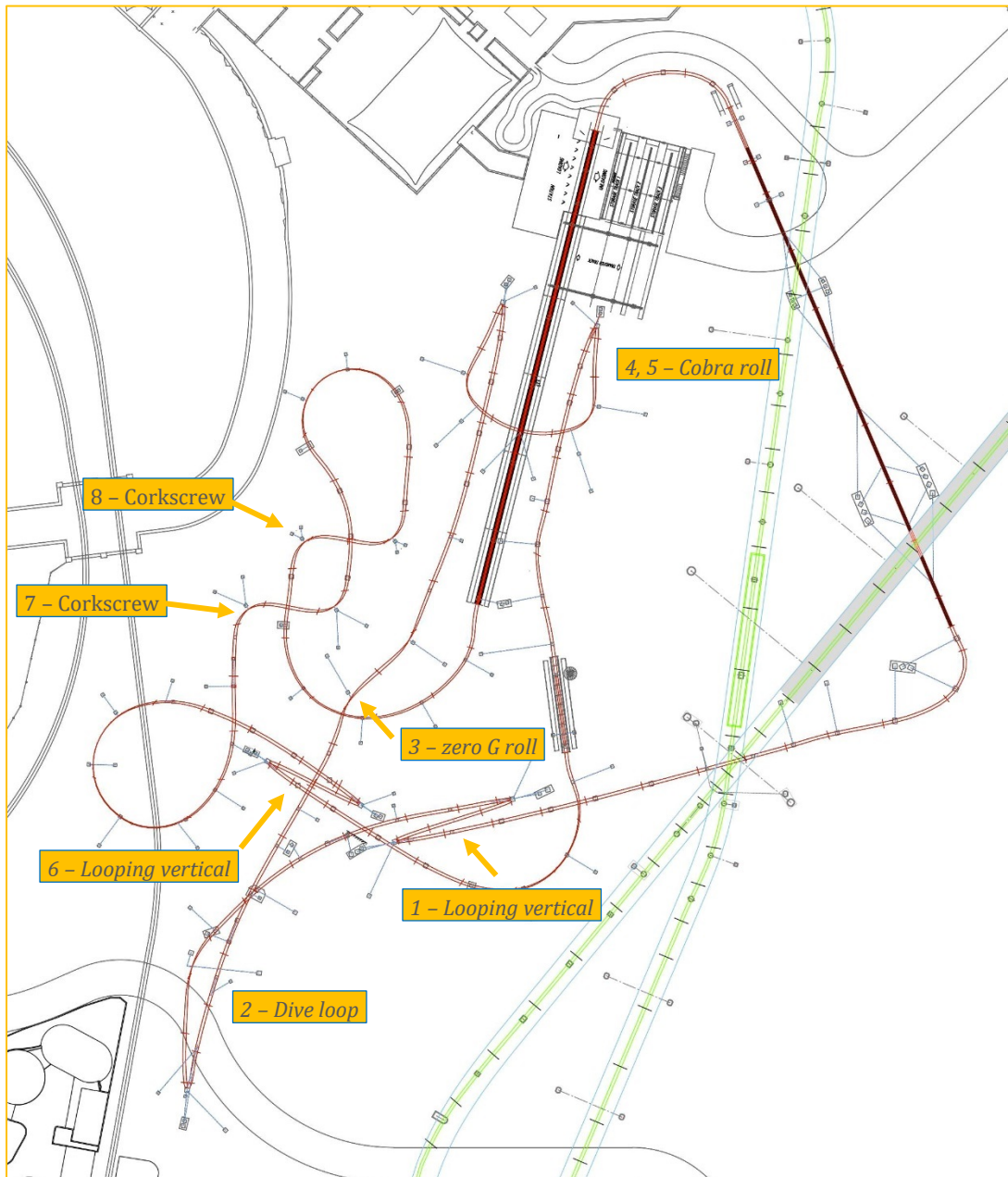
*Vistes del segon looping (esquerra), de la corba peraltada abans tirabuixons (centre, i dels tirabuixons o corkscrews (dreta)*

Sortint del looping tenim una corba elevada amb un suau peralt que ens porta directament cap a les dues darreres inversions (setena i vuitena) situades a la zona dels tirabuixons. Així entrem al primer *corkscrew* per a continuació seguir per una corba peraltada sensiblement tancada que servei d'enllaç amb el segon *corkscrew*.

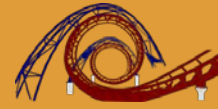
Un cop fetes les darreres inversions les vagonetes llisquen per una llarguíssima recta on son situats els frens finals que permet als passatgers recuperar l'alè i el color natural de la pell abans d'arribar de nou a l'estació de sortida, on s'arriba després de 1'45" de recorregut.



En la següent imatge es mostren les localitzacions de totes les inversions descrites sobre el recorregut del Dragon Khan.



*Detall del recorregut i localització de les inversions*



## 3. DE LA TEORIA

### 3.1 FÍSICA DE LES MUNTANYES RUSSES

Darrera de tota muntanya russa hi trobem amagades una gran quantitat de lleis i principis físics que permeten el funcionament d'aquestes.

El objectiu principal de tots els enginyers de muntanyes russes és el de manejar amb èxit totes les forces resultants que actuen en les vagonetes i els passatgers. Un bon disseny controlarà les variables com per exemple la majoria de energia utilitzada en pujar les vagonetes fins el punt més alt de la muntanya russa és dissipada en el moment que les vagonetes tornen a la posició inicial. D'aquesta manera els passatgers es diverteixen des del llançament, fins el moment que arriben finalment al final de l'atracció. Tot això es aconseguit gràcies al maneig i al control de la força de fregament i altres forces.

Podem afirmar que pilots de cotxes de curses i d'avions han influït en el disseny de muntanyes russes. Hi ha moltes similituds entre les piruetes efectuades per un pilot de trucs aeris i les inversions d'un muntanya russa.

A més a més un dels objectius principals en les curses consisteix en innovar i minimitzar el màxim possible el fregament que pateix el vehicle per aconseguir arribar una velocitat més elevada. El objectiu dels enginyers de muntanyes russes és molt semblant.

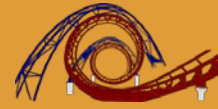
#### 3.1.1 Conceptes bàsics

A grans trets, i fent ús d'una dita popular, es podria dir que una muntanya russa funciona per que "tot el que puja baixa". En el fons d'aquesta frase no hi ha una altre cosa que un dels principis bàsics de la física, la Llei de la Conservació de la Energia. Aquesta llei ens diu que la energia no pot crear-se ni destruir-se, només pot canviar de forma o transformar-se.

Però quines són les energies que podem trobar en una muntanya russa i quina relació tenen amb la llei?

En les muntanyes russes l'energia que podem identificar és la mecànica ( $E_m$ ), que a la seva vegada està composta per altres dos tipus d'energia, la potencial gravitatòria ( $E_p$ ) i la cinètica ( $E_c$ ). La seva unitat és el Joule [J], i equival a 1 Newton-metre [Nm].

$$E_m = E_p + E_c$$



Així, l'**energia mecànica**, es defineix com la capacitat que té un cos de realitzar un treball mecànic, es a dir, de generar un moviment.

L'**energia potencial gravitatòria** es defineix com la energia que té un cos degut a trobar-se sota el efecte de la gravetat. El seu valor pel cas de petites alçades sobre la superfície terrestre ve donat per la següent expressió :

$$E_p = mgh$$

On  $m$  és la massa del cos (Kg),  $g$  es el valor de l'acceleració produïda per la gravetat ( $m/s^2$ ) i  $h$  és l'alçada en metres a la que es troba el cos. Com podem veure l'energia potencial serà més gran quan major sigui la massa del cos o quan mes amunt estigui aquest.

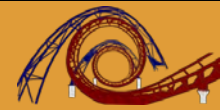
L'**energia cinètica** es aquella energia que té un cos pel simple fet d'estar en moviment, i on el seu valor ve donat per :

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

On  $m$  és la massa del cos (Kg) i  $v$  és la seva velocitat (m/s). Com podem veure l'energia cinètica serà més gran quan major sigui la massa del cos o quan més elevada sigui la seva velocitat. A més el valor de la velocitat està al quadrat a l'expressió el que suposa que qualsevol variació d'aquesta té molta importància en el valor final de l'energia.

Per veure com està tot això relacionat amb les muntanyes russes ens hem de fixar en la següent figura on es mostra part del recorregut d'una muntanya russa real (Kraken, Seaworld Orlando, EEUU).

A la part més elevada del recorregut, tot just abans de començar la caiguda principal o drop, podem considerar que les vagonetes estan gairebé aturades. Així en aquesta situació l'energia mecànica es deguda pràcticament només a la contribució de l'energia potencial, i per tant a la massa de les vagonetes i a l'alçada respecte el terra, que és el nivell que es considera com d'energia potencial zero.



Tant aviat com les vagonetes comencen a moure's pel pla inclinat l'energia cinètica augmenta a raó del quadrat de la seva velocitat, mentre que el valor de l'energia potencial començar a disminuir degut a la pèrdua d'alçada.



*Energia mecànica al llarg del recorregut d'una muntanya russa*

Això es produeix de forma progressiva fins arribar al punt més baix de la caiguda, lloc on l'energia potencial es fa zero.

A partir del que s'ha dit, i fent ús de la llei de la conservació de l'energia, podem veure com el que succeeix es que hi ha un traspàs d'energia des de la potencial, a la part més elevada del recorregut, a la cinètica, a la part més baixa del drop, de tal forma que la energia mecànica total sempre es manté constant.

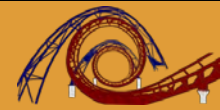
Això ens permet per exemple el poder calcular quina hauria de ser la velocitat que tindria una vagoneta del Dragon Khan en la part més baixa del drop, tenint en compte que aquest és d'uns 49 metres. Si anomenem la energia mecànica en la part superior com  $E_{m_h}$  i a la part inferior com  $E_{m_0}$ , aleshores tindrem que :

$$E_{m_h} = E_{m_0}$$

$$E_{p_h} + E_{c_h} = E_{p_0} + E_{c_0}$$

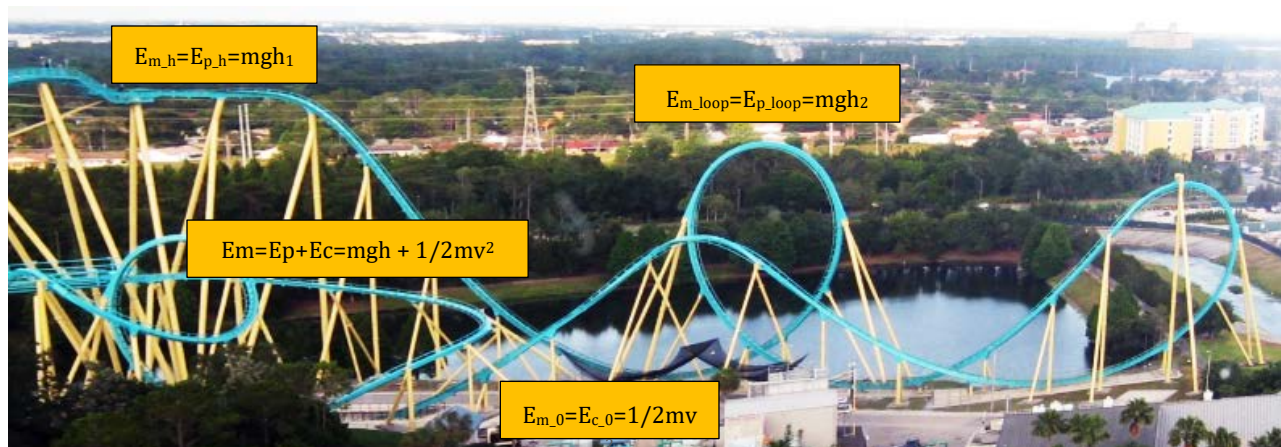
$$E_{c_h} = 0, E_{p_0} = 0 \Rightarrow E_{p_h} = E_{c_0} \Rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

$$Si h = 49m i g = 9.81 \frac{m}{s^2} \Rightarrow v \cong 31 \frac{m}{s} = 111.6 Km/h$$



Com veiem el resultat de 111.6 Km/h es molt proper al valor de 104.6 Km/h que es el que teòricament es dona al Dragon Khan. Més endavant veure'm el perquè d'aquesta diferència.

Un cop ja hem pogut veure com s'aplica la energia mecànica a una muntanya russa anem ara a analitzar que cal que es compleixi perquè aquesta funcioni, es a dir, que un cop les vagonetes inicien el recorregut puguin seguir-lo fins el final (o fins un altre punt d'elevació mecànica) sense que es quedin a mig camí. Per això tornarem a la imatge anterior i ens fixarem amb el primer element que hi apareix després del drop inicial, el looping vertical.

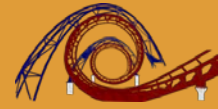


Si volem que es compleixi el que hem dit abans de que la muntanya russa funcioni, el primer que hem de garantir es que les vagonetes passin del punt més elevat del looping. Si ho fan podran continuar el recorregut. Això suposa que han de poder arribar fins a aquest punt passant-lo a una velocitat de zero. Es a dir, ens trobem de nou amb una situació com la que teníem al inici del drop. Per tant aplicant un altre cop la llei de la conservació de l'energia, podrem dir que la condició que cal complir és :

$$E_{m,h} = E_{m,loop} \Rightarrow E_{p,h} = E_{p,loop} \Rightarrow mgh_1 = mgh_2 \Rightarrow h_1 = h_2$$

Es a dir, per a que es pugui passar el looping només cal que l'alçada de la caiguda sigui igual a l'alçada del looping. Ara bé, com veurem més endavant, hi ha altres factors que intervenen en la realitat que fa que això no sigui així i que ens trobem amb que la condició de fet sigui  $h_1 > h_2$ .

De la mateixa manera que fent servir l'energia mecànica de dalt del drop i la del punt superior del looping s'ha arribat a la condició mínima de funcionament, es pot utilitzar



l'energia mecànica de la part inferior de la caiguda com a energia inicial en el mateix càlcul. Així tindrem que :

$$E_{m_0} = E_{m_{loop}} \Rightarrow E_{c_0} = E_{p_{loop}} \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = mgh_2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh_2}$$

Tornant al cas del Dragon Khan, on l'alçada del looping ( $h_2$ ) és de 36 m, tindriem que la velocitat mínima hauria de ser de :

$$Si h_2 = 36m i g = 9.81 \frac{m}{s^2} \Rightarrow v \cong 26.58 \frac{m}{s} = \mathbf{95.688 Km/h}$$

Com podem observar la velocitat mínima és inferior a la velocitat teòrica al final del drop que hem calculat abans, i per tant podem dir que les vagonetes haurien de poder completar el loop sense problemes.

D'igual manera que s'ha fet amb el drop i el looping es podria seguir fent els càlculs a la resta dels elements del recorregut per comprovar que amb l'energia acumulada al punt inicial es factible el completar tot el trajecte.

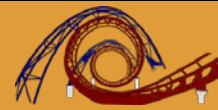
Ara bé, tal com ja s'ha dit, tot això funciona a nivell teòric però en el món real no es ben bé així. El principi de la conservació de la energia que hem aplicat només es compleix si no hi ha intervenció de forces no conservatives. Aquestes forces, que actuen en direcció contrària al moviment, fan que part de l'energia es transformi per exemple amb calor i que no s'aprofiti totalment per al moviment del cos. En el cas de les muntanyes russes aquestes forces serien les que apareixen degudes al roçament de les rodes de les vagonetes amb els rails i amb l'aire, i s'oposarien al moviment de les vagonetes.

De forma aproximada podem dir que la **força de fregament** ( $F_r$ ) que es produeix quan una vagoneta es mou ve determinada per :

$$F_{r_{total}} = F_{r_{rodes}} + F_{r_{aire}}$$

$$F_{r_{rodes}} = Rmg ; F_{r_{aire}} = \frac{1}{2}\rho v^2 AD$$

On  $m$  (Kg) correspon a la massa de la vagoneta,  $g$  ( $9.81 m/s^2$ ) a la gravetat,  $R$  al coeficient de resistència de fricció (que varia entre 0.009 i 0.018),  $\rho$  a la densitat de l'aire a nivell del mar ( $\cong 1225 Kg/m^3$ ),  $A$  la superfície frontal de la vagoneta més el passatger ( $m^2$ ), i  $D$  al



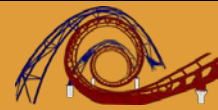
coeficient de drag o d'arrossegament (valor que cal determinar experimentalment, per exemple en un túnel de vent).



*L'aerodinàmica de les vagonetes afecta al seu moviment*

Podem veure com la força de fregament serà deguda sobretot al pes de les vagonetes i els passatgers, pel que fa al fregament amb els rails, i amb la velocitat i amb quan d'aerodinàmic sigui la part davantera de les vagonetes en el cas del fregament amb l'aire. Igualment cal tenir en compte que la densitat de l'aire varia segons l'alçada i segons la temperatura, de tal forma a grans trets trobem que si disminueix la temperatura la densitat augmenta i si augmentem l'alçada la densitat disminueix. O sigui que si volguéssim minimitzar l'efecte del fregament amb l'aire hauríem de posar la muntanya russa dalt d'una muntanya ben alta. Tot això té un efecte directe en la velocitat amb que es desplacen les vagonetes en una muntanya russa, fins el punt que aquesta pot variar d'un viatge a un altre segons el pes dels passatgers o del temps que faci. Les condicions del vent que faci també són importants doncs s'afegeix al fregament. Per aquest motiu normalment les muntanyes russes tenen límits de seguretat en quan amb quin vent màxim podem funcionar. En el cas del fregament de les rodes succeeix el mateix amb la pluja.

Totes aquestes qüestions són tingudes en compte pels dissenyadors de muntanyes russes de forma que els càlculs els fan sempre considerant les condicions més desfavorables.

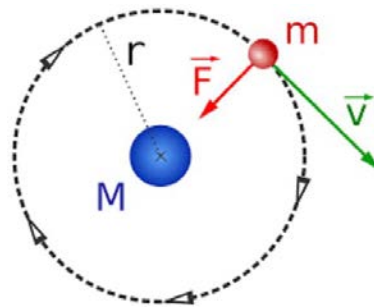


Adicionalment i per tal d'augmentar la seguretat sempre s'acaba aplicant factors correctors que permeten incrementar els marges de seguretat.

Si tornem al cas del Dragon Khan, i recordem la velocitat teòrica calculada al final del drop i la teòrica real de l'atracció, veiem que mentre una era de 111.6 Km/h l'altre era de 104.6 Km/h. La diferència entre ambdues es precisament deguda a les forces de fregament. Si fem el quocient entre elles tindrem el % de pèrdues que es produeixen. En aquest cas es proper al 6%.

Un cop analitzat el funcionament bàsic d'una muntanya russa anem a veure tot seguit quines són i com són les forces que apareixen degudes al desplaçament de les vagonetes pels rails. Algunes d'elles, com és el cas de les forces de fregament, ja les hem introduït fa un moment. Altres, com la **força de la gravetat** les tenim sempre ben presents.

Si ens fixem en el recorregut típic d'una muntanya russa podem veure com aquest acostuma a estar ple de corbes, algunes de costat i d'altres cap enlaire, com es el cas dels loopings. L'objectiu final sempre és el mateix, el aconseguir que les persones que van dalt de les vagonetes experimentin les sensacions que els hi genera les forces que van apareixen al llarg del recorregut. Quan aquest recorregut no és el línia recta apareix la **força centrípeta**.



La força centrípeta ( $F_c$ ) és la força necessària que cal aplicar a un cos perquè segueixi una trajectòria circular. Aquesta força serà equivalent a la resultant de totes les forces que hi actuen. L'expressió que ens permet determinar-la és :

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

On  $m$  és la massa del cos (Kg),  $v$  és la seva velocitat (m/s) i  $R$  és el radi de la corba per on es mou el cos. Les seves unitats són els Newton's (N), tot i que com veurem mes endavant en el cas de les muntanyes russes s'utilitzen les forces G.



A partir de l'anterior expressió podem veure com la força centrípeta serà major si augmenta la massa del cos, la seva velocitat o el radi de gir de la corba.

### 3.1.2 Forces G en una muntanya russa

Els entusiastes de les muntanyes russes segurament t'explicaran i et diran que a ells els hi encanta la sensació de velocitat que s'experimenta en aquestes atraccions. Però en realitat, els humans no podem sentir la velocitat; el que nosaltres sentim és l'acceleració. Quan va ser l'últim cop que tu vas sentir la Terra rotar ràpidament sota el teu peu? Volant en un avio comercial sentim exactament el mateix que creuant el carrer en un cotxe de gama mitjana. En altres paraules sense un punt de referència és impossible dir a quina velocitat t'estàs movent. El que ens fa tenir una sensació perceptible són les variacions; les frenades i les arrencades, es a dir les acceleracions.

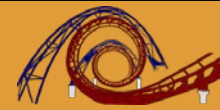
És per això que l'objectiu d'un bon dissenyador de muntanyes russes és el de crear el màxim d'acceleracions per el passatger possibles tot estant segurs de que aquestes es mantindran dins d'uns valors segurs al llarg del recorregut.

Aquestes acceleracions son conegudes com forces G. El terme G fa referència a la Gravitat terrestre i el nombre que s'acostuma a posar al davant indica quants cops la força de la gravetat actua en un determinat punt. Tothom en el seu dia a dia experimenta sobre seu 1G, que es la força de la gravetat en repòs. Si en un parc temàtic es diu que en una determinada atracció s'experimentarà per exemple 4G això vol dir que una persona que hi pugui es veurà sotmesa momentàniament a una força equivalent a 4 vegades la de la gravetat. Això el que vol dir es que si una persona pesa 80Kg en repòs si puja a l'atracció en un moment puntual arribarà a pesar 320Kg.

Al llarg del recorregut d'una muntanya russa les forces G son variables segons el tipus d'element que hi trobem fent que en alguns casos siguin mes intenses que en d'altres.

Les forces G, per exemple, son les causants de generar el *Airtime* o temps de vol que els passatgers senten. Així hi tenim el *Ejector Airtime* que correspon a quan els passatgers tenen la sensació de que sortiran volant de la muntanya russa, i el *Floater Airtime*, que és una sensació més suau que fa sentir-se al passatger més lleuger.

En general en un a muntanya russa distingirem diferents tipus de forces G. Tot seguint es mostren quines son i quina és la tolerància humana a elles, i per tant quins han de ser els valors límits de seguretat que cal tenir en compte al dissenyar una muntanya russa. Els



valors de tolerància estan extrets del llibre “*Bioastronautics Data Book*” publicat per la NASA l’any 1964.

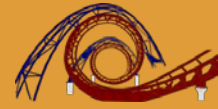
**FORCES G POSITIVES** → Tenen lloc al final d’una caiguda, o en una corba peraltada, quan el tren vol seguir movent-se en la mateixa direcció però la via el força cap una de diferent. Segons com de sobtat sigui el canvi de direcció forçat serà el valor de la força G que es produirà. La sensació sobre els passatgers es la quedar-se enganxats als seients. Pel que fa a la tolerància humana a aquestes forces trobem que :

- A nivell físic el que succeeix es que la sang es veu empesa des del cap cap a les extremitats motiu pel quals els passatgers empal·lideixen.
- 1G, és al que normalment estant sotmesos els humans.
- 2G, es nota les mans pesades.
- 3G, es fa difícil moure’s.
- 4G, apareixen afectacions a la visió i una disminució de la consciència.
- 5G, hi ha el risc de perdre la consciència.
- El cos humà pot tolerar fins a 9G amb l’ajut d’un vestit protector especial com el que utilitzen els pilots de caces de combat.



*Exemples de casos on es produeixen forces G positives (esquerra), negatives (centre) i laterals (dreta)*

**FORCES G NEGATIVES** → Les forces G negatives normalment s’experimenten quan el tren passa per una part elevada d’un turó a gran velocitat o quan de forma sobtada el tren cau. L’efecte que generen les forces G negatives acostuma a considerar-se de més diversió que el causat per les positives. Les forces negatives es mesuren entre 0 i >1G. Tota força per sota del valor estàndard de 1G es considera com d’ingravedesa i esper aquest motiu que es produeix la sensació de flotació.



Pel que fa a la tolerància del cos humà davant aquestes forces trobem que :

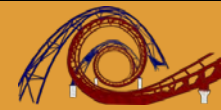
- Sota l'acció de forces G negatives el que passa es que la sang s'acumula cap al cap, deixant sense reg sanguini els òrgans provocant un augment de la pressió sanguínia al cervell. En una muntanya russa valors mes grans de  $-1G$  es consideren perillosos.
- $-1G$ , es té sensació de pressió al cap.
- $-2G$ , es pateix mal de cap sever, hemorràgies nasals i inflor a les parpelles.
- $-3G$ , hemorràgies als ulls, pèrdua de la visió.
- $-4G$ , confusió mental i inconsciència.
- $-5G$ , perill de mort.

**FORCES G LATERALS** → Les forces G laterals es produeixen quan un tren es mou per una corba no o poc peraltada provocant en els passatgers la sensació de que sortiran disparats lateralment fora del tren. Pel que fa la tolerància del cos humà dir que aquest pot suportar valors elevats sempre que es mantingui convenientment subjectat.

**FORCES G LINEALS** → Les forces G lineals tenen lloc quan un tren surt llençat a gran velocitat en una muntanya russa al llarg d'una via recta. El cos humà es capaç de tolerar elevats valors d'aquest tipus de forces. Aquestes forces fan que els passatgers es quedin enganxats cap enrere als seus seients. Respecte la tolerància a aquestes forces comentar que el cos humà pot suportar fins a valors de  $17G$  quan el moviment de desplaçament es cap endavant i de fins  $7G$  quan es cap enrere.



*Les forces G lineals es produeixen a les muntanyes russes llençades*



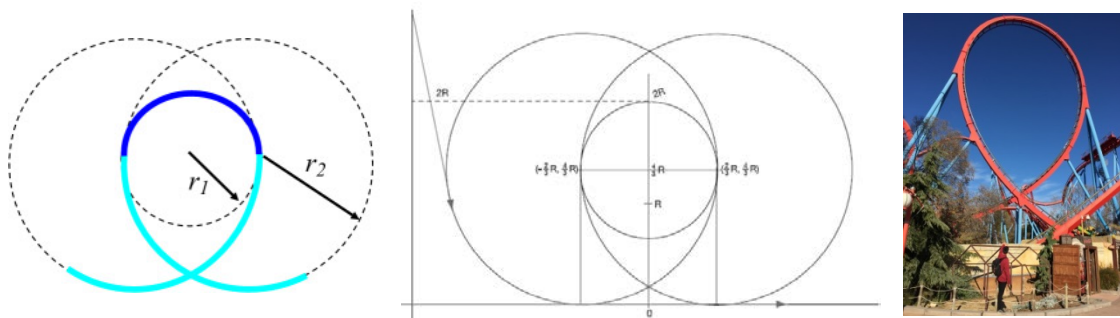
### 3.1.3 Clotoides, els loopings no són circulars

Avui en dia, es normal trobar loopings verticals de grans dimensions en una muntanya russa. Però sabies que aquests mai són circulars? Mes aviat tenen forma de llàgrima al revés tot seguint una forma que rep el nom de corba clotoide. Aquest tipus de corbes es fan servir també en les carreteres o en les vies de tren per reduir les forces que es produeixen.



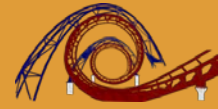
*Ús de les corbes clotoides en una carretera*

En el cas de les muntanyes russes el motiu de fer servir les corbes clotoides en els loopings no es altre que el reduir les forces que es produirien en cas de ser completament en forma circular ja que serien massa elevades pel cos humà.



*Bucles en forma de llàgrima invertida enlloc de cercles*

Fent ús de les corbes clotoides el que s'aconsegueix es reduir aquestes forces tot augmentat el radi de gir en el punt de màxima velocitat, just a l'entrada del bucle, i reduint-lo en la part superior del mateix on la velocitat ha disminuït.



En el Dragon Khan la velocitat d'entrada al looping és d'aproximadament 105Km/h, el que suposa que en cas que el bucle fos totalment circular es podrien generar forces de fins a gairebé 5G.

En canvi si fem servir una corba clotoide com la de la figura i prenem  $r_2$  com a 24m i  $r_1$  com a 12m (a partir de les relacions que apareixen en la figura anterior), tenim que les forces al inici del looping es redueixen fins els 3.6G.

Per calcular-ho s'ha fet servir la següent expressió :

$$G = \frac{v^2}{rg}$$



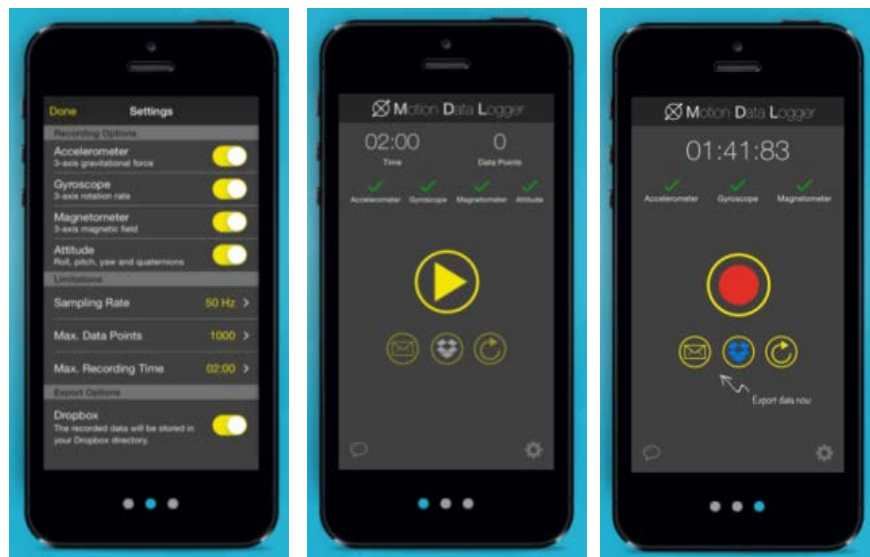
## 4. A LA PRÀCTICA

### 4.1 MESURES A LES ATRACCIONS DE PORT AVENTURA

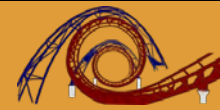
#### 4.1.1 Eines utilitzades

Per a la mesura de dades dalt de les atraccions s'ha fet servir un SmartPhone Apple iPhone6 en el que s'ha instal·lat la aplicació *Motion Data Logger* de l'empresa Jademind (<http://motionlogger.jademind.com/>).








De les moltes aplicacions que permeten enregistrar les dades dels sensors d'un SmartPhone que es poden trobar per la xarxa, s'ha triat aquesta ja que permet obtenir d'una forma relativament senzilla informació dels acceleròmetres, giroscopi i magnetòmetre del telèfon mòbil. Al mateix temps permet emmagatzemar i enviar per email les dades obtingudes.



Pantalles de la app Motion Data Logger : Configuració (esquerra), Inici enregistrament (centre), Fi enregistrament (dreta)



Les seves principals característiques son :

 Accelerometer	Permet enregistrar acceleracions gravitacionals (en valors de g) en les direccions x,y i z
 Gyroscope	Enregistra la velocitat de rotació en les tres dimensions (radians per segon)
 Magnetometer	Enregistra el valor del camp magnètic terrestre en les tres dimensions (microteslas)
 Attitude	Enregistra quaternis, roll, pitch i yaw (radians)
 CSV Export	Exporta les dades enregistrades en un format d'arxiu CSV (Comma-Separated Values)
 Dropbox	Permet guardar les dades directament a un compte de Dropbox
 Email	Permet enviar les dades per email

#### 4.1.2 Procediment

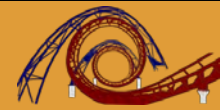


#### Passos seguits per a la obtenció de les mesures

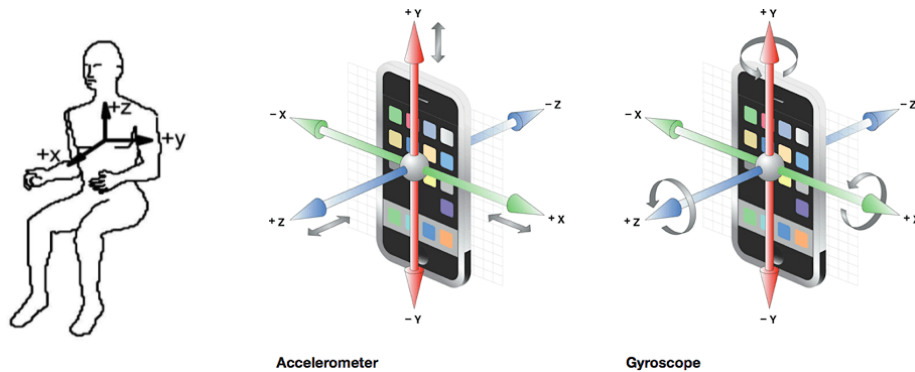
Per tal de poder obtenir les dades pel treball s'ha seguit un procediment on hi ha diferents passos. Tot seguit s'expliquen els quatre primers mentre que el darrer es mostra en el següent apartat.

**PROVES PRÈVIES** → En primer lloc s'han fet un seguit de proves amb el SmartPhone i l'aplicació (app) triada per fer les mesures. Aquestes proves tenien com a propòsit el determinar si el funcionament de la app era correcte i com estaven situats els eixos de referència interns.

Així s'han fets moviments de forma manual de translació i rotació en cadascun dels eixos definits en el SmartPhone i s'han enregistrat i analitzat les dades. També s'ha deixar caure



el telèfon des de una petita alçada sobre una superfície esmorteïdora en les diferents orientacions per verificar els valors en caiguda lliure.

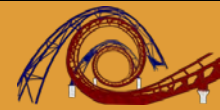


Sistema d'eixos de referència

En segon lloc s'han fet proves amb la app per veure quanta estona es podia estar gravant sense que quedés interrompuda l'adquisició a una velocitat de 100Hz, es a dir, 100 valors cada segon. També s'ha verificat que passava si el telèfon es posava en mode de bloqueig amb la pantalla apagada, veient que en tal cas s'aturava la app.

**PREPARATIUS** → El següent pas ha estat el determinar quina era la millor forma de dur a sobre el SmartPhone, tot tenint en compte que aquest no podia tenir la pantalla bloquejada i havia d'estar orientat a l'espai d'una forma determinada seguint els eixos de referència indicats abans. Així inicialment vaig pensar en fer servir un suport pel mòbil del tipus dels que s'utilitzen per fer running, que permeten utilitzar la pantalla tàctil. La idea era fixar-lo a la cama per sobre del turmell de forma que el telèfon quedés en posició vertical i amb la pantalla cap endavant. La possibilitat de que en algun moment es pogués deixar anar em va fer desistir i buscar alguna altra alternativa. El següent va ser utilitzar una bossa per portar el mòbil penjant del coll per dins la roba però no era prou garantia de que quedés prou subjecte i això pogués afectar a les mesures. Finalment vaig decidir fer servir una xaqueta amb butxaques interiors a la part del davant prou grans com per encabir el mòbil sense que aquest es mogués en excés. Vaig fer diverses proves de posar en funcionament la app i deixar el mòbil a l'interior de la butxaca amb bons resultats.

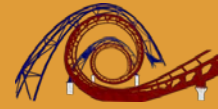
Un cop trobada una forma de dur el mòbil a sobre el següent que vaig fer va ser verificar que un cop enregistrades les dades les podia emmagatzemar de forma segura. Així vaig fer proves de guardar-les al núvol amb el Dropbox i enviar-me-les al mateix temps per email.



**PRESSA DE DADES** → La pressa de dades ha tingut lloc al Parc temàtic de Port Aventura al llarg d'un dia en diferents atraccions. En primer lloc s'han fet al Furious Bacco, on s'ha pogut comprovar que el sistema triat per fer-les no era del tot correcte, ja que al col·locar-me a sobre l'arnés de protecció aquest va fer pressió sobre la pantalla del mòbil tot aturant la app. Després d'això vaig seguir per la resta d'atraccions enregistrant les dades (Wild Buffalos, Tami-Tami, El Diablo, i Stampida) veient que tot semblava funcionar correctament i que un cop enregistrades les dades les podia guardar i remetre per email.

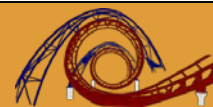


Atraccions de Port Aventura on s'han fet les mesures (de dalt a baix i d'esquerra a dreta : Wild Buffalos, Tami-Tami, El Diablo, Stampida, Furius Bacco, Dragon Khan)



Finalment, i amb l'experiència del que havia passat al Furious Bacco, vaig pujar al Dragon Khan posant el mòbil en una butxaca mes cap el centre del pit i vigilant de que l'arnés de seguretat no hi fes pressió a sobre. Per tal de poder tenir mes informació vaig repetir l'experiència seient a una altra posició del tren.

**RECUPERACIÓ DE LES DADES** → Un cop tornat de Port Aventura vaig recuperar les dades i en vaig fer còpies de seguretat.

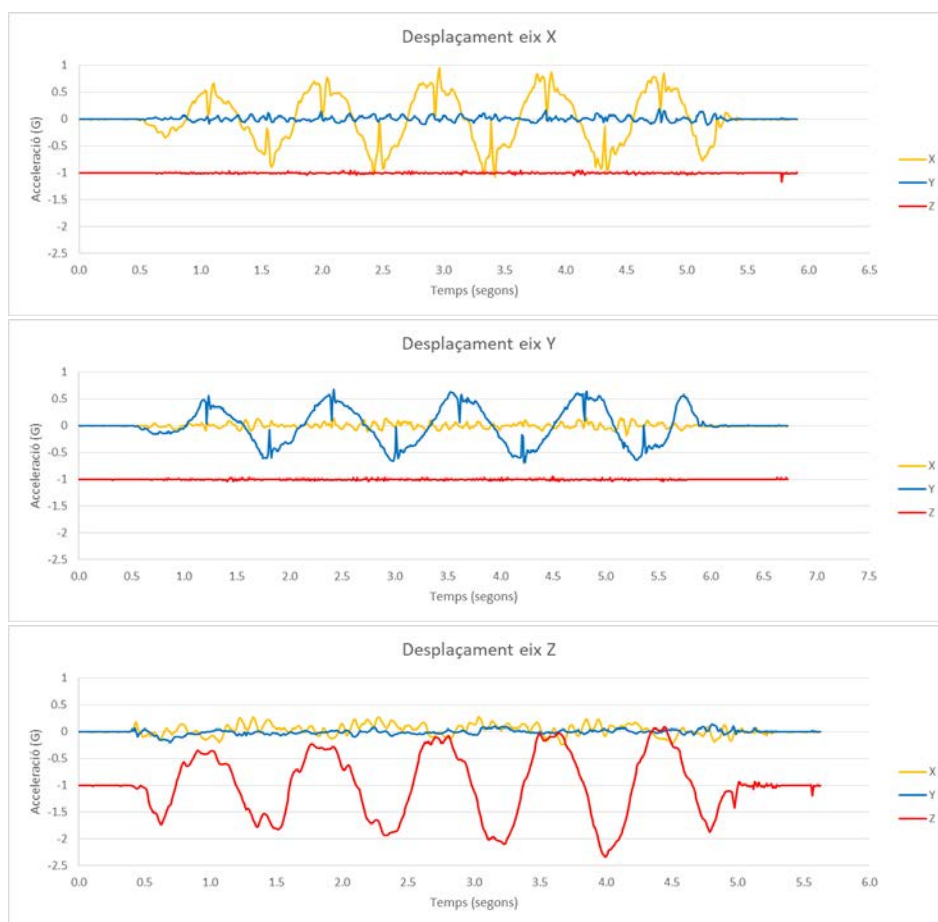


## 4.2 RESULTATS OBTINGUTS I ANÀLISIS

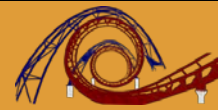
Un cop recuperades les dades s'ha utilitzat l'aplicació Excel per generar fulls de càlcul on processar i visualitzar els resultats en forma gràfica. En aquest apartat es mostraran els resultats obtinguts i l'anàlisi fet dels mateixos.

### 4.2.1 Proves prèvies

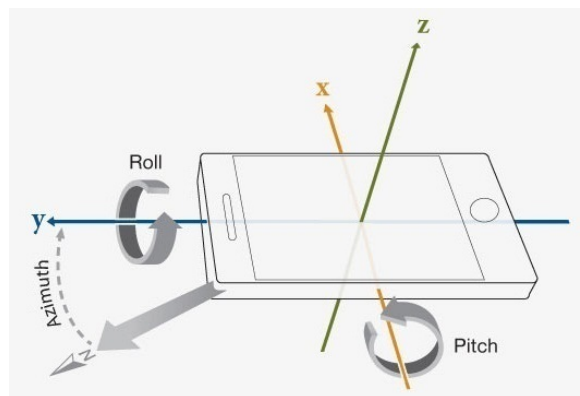
El primer conjunt de dades de que es disposa és el corresponent a les proves prèvies per veure el funcionament de la app i la disposició dels eixos de referència del SmartPhone utilitzat.



Així la primera prova va consistir en moure el mòbil endavant i enrere tot seguint els seus eixos de forma individual. Primer en el sentit transversal o del costat curt (eix X), segon en



el longitudinal o del costat llarg (eix Y) i finalment en el que es dirigeix cap a la pantalla (eix Z). En els dos primers casos això es va fer sobre un taula mentre que en el tercer, eix Z, es va fer desplaçant-lo amunt i vall per l'aire.



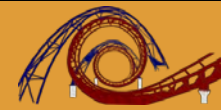
Definició del sistema d'eixos de referència en un iPhone6

Els resultats obtinguts son coherents amb la disposició teòrica dels eixos del iPhone6. Igualment es pot veure com no hi ha massa interferència creuada entre les mesures en els diferents eixos, de forma que quan el desplaçament es fa al llarg d'un eix pràcticament no es mesura res en la resta. El que si que s'aprecia es com quan es produeixen els canvis de sentit en els eixos X i Y hi apareix un petit salt en les gràfiques. Es desconeix si es un defecte en la mesura o be si realment el moviment manual fet pot generar-ho.

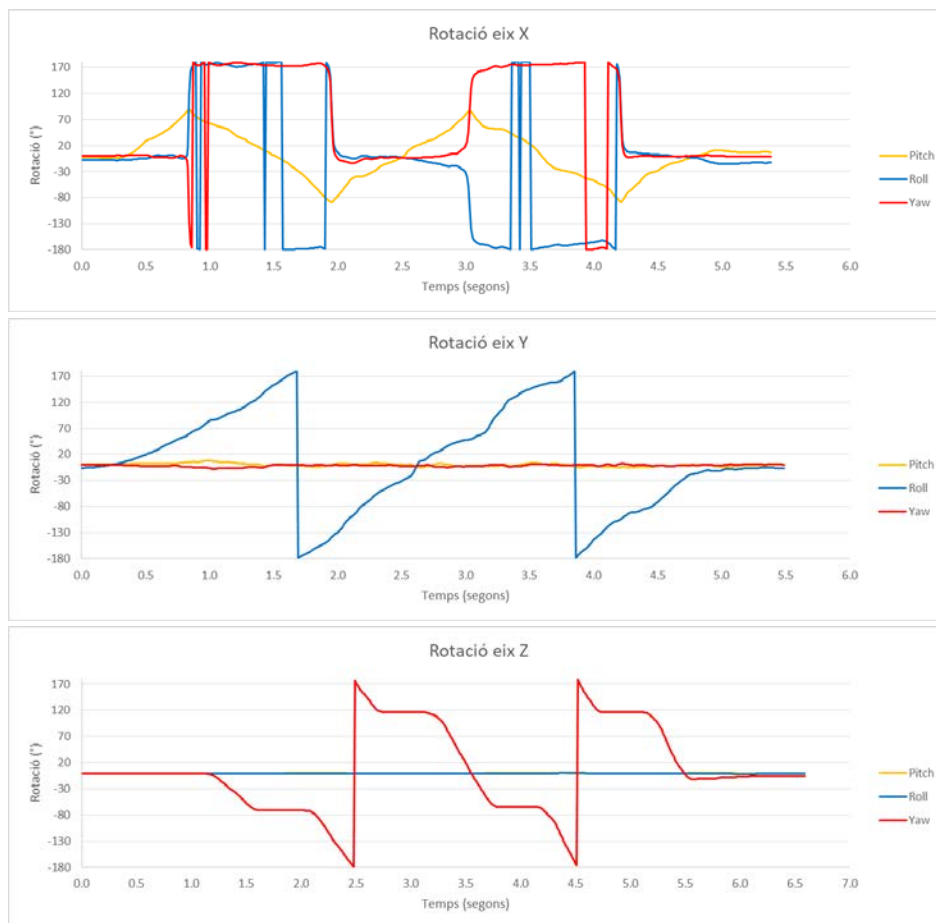
Es important veure com en el cas del l'eix Z quan el mòbil està en repòs el valor de la lectura de l'acceleració és  $-1G$ , és a dir, ens està indicant el valor precisament de la força de la gravetat. En canvi en els altres dos eixos això no succeeix ja que no estan orientats en posició vertical.

La segona prova realitzada correspon a la fer rotacions del mòbil al voltant de cadascun dels seus eixos. Aquestes rotacions, mesurades en angles reben el nom de Pitch, Roll i Yaw en funció de si es fan respecte l'eix X, Y i Z respectivament. Originalment les dades es donen en Radians que en el full de càlcul s'han transformat a graus sexagesimals. Cal tenir en compte que els valors obtinguts al fer una volta sencera al voltant d'un eix varien de  $+180^\circ$  a  $-180^\circ$ .

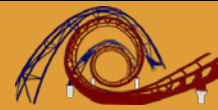
Com abans les dades obtingudes son coherents amb el que s'esperava tret del cas de la rotació en l'eix X. En aquest els valors estant compresos dins del rang  $+90^\circ$  i  $-90^\circ$  tot i fer un



gir complet. A més es veu com la resta d'eixos donen també valors tot i no fer cap rotació al seu voltant. Veient el resultat es va tornar a repetir la prova obtenint el mateix comportament. Després de buscar-hi alguna explicació es va esbrinar que amb tota probabilitat aquest comportament es deu a un fenomen anomenat "gimbal lock" que es molt comú quan es treballa amb els angles d'Euler.



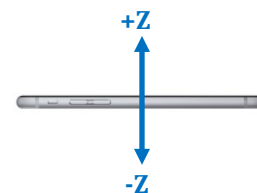
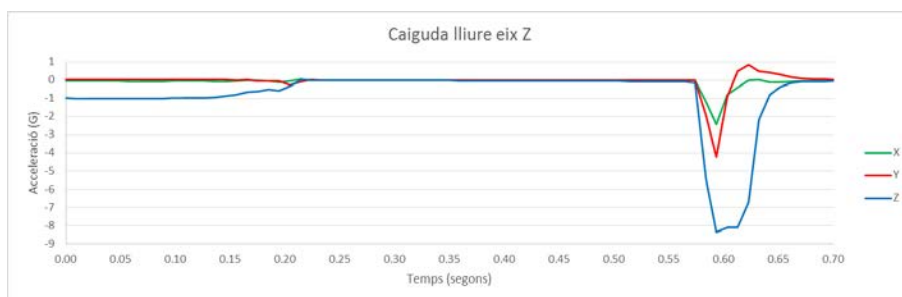
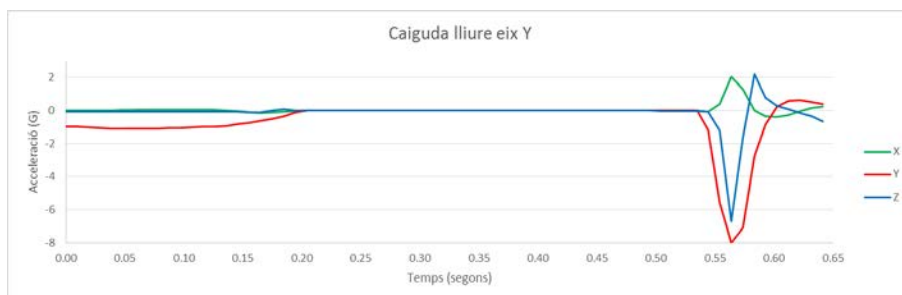
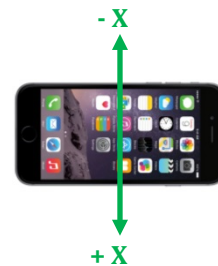
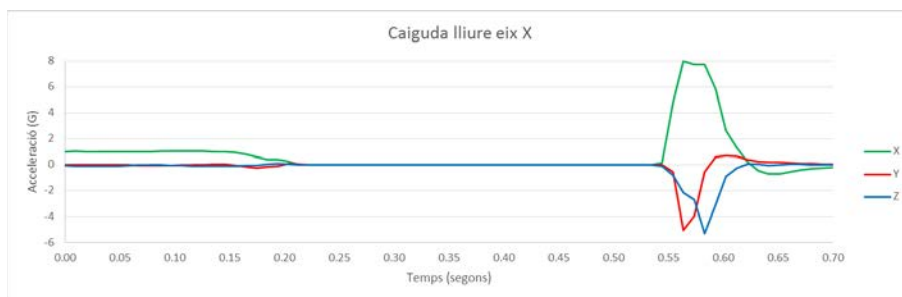
La tercera prova ha consistit en deixar caure de forma lliure el mòbil des d'una petita alçada d'aproximadament uns 70 centímetres sobre una superfície tova. Com es pot veure en les següents gràfiques mentre que es sosté el mòbil a l'aire orientat en cadascun dels eixos cap al terra la lectura de l'acceleració és de 1G o -1G segons com estigui orientat el mòbil respecte els seus eixos de referència interns. Així en el cas de l'eix X l'acceleració mesurada quan està subjecte és de 1G mentre que en pels eixos Y i Z és de -1G., tret del eix X. Tant

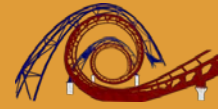


aviat com es deixa anar el valor de la acceleració tendeix a 0, mantenint-se així durant l'estona que el mòbil està en caiguda lliure (aproximadament uns 0.35 segons). En el moment de l'impacte el valor augmenta de forma significativa. Si fem el càlcul a partir de l'expressió de la caiguda lliure i de la velocitat final que assoleix un cos que cau des d'una determinada alçada, veurem com el resultat del temps  $t$  que triga un objecte en caure des d'una alçada de  $h=0.7$  metres és molt proper al mesurat.

$$V_f^2 = V_0^2 + 2gh \Rightarrow \text{Si } V_0 = 0 \Rightarrow V_f = \sqrt{2gh} \cong 3.7\text{m/s}$$

$$V_f = V_0 + gt \Rightarrow \text{Si } V_0 = 0 \text{ i } V_f = 3.7\text{m/s} \Rightarrow t = \frac{V_f}{g} \cong 0.37\text{s}$$



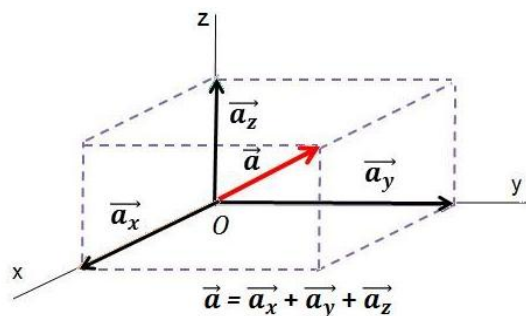


#### 4.2.2 Dades de les mesures a Port Aventura

El segon conjunt de dades de que es disposa és el corresponent a les enregistrades a Port Aventura, en concret a les atraccions Wild Buffalos (autos de xoc), Tami-Tami (muntanya russa familiar), El Diablo (Tren de la Mina), Stampida (muntanya russa de fusta) i Dragon Khan (muntanya russa de ferro extrema). En el cas del Dragon Khan es van prendre dos cops dades, la primera vegada (que he anomenat Dragon 1) en un seient de la meitat cap endavant del tren i en la segona (Dragon 2) a la darrera fila.

Si observem les gràfiques que apareixen tot seguit podem veure els valors enregistrats de l'acceleració (en forces G) per a cada eix (x,y,z) i el valor del mòdul del vector resultant, calculat com :

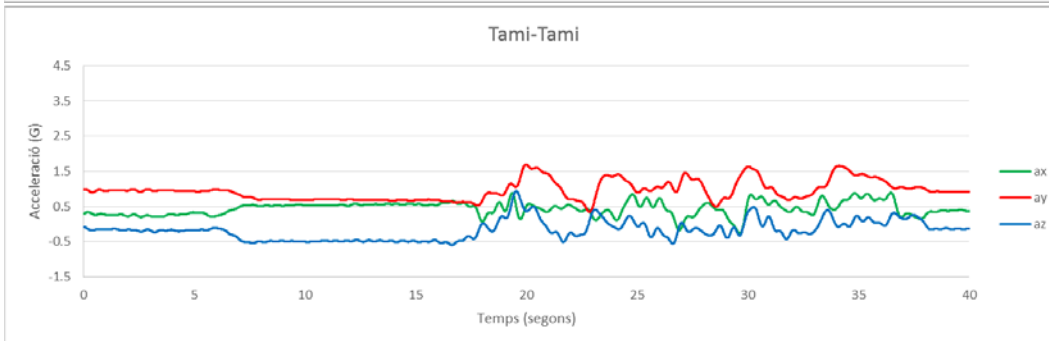
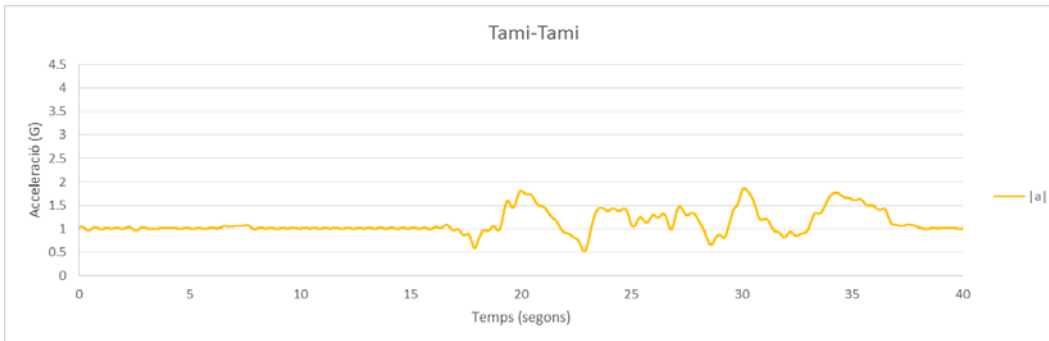
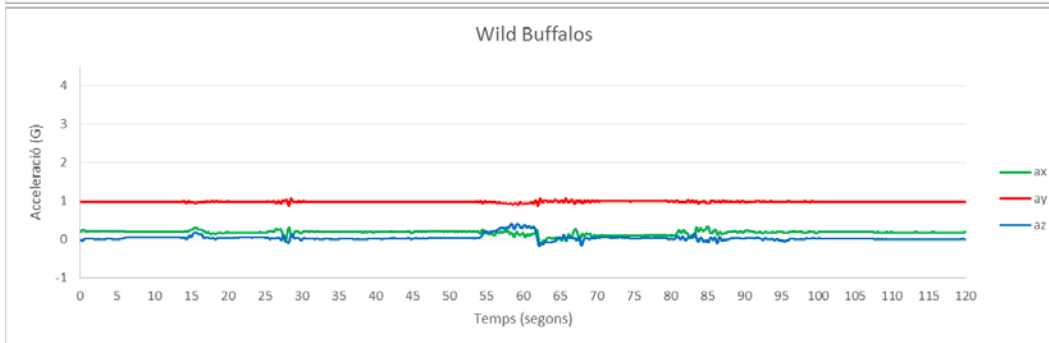
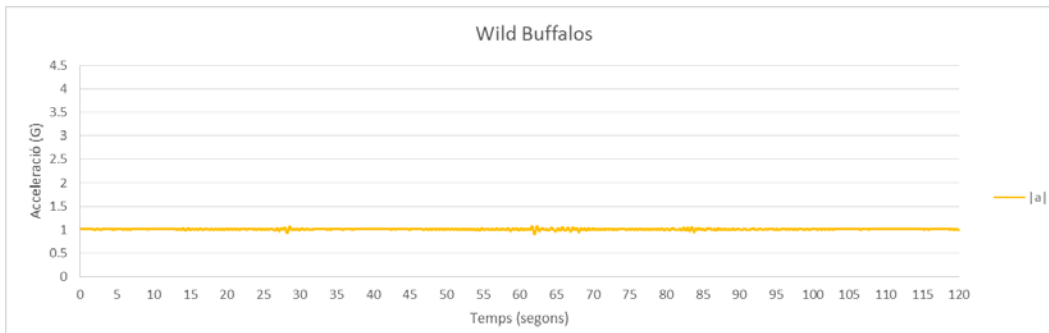
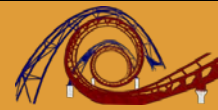
$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

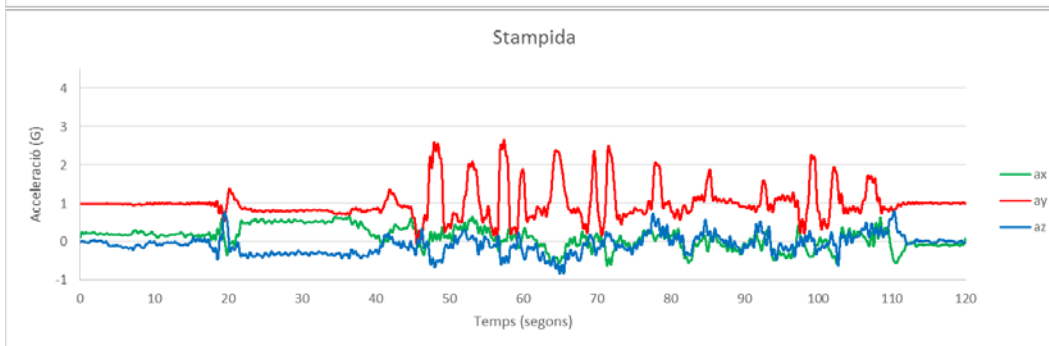
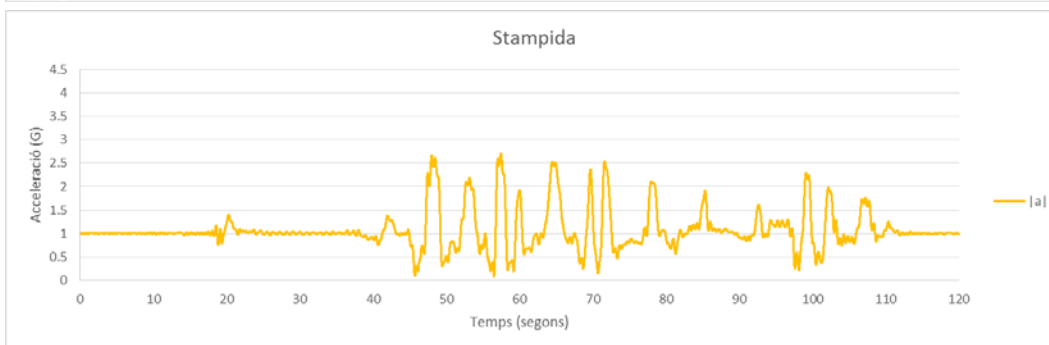
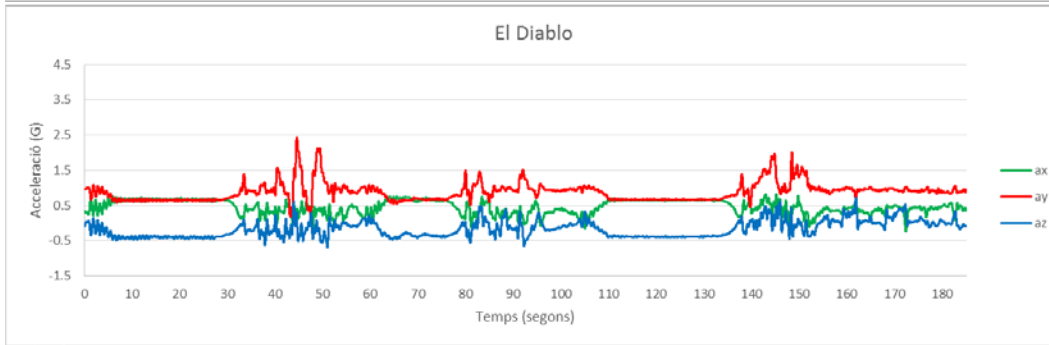
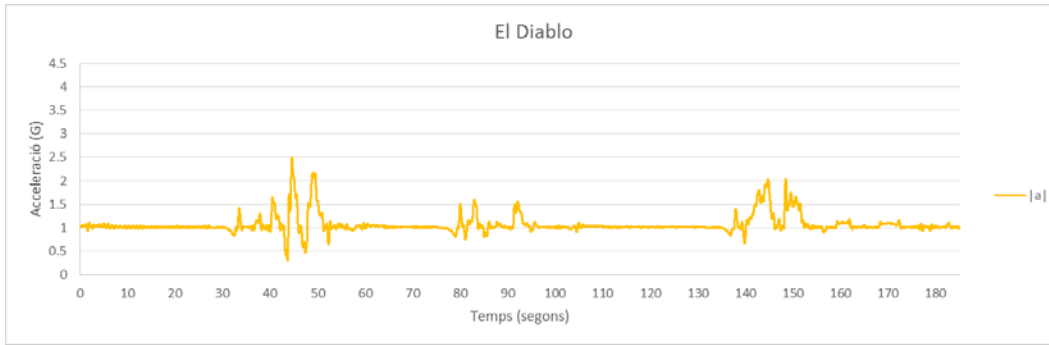
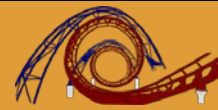


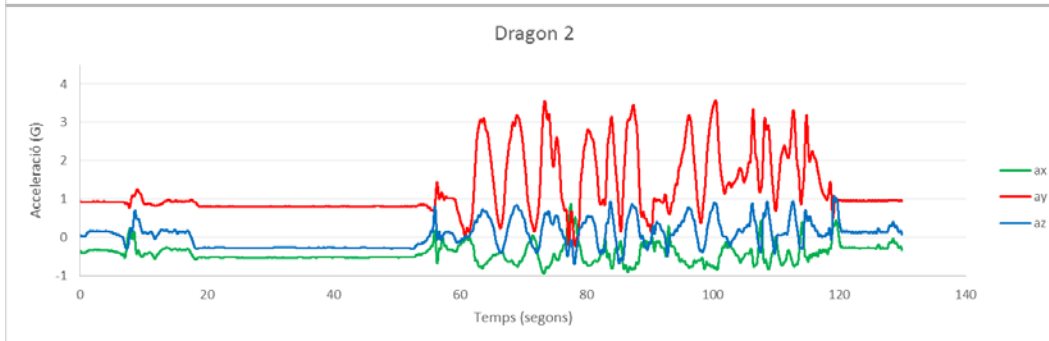
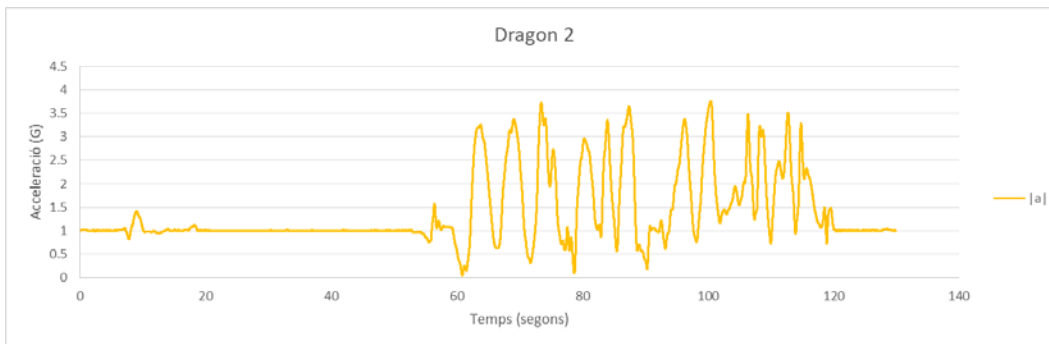
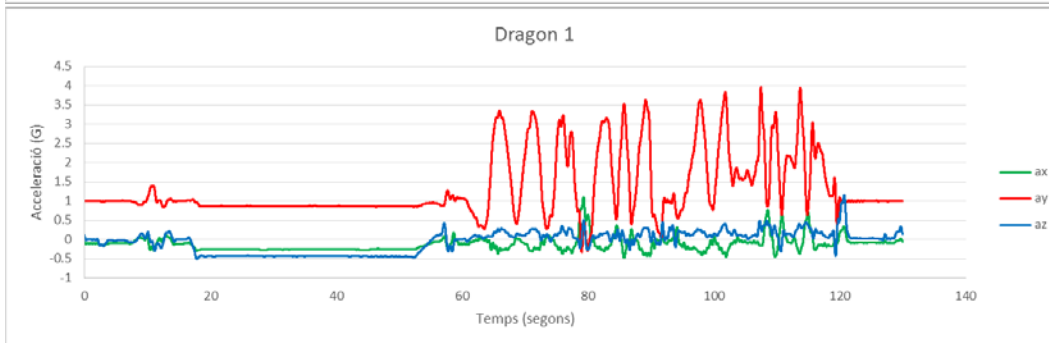
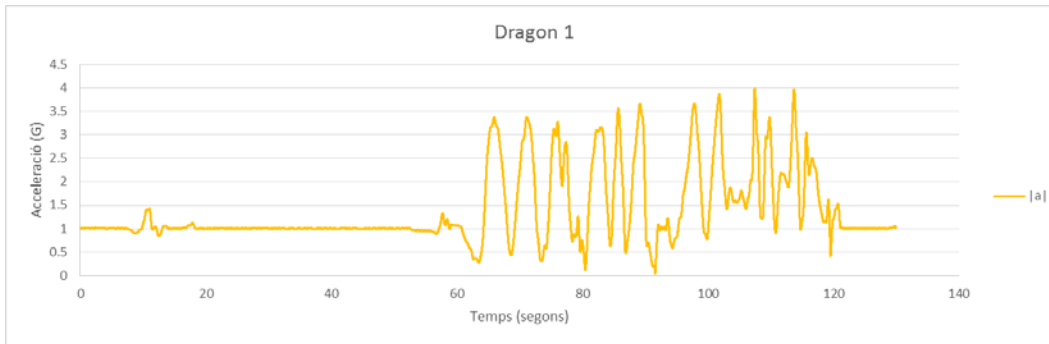
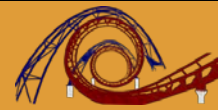
Tal com podem comprovar en les gràfiques els valors màxims de les acceleracions son força diferents en funció de quina atracció sigui, trobant-ne els següents :

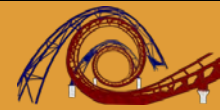
- Wild Buffalos : al voltant de 1G
- Tami-Tami : entre 1G i 1.5G
- El Diablo : fins a 1.5G
- Stampida : fins a 2.5G
- Dragon Khan : fins a 4G

Aquestes quantitats son, almenys pel que fa al Dragon Khan, força coherents amb aquelles que s'han pogut trobar en la cerca de informació pel treball. Per la resta podem veure com augmenten de forma gradual segons la exigència de la atracció.



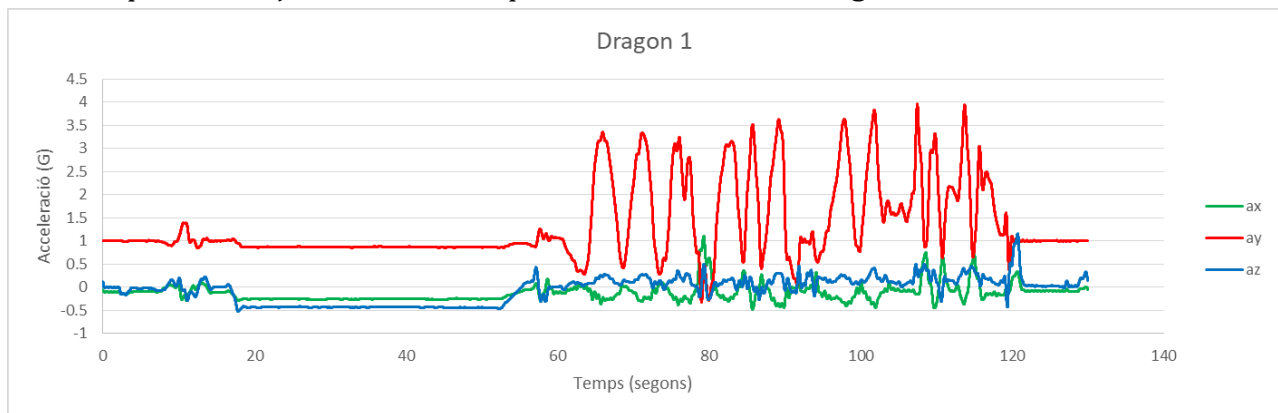




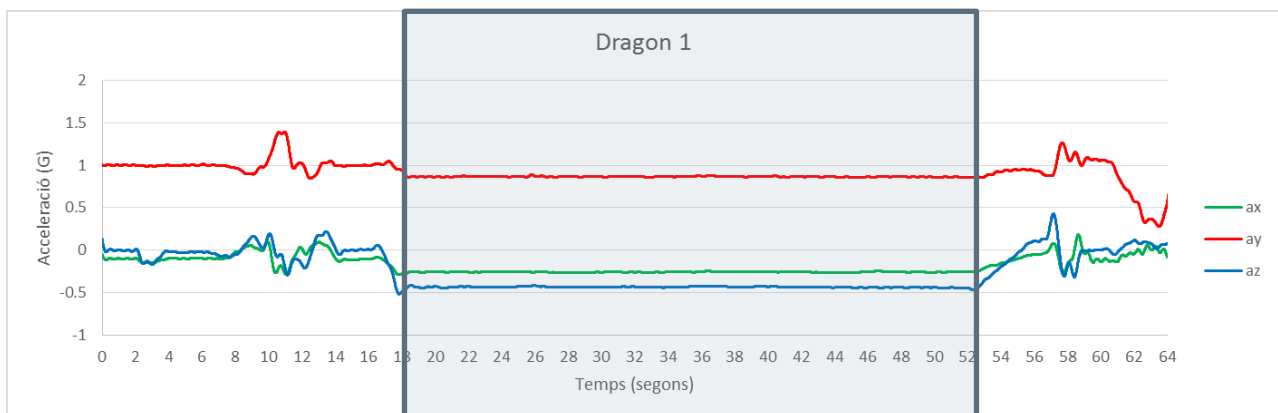


#### 4.2.3 Anàlisi de les mesures al Dragon Khan

A partir de la informació que tenim del recorregut podem veure si les dades enregistrades tenen alguna relació amb el que caldria esperar. Ens les següents gràfiques s'ha identificat els trossos que corresponen als diferents elements vistos en l'apartat dedicat al Dragon Khan. Per fer-ho he utilitzat dades de treballs previs així com vídeos del recorregut que es poden trobar per Internet. A nivell general en primer lloc es mostren els trossos tot fent servir la gràfica de les acceleracions, per a continuació entrar al detall en algunes de les parts més representatives fent servir la resta d'informació de que es disposa. Això es farà amb el primer conjunt de dades disponible, el anomenat Dragon1.

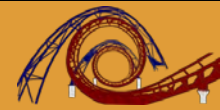


**Registre complet de les mesures fetes al Dragon Khan el primer dels dos cops**

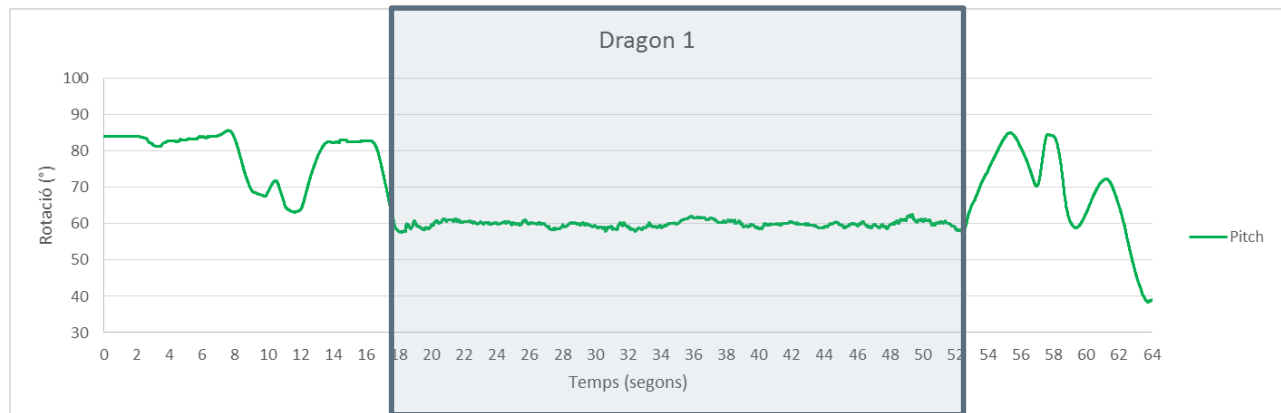


**Part corresponent del tram de pujada (lift hill)**

En aquest primer tros es pot veure sobretot el efecte que té sobre les mesures el passar pel pla inclinat de  $26^\circ$  que ens portarà al punt més alt de l'atracció de gairebé 45 metres



d'alçada. La durada de la pujada es d'uns 37 segons aproximadament durant els quals l'acceleració en els tres eixos es manté constant i amb un valor compost de gairebé 1G. Si ens fixem en les dades del angle de rotació de l'eix X (pitch) podrem veure com la diferència entre l'angle inicial i el del tram de pujada és precisament proper als  $26^\circ$  del pendent. El valor no es exacte degut entre altres motius a que el mòbil dins la butxaca no queda perfectament col·locat de forma vertical i perpendicular al nivell del terra.

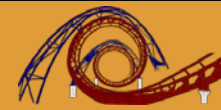


Angle de rotació de l'eix X durant la pujada

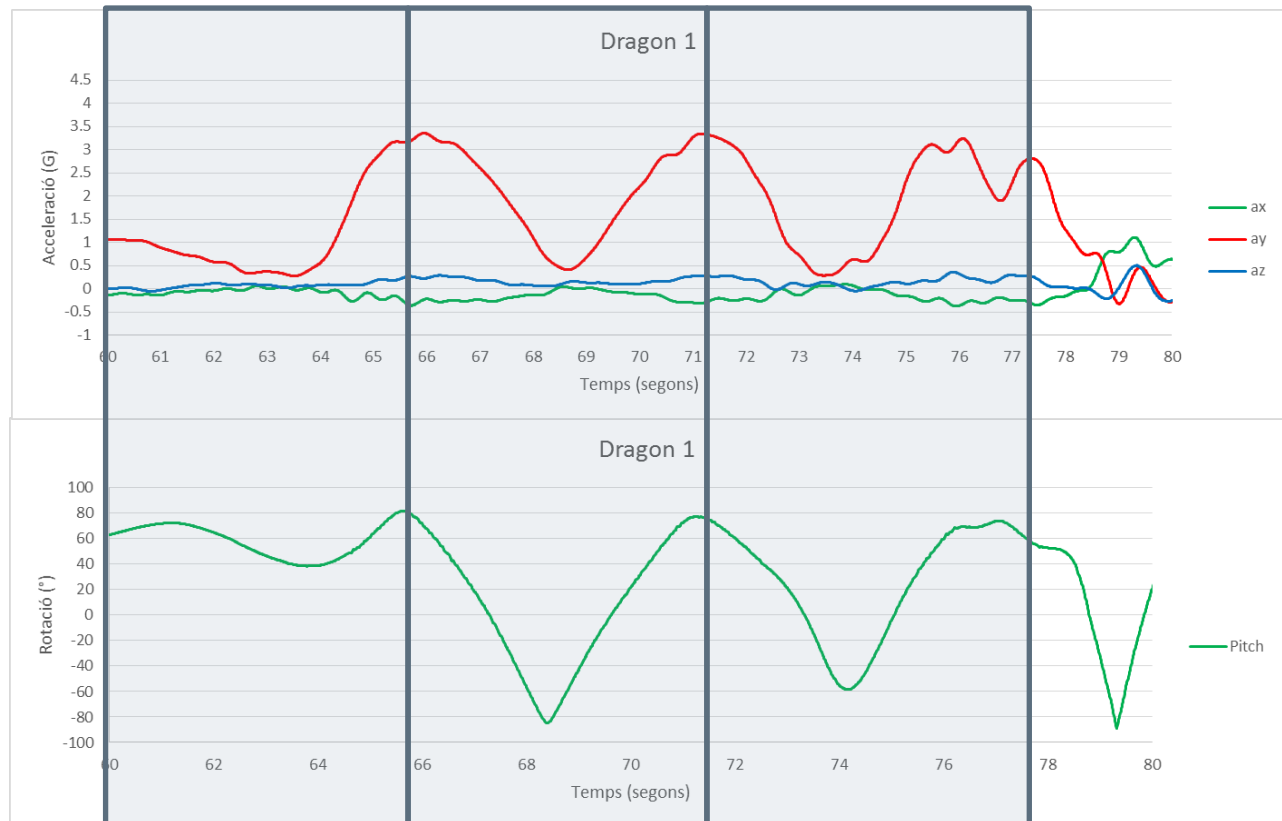
El segon tram correspon al de la baixada de 49 metres seguida de les dues primeres inversions : el loop vertical i el dive loop. La baixada es produeix per un pla inclinat de  $45^\circ$  al llarg d'uns 5 segons aproximadament, on s'assoleix una velocitat d'uns 105 Km/h aproximadament. Al llarg d'aquest trajecte l'acceleració vertical disminueix cap als 0G (sense arribar-hi) per tot seguit pujar de forma sobtada fins gairebé els 3.5G degut al canvi de direcció d'avall-amunt per iniciar el loop vertical. Aquest valor es molt proper de 3.6G calculat en l'apartat teòric on s'han introduït les corbes clotoides.



Pas de les vagonetes pel looping vertical del Dragon Khan el dia de la pressa de dades



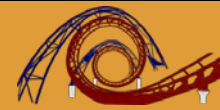
Durant el recorregut del loop de 36m d'alçada, l'acceleració disminueix cap a un valor proper a 0G tot coincidint amb la part més elevada del bucle, per tot seguit augmentar de nou fins a un nou valor màxim tot coincidint amb l'inici de la pujada cap la següent inversió: el dive loop. Si mirem el valor de l'angle de rotació veurem com aquest ens indica que es produeix una inversió precisament coincidint amb la part superior del loop.



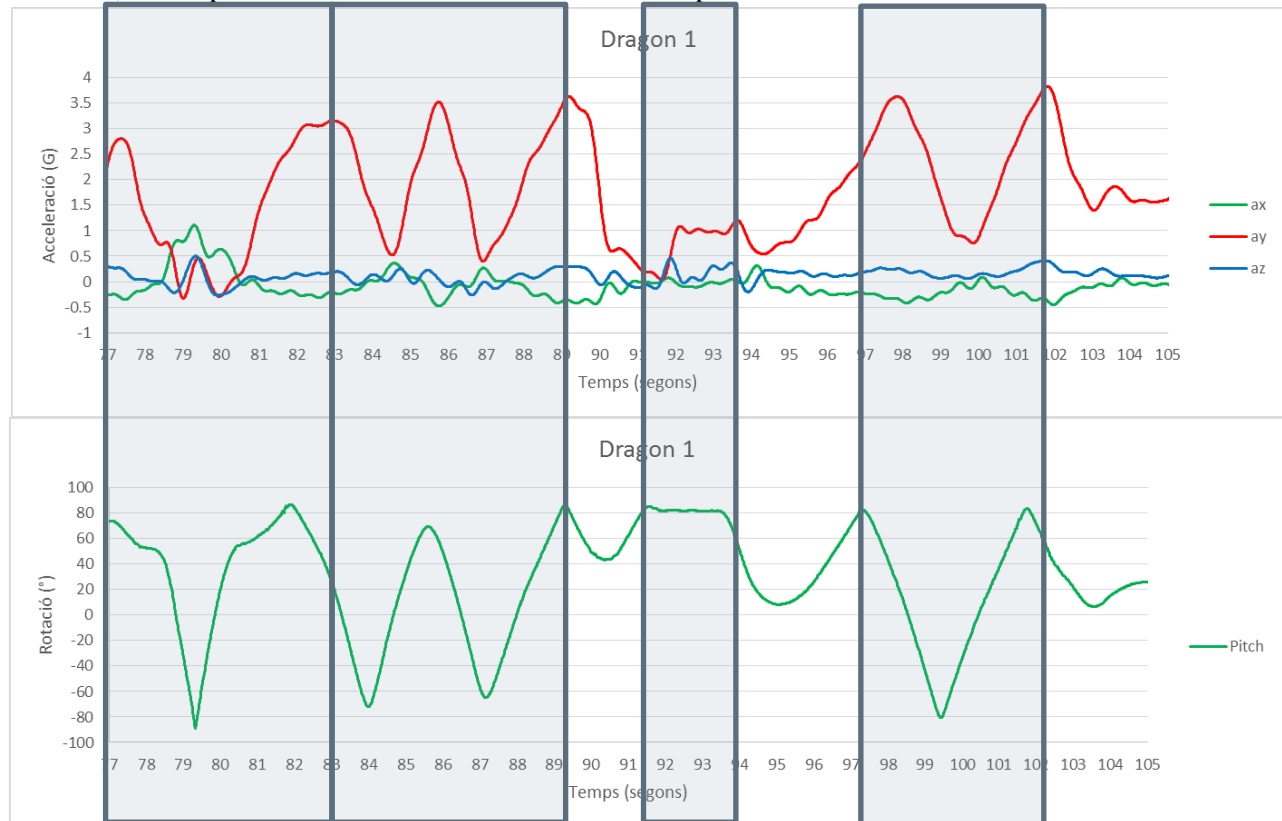
Parts corresponents d'esquerra a dreta, a la baixada principal, al looping vertical de 36m i al dive loop

El pas pel dive loop es fa en uns 6 segons en els quals s'experimenta una inversió i una acceleració propera a 0G.

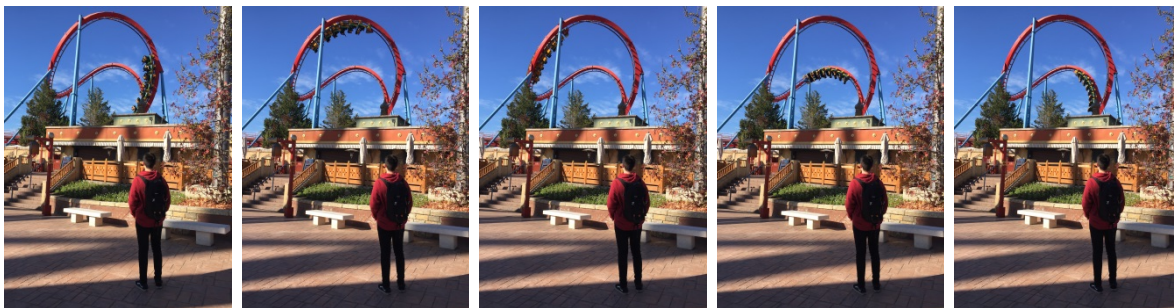
Tot seguit s'arriba al zero-g roll on al punt de la inversió l'acceleració pren el valor més proper a 0G de tot el recorregut. El següent element és el cobra roll amb les seves dues



inversions, i que es triga uns 7 segons en completar-lo. Just després s'arriba a la zona de frenat, on es pot veure com l'acceleració vertical pren el valor de 1G.

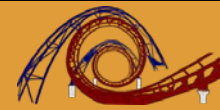


Parts corresponents d'esquerra a dreta, al zero-g roll, al cobra loop, tram de frenat i segon looping

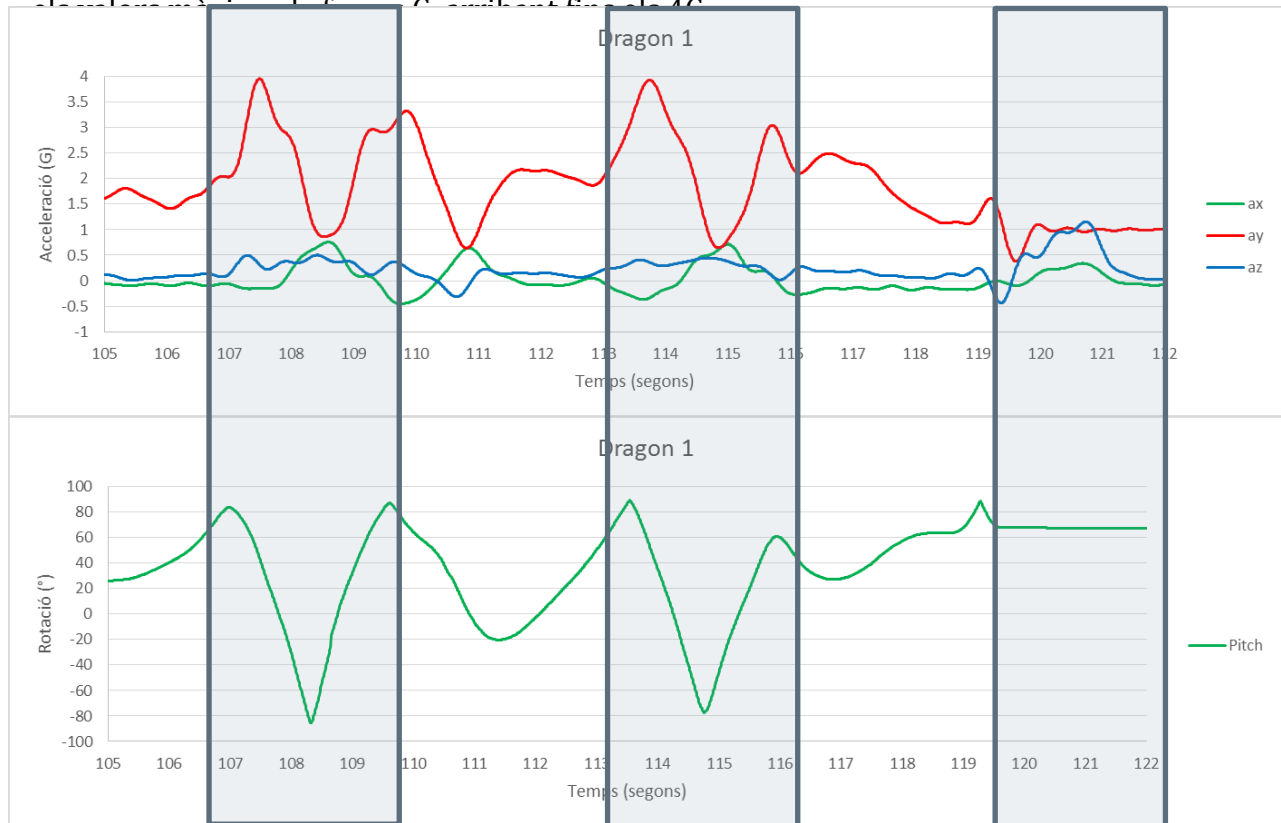


Pas de les vagonetes pel Cobra roll del Dragon Khan el dia de la pressa de dades

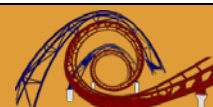
Després del tram de frenat trobem el segon loop vertical, amb una nova inversió, tal com podem veure en les gràfiques de l'acceleració i del angle de pitch.



Finalment arribem a la darrera part del recorregut on hi ha els dos tirabuixons, o corkscrew's, enllaçats. És precisament en aquest punt del recorregut on s'han enregistrat



Trams corresponents, d'esquerra a dreta al primer corkscrew, al segon corkscrew i al frenat final



### 4.3 REPRODUCCIÓ A ESCALA D'UN LOOPING VERTICAL

Com a extensió de la part pràctica em vaig plantejar inicialment el fer una maqueta d'una muntanya russa. Més endavant vaig pensar que potser era massa agosarat i mes tenint en compte el treball experimental de camp a fer. Així finalment vaig decidir fer alguna cosa que es pogués relacionar directament amb les mesures fetes amb el smartphone i la interpretació de les dades de les acceleracions. Per aquest motiu vaig triar el construir una maqueta d'un looping vertical real, o mes ben dit, una reproducció a escala reduïda.

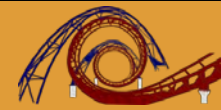
#### 4.3.1 Procés constructiu

El primer que ens cal per poder fer una reproducció a escala d'alguna cosa és conèixer exactament la seva geometria. Es per aquest motiu que vaig pensar en contactar amb Port Aventura i amb el fabricant del Dragon Khan per obtenir aquesta informació a partir del recorregut d'aquesta muntanya russa, però tal com he dit al inici del treball això no va ser possible. Així doncs vaig haver de buscar una alternativa. Aquesta la vaig trobar per casualitat fent cerca per Internet en forma de germà "bessó" del Dragon Khan.

Al parc d'atraccions de Sea World, a Orlando (Florida, EEUU) hi ha una muntanya russa anomenada *Kraken*, molt semblant al Dragon Khan. De fet va ser construïda pel mateix fabricant, Bolliger & Mabillard, l'any 2000, es a dir, 5 anys més tard. A la següent taula es poden veure les principals característiques de les dues muntanyes russes.

Característiques	Kraken	Dragon Khan
Fabricant	Bolliger and Mabillard	
Any d'obertura	2000	1995
Llargada	1273 m	1265.9 m
Durada recorregut	2 minuts i 2 segons	1 minut i 45 segons
Alçada màxima	47 m	45.1 m
Caiguda màxima	44 m	49.1 m
Velocitat màxima	105 Km/h	104.6 Km/h
Forces G màximes	3.9	4
Número d'inversions	7	8
Alçada looping principal	39 m	36 m

Tal com passava amb el Dragon Khan tampoc era fàcil el poder disposar de planells del seu recorregut d'on extreure les mides que feien falta per fer la maqueta. Ara bé, a diferència



del Dragon Khan, pel Kraken es poden trobar forces imatges aèries del seu recorregut complet, i en concret del tram que a mi m'interessava : la caiguda o drop i el looping vertical. Així fent servir aquestes i aplicant tècniques de tractament d'imatges i de mesura a partir d'una fotografia del Kraken, vaig poder extreure la informació que necessitava.

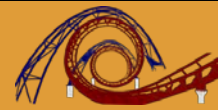


Muntanya russa *Kraken* a Sea World (Orlando, EEUU)

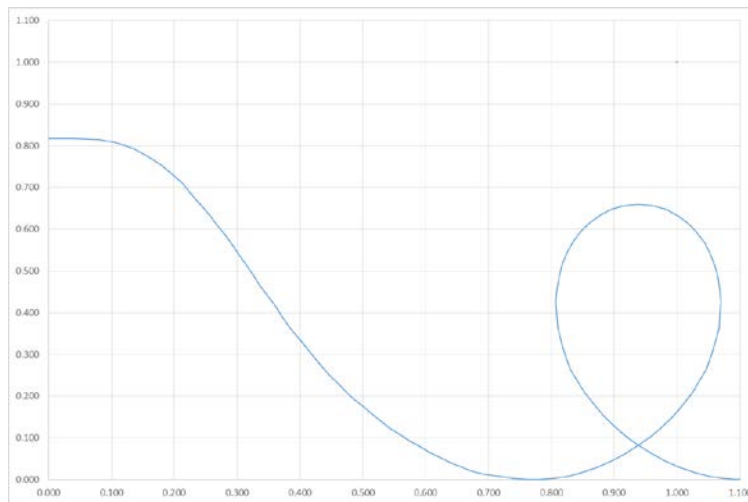


Imatge calibrada i tractada per corregir la distorsió de la perspectiva

Bàsicament el procés de tractament de la imatge ha consistit en corregir aquesta per tal de poder extreure'n d'ella un seguit de punts  $(x,y)$  en dimensions reals, metres, que descriguin el recorregut del tram d'interès. Un cop obtinguts aquests punts s'ha aplicat un factor multiplicatiu anomenat factor d'escala per tal de que les dimensions finals siguin les desitjades per fer la maqueta. En aquest cas s'ha aplicat una escala de  $1/60$ .

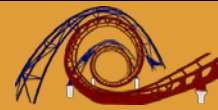


**Punts utilitzats com a descriptors del recorregut en el tram d'interès**

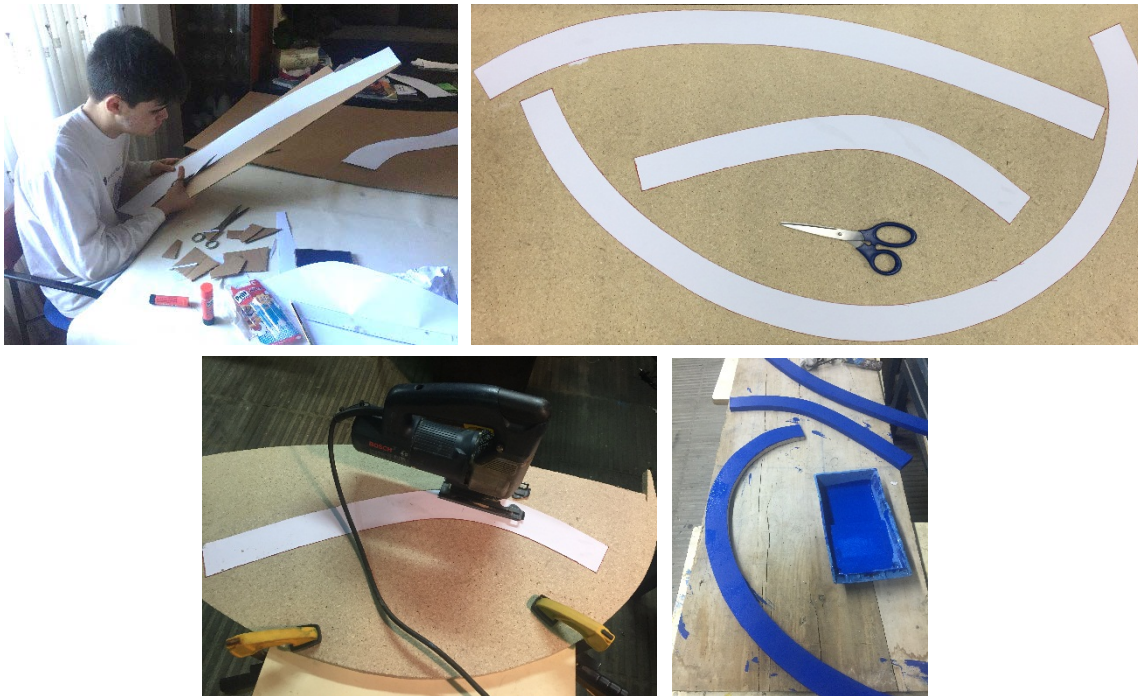


**Recorregut a escala 1/60 del Kraken**

Un cop he tingut les dimensions del que s'havia de construir he pogut començar a fer-ho. En primer lloc he triat els materials, que han sigut fusta del tipus conglomerat d'uns 1.5 cm de gruix per a la part que fa les vegades de biga central, llistons de fusta de balsa (molt utilitzada en maquetisme) i tubs de nylon de 0.6 cm de diàmetre per a fer les vegades de rails i dels seus suports.



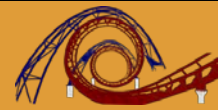
En segon lloc s'han fet unes plantilles amb cartró de les parts corresponents a la biga central a partir d'una impressió amb un plotter a mida real. A continuació s'han marcat sobre la fusta de conglomerat i s'han tallat utilitzant una serra de vaivé. Finalment s'han pintat els trossos amb pintura de color blau.



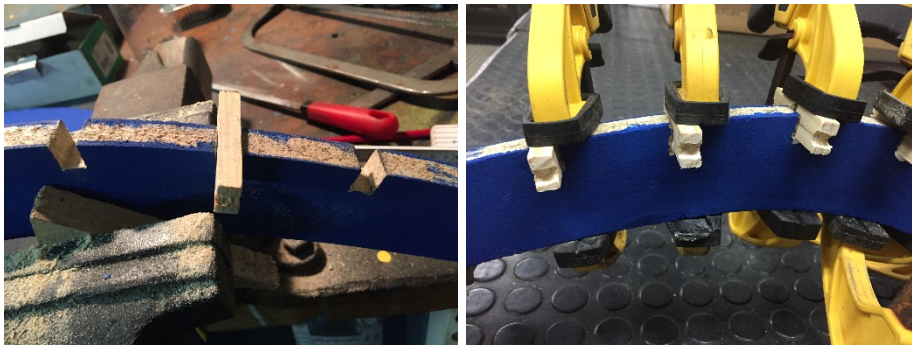
Preparació dels trams de la biga central

El següent pas ha estat el preparar els elements amb fusta de balsa que han de fer les vegades dels suports dels rails. A partir d'uns llistons de 1 m de llargada i de 0.9 x 1.4 cm de secció s'han tallat trossos de 5.5 cm de llarg que en els seus extrems tenen un mig forat per a subjectar el tub de plàstic que fa de rail. Per fer-los primer s'han marcat els punts on calia fer els forats i els talls. Tot seguit s'han fet els forats i tallat les peces.

Un cop fetes les peces del suport dels rails s'han unit a la biga central amb cola de fuster. Abans però s'han fet unes incisions als trams de la biga per tal de que els suports dels rails quedin més fixos i integrats en la biga.



**Preparació dels suports dels rails**



**Unió dels suports dels rails a la biga central**



## 5.CONCLUSIÓ

**OBJECTIU→ Adquirir nous coneixements, o corregir i integrar coneixements previs, una teoria ha de poder ser comprovada per mitjà de l'experimentació o l'observació.**

Al finalitzar el treball puc afirmar que he obtingut molts coneixements nous. Per començar ara ja soc capaç de fer funcionar el Excel, una eina que no sabia com funcionava abans de començar aquest treball. A més he après moltes coses noves del món de la física, per mi hagués sigut impossible arribar a la conclusió de que sentim el mateix viatjant en un cotxe que dins d'un avió. A més he après i recordat moltes lleis físiques i les seves fórmules.

A més a més per mitjà de l'experimentació he sigut capaç d'extreure amb un "smartphone" totes les dades necessàries per arribar a poder dibuixar les gràfiques d'acceleració envers el temps i la de rotació envers del temps de la muntanya russa desitjada, el Dragon Khan.

### **5.1 PRINCIPALS DIFICULTATS TROBADES**

Les principals dificultats que he anat trobant al llarg d'aquest treball han estat aquelles relacionades amb la manca o l'excés d'informació existent sobre el món de les muntanyes russes. Així per exemple he pogut veure com es relativament senzill trobar molt de material fent ús d'Internet, però alhora es fa difícil el fer-ne una tria correcte. Molt d'aquest material de caire tècnic està en anglès el que ha fet que sovint hagués de recórrer al diccionari per entendre ben bé el que es deia.

Igualment m'ha estat força complicat el poder tenir accés a informació tècnica relativa al Dragon Khan de Port Aventura. En dues ocasions vaig contactar amb el Parc Temàtic per explicar el treball que estava fent, i demanar informació, i si hi havia cap manera de poder realitzar la part pràctica sense haver de pagar l'entrada general. Les respostes no van ser en cap cas satisfactòries ja que ni em van proporcionar la informació, ni em van dir com ho podia fer per obtenir-la, ni em van facilitar l'entrada a l'atracció. Finalment em vaig adreçar igualment al fabricant del Dragon Khan per demanar detalls sobre el recorregut del mateix, sense que a dia d'avui n'hagi rebut cap resposta.

Una altra gran dificultat ha estat el fer les mesures de les acceleracions dalt del Dragon Khan. Ha fet falta dues visites a Port Aventura per poder-les fer ja que en la primera vaig tenir problemes amb el funcionament de la aplicació triada per fer-les. En la segona, i un



cop a pressa la lliçó, vaig fer tot un seguit de proves prèvies per assegurar que ho podria fer. Tot i això un cop he tingut les dades no ha estat fàcil el interpretar-les i entendre que volien dir.

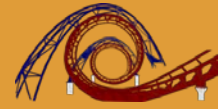
La darrera part del treball també ha sigut força complicada doncs la construcció d'una maqueta d'un tram del recorregut del Dragon Khan m'ha portat molta més feina de la que inicialment vaig suposar.

## **5.2 AGRAÏMENTS**

En primer lloc vull agrair al meu tutor, el Sr. Ripoll, el que m'hagi guiat al llarg dels darrers mesos fins arribar al moment de poder entregar aquest treball.

En segon lloc, i no per això menys important, el recolzament de la meva família per la realització del treball, tant en la part moral com material, facilitant-me l'adquisició d'allò que m'ha fet falta per fer-lo i els desplaçaments i entrades a Port Aventura. Al meu avi Jordi, el Sr. Osó, voldria agrair-li que m'hagi deixat utilitzar el seu garatge i taller per les feines de construcció de la maqueta.

També voldria agrair l'ajut rebut per part del Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM), Centre de Recerca de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en tot el relacionat amb les mesures de les acceleracions i el tractament d'imatges. Sense el seu recolzament no hauria pogut pas el fer aquest treball almenys en la forma i contingut que finalment ha tingut.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

A continuació s'indiquen aquelles fonts d'informació que s'han trobat i s'han consultat per a fer el treball. Algunes d'elles finalment no s'han utilitzat però ja que m'ha suposat un bon temps el buscar-les he cregut convenient d'incloure-les igualment per si poden ser d'utilitat per a futurs treballs.

### **6.1 HISTORIA I ACTUALITAT DE LES MUNTANYES RUSSES**

<https://www.usatoday.com/story/travel/experience/america/theme-parks/2017/07/28/history-roller-coasters/518356001/>

<http://home.bt.com/lifestyle/travel/world-travel/200-years-of-roller-coasters-everything-you-need-to-know-about-their-history-11364204407430>

<http://www.erroreshistoricos.com/ipor-que/197-ipor-que-se-llama-montana-rusa.html>

<https://supercurioso.com/el-origen-de-las-montanas-rusas/>

<https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/el-complejo-y-fascinante-arte-de-disenar-montanas-rusas-que-te-hagan-suplicar-clemencia>

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131024 tecnologia montanas rusas](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131024_tecnologia_montanas_rusas)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Monta%C3%B1a\\_rusa](https://es.wikipedia.org/wiki/Monta%C3%B1a_rusa)

<http://www.xn--montaasrusas-ehb.net/historia-de-las-montanas-rusas>

<http://www.quo.es/tecnologia/breve-historia-de-la-montana-rusa>

<http://issuespost.com/historia-de-la-montana-rusa/>

<http://historiaconminusculas.blogspot.com.es/2012/12/la-historia-de-las-montanas-rusas.html>

<http://www.thisisinsider.com/evolution-of-roller-coasters-2016-9>

### **6.2 FÍSICA I FUNCIONAMENT DE LES MUNTANYES RUSSES**

<http://www.physicsclassroom.com/mmedia/circmot/rcd.cfm>

<http://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Work-and-Energy/Roller-Coaster-Model>

<https://experimentaciollibre.wordpress.com/2012/04/10/fer-un-ris-en-gran/>

[http://physics.gu.se/LISEBERG/eng/loop\\_pe.html](http://physics.gu.se/LISEBERG/eng/loop_pe.html)



<http://science.howstuffworks.com/engineering/structural/roller-coaster4.htm>

<http://www.explainthatstuff.com/rollercoasters.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Physics\\_of\\_roller\\_coasters](https://en.wikipedia.org/wiki/Physics_of_roller_coasters)

<http://wonderopolis.org/wonder/how-do-roller-coasters-work>

<http://coasterforce.com/physics/>

[http://www.hk-phy.org/articles/roller\\_coaster/roller\\_coaster\\_e.html](http://www.hk-phy.org/articles/roller_coaster/roller_coaster_e.html)

<http://dynamicsofamusementparks.weebly.com/roller-coasters.html>

<http://www.mrwaynesclass.com/ap/coaster/web/index04.html>

<http://fiscatraccion.weebly.com/dragon-khan.html>

<https://www.tes.com/lessons/qUOiYMyNjBg2bA/how-roller-coaster-work>

<https://padlet.com/mdefelippi/michaeldefelippi>

<http://www.sciencemadesimple.co.uk/curriculum-blogs/engineering-blogs/designing-the-perfect-rollercoaster>

<https://www.design-simulation.com/Documents/IP/Curriculum/Spanish/graphics/screenshots/ConservacionDeLaEnergia02.jpg>

<https://www.learner.org/exhibits/parkphysics/coaster/>

[http://ceas.uc.edu/special\\_programs/ceems/CEEMS\\_Pathways/SIT/CEEMS\\_InstructionalMaterials/Science\\_Units/mouse-trap-mania7.html](http://ceas.uc.edu/special_programs/ceems/CEEMS_Pathways/SIT/CEEMS_InstructionalMaterials/Science_Units/mouse-trap-mania7.html)

[http://sphsdevilphysics.weebly.com/uploads/5/0/7/1/5071691/the\\_physics\\_of\\_rollercoasters.pdf](http://sphsdevilphysics.weebly.com/uploads/5/0/7/1/5071691/the_physics_of_rollercoasters.pdf)

<http://www.scienceinschool.org/ca/2011/issue20/amusement>

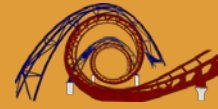
<https://es.slideshare.net/labsiprec/construccion-de-montañas-rusas>

<http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mramrodp/2016/03/28/estudio-de-una-montaña-rusa/>

[http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Fuerza\\_Centr%C3%ADpeta\\_y\\_Conservaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_Energ%C3%ADa\\_\(Fis\\_151/Fis\\_1513\)](http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Fuerza_Centr%C3%ADpeta_y_Conservaci%C3%B3n_de_la_Energ%C3%ADa_(Fis_151/Fis_1513))

<http://cifrasyteclas.com/clotoide-la-curva-que-vela-por-tu-seguridad-en-carreteras-y-ferrocarriles/>

<http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/loop-loop-part-find-expression-kinetic-energy-of-the-car-top-loop-express-kinetic-energy-te-q128775>



<https://www.fiscalab.com/ejercicio/800#contenidos>

<https://science.howstuffworks.com/engineering/structural/roller-coaster3.htm>

<http://www.cienciaenaccion.org/es/2015/experimento-151/fisica-de-la-montana-rusa.html>

<http://www.compadre.org/precollege/items/detail.cfm?ID=14180>

<https://divulgadores.com/fisica-y-montanas-rusas/>

<http://datagenetics.com/blog/march42014/index.html>

<http://www.physicsclassroom.com/class/circles/Lesson-2/Amusement-Park-Physics>

[http://physics.gu.se/LISEBERG/eng/loop\\_pe.html](http://physics.gu.se/LISEBERG/eng/loop_pe.html)

<https://gizmodo.com/why-roller-coaster-loops-are-never-circular-1549063718>

<https://www.worldsciencefestival.com/2015/06/roller-coaster-science-thrills-chills-physics/>

<http://media.knex.com/education/teachers-guides/78880-TG-Roller-Coaster-Physics.pdf>

### **6.3 BASES DE DADES DE MUNTANYES RUSSES**

<http://coasterpedia.net>

<http://coasterforce.com>

<https://rcdb.com>

### **6.4 MESURES D'ACCELERACIONS**

[http://www2.vernier.com/sample\\_labs/PWV-21-COMP-accelerations\\_real\\_world.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/PWV-21-COMP-accelerations_real_world.pdf)

[http://www.libelium.com/wireless\\_sensors\\_measure\\_inertial\\_forces\\_accelerometer/](http://www.libelium.com/wireless_sensors_measure_inertial_forces_accelerometer/)

[http://www.rotoview.com/sensor\\_kinetics.htm](http://www.rotoview.com/sensor_kinetics.htm)

<http://vicente1064.blogspot.com.es/2008/10/lleva-tu-iphone-la-montaa-rusa-para-que.html?m=1>

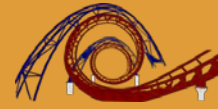
[https://blogs.oracle.com/roger/entry/amusement\\_parks\\_and\\_accelerometers](https://blogs.oracle.com/roger/entry/amusement_parks_and_accelerometers)

<http://physicsbuzz.physicscentral.com/2013/04/roller-coaster-g-forces-weve-got-data.html?m=1>

<https://www.vectornav.com/support/library/accelerometer>

### **6.5 FABRICANTS DE MUNTANYES RUSSES**

<http://www.zamperla.com/all-products/roller-coasters-rides/>



<https://www.vekoma.com/index.php/family-coasters/custom-designed-coaster>

<http://coasterforce.com/cci/>

<http://www.bolliger-mabillard.com/company>

<https://www.intaminworldwide.com/project/furius-baco/>

<https://www.thetoptens.com/roller-coaster-manufacturers/>

## **6.6 DRAGON KHAN I ALTRES MUNTANYES RUSSES A CATALUNYA**

<http://www.tecnobloc.com/shambala/>

<https://www.portaventuraworld.com/atracciones/shambhala>

<http://www.pafans.com/actualidad/rep-shambhala-rollercoaster2012/>

<http://www.aceonline.org/census/SearchCountry.aspx>

<https://www.pa-community.com/parques/port-aventura/atracciones/dragon-khan/fotos/22>

<http://www.bloggercoaster.com/2011/12/dragon-khan-portaventura.html>

<https://www.coaster101.com/2011/10/22/port-aventura-building-huge-bm-megacoaster/>

[https://benicnews.files.wordpress.com/2011/11/plano\\_tecnico1.jpg](https://benicnews.files.wordpress.com/2011/11/plano_tecnico1.jpg)

## **6.7 KRAKEN**

[http://www.miamiherald.com/living/travel/florida-travel/9cycah/picture116700708/alternates/FREE\\_768/Kraken\\_bluesky-1](http://www.miamiherald.com/living/travel/florida-travel/9cycah/picture116700708/alternates/FREE_768/Kraken_bluesky-1)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Kraken\\_\(roller\\_coaster\)#Kraken\\_.282000.E2.80.932017.29](https://en.wikipedia.org/wiki/Kraken_(roller_coaster)#Kraken_.282000.E2.80.932017.29)

<https://www.floridamasters.co.uk/blog/top-10-roller-coasters-in-florida/>

## **6.8 MESURES AMB SMARTPHONES**

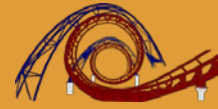
[https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/05/11/lifestyle/1431341623\\_109997.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/05/11/lifestyle/1431341623_109997.html)

<https://urbantecno.com/tecnologia/funcionamiento-sensores-movil>

<https://elandroidelibre.lespanol.com/2014/07/cuales-son-y-para-que-sirven-los-sensores-de-nuestros-android.html>

<https://www.wayerless.com/2009/06/el-boom-de-los-acelerometros-w-guia/>

<https://www.livescience.com/40103-accelerometer-vs-gyroscope.html>



<https://www.lifewire.com/sensors-that-make-iphone-so-cool-2000370>

## **6.9 MESURES AMB IMATGES**

<http://www.ipereira.net/gestion-de-color-articulos/mediciones-y-asignacion-de-escala-en-fotografias>

<https://formaimatge.files.wordpress.com/2014/05/apunts-photoshop-basic.pdf>

<https://www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/corrigiendo-la-perspectiva-en-nuestras-fotos>

<https://helpx.adobe.com/es/photoshop/using/perspective-warp.html>

<http://es.ccm.net/faq/7353-enderezar-la-perspectiva-de-una-imagen>

<http://www.ni.com/pdf/manuals/372228m.pdf>

<https://prezi.com/etozdpbnrawy/calibracion-de-camaras-con-una-sola-imagen-utilizando-puntos/>

<https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/viewFile/1407/1423>

<http://www.topoequipos.com/dem/que-es/terminologia/que-es-fotogrametria>

<ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria/Unidad6/Introduccion a la Fotogrametria.pdf>

## **6.10 LLIBRES I VIDEOS**

<https://books.google.es/books?id=OzZHAgAAQBAJ&pg=PA23&lpg=PA23&dq=Matlab+Roller+Coaster+Simulation&source=bl&ots=VtJaPCJmWt&sig=WqImVAA-Wr8XZ1BTPJARc3EA9aE&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwiLkYOMvufSAhVB4CYKHT-9Crc4ChDoAQgrMAI#v=onepage&q=Matlab%20Roller%20Coaster%20Simulation&f=false>

<https://books.google.es/books?id=xT5ooXBhEG4C&pg=PA58&lpg=PA58&dq=roller+coaster+acceleration+measurement&source=bl&ots=UdhCBQUsok&sig=7hpqDjU6-LNW0uwebOxHyG-nu0Q&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwigs9KP5O7SAhVBKMAKH5uBrw4ChDoAQgoMAc#v=onepage&q=roller%20coaster%20acceleration%20measurement&f=false>

<https://books.google.es/books?id=iVPMCOAAQBAJ&pg=PA316&lpg=PA316&dq=roller+coaster+simulation+matlab&source=bl&ots=uFkgnoUrIq&sig=1MWk|wlJFEwoWFr5g3Eq12WMqUM&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwigq72W99rSAhXF0xQKHUybCToQ6AEIWzAI#v=onepage&q=roller%20coaster%20simulation%20matlab&f=false>

<https://www.pbslearningmedia.org/resource/phy03.sci.phys.mfw.roller/centripetal-force-roller-coaster-loops/#.WMp6XsA1-Uk>

<https://www.youtube.com/watch?v=xX5f51j2BtY>

<https://m.youtube.com/watch?v=9RaenslCedA>



[https://www.youtube.com/watch?v=kUlhG4k\\_xH4](https://www.youtube.com/watch?v=kUlhG4k_xH4)

[https://prezi.com/eqt6d\\_bsklto/treball-de-recerca-fisica/](https://prezi.com/eqt6d_bsklto/treball-de-recerca-fisica/)

<http://193.145.216.14/portfolio/wolf-howl-new-experience>

<https://prezi.com/ck8sqdtnauau/treball-de-recerca-la-fisica-als-parcs-datracions/>

<https://prezi.com/dg9m9bdy7fgf/forces-and-motion-in-roller-coasters/>

[https://prezi.com/zoipane\\_7oud/roller-coaster-forces/](https://prezi.com/zoipane_7oud/roller-coaster-forces/)

<https://prezi.com/3cdnqb59rfwk/proyecto-montana-rusa/>

<https://prezi.com/szl6qp4amxni/la-fisica-e-historia-detras-de-las-montanas-rusas/>

### **6.11 APP'S I PROGRAMES**

<http://smarterphysics.blogspot.com.es/p/apps.html?m=1>

<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Programas-fisica.htm>

[http://dep.disney.go.com/sodi\\_app/](http://dep.disney.go.com/sodi_app/)

[http://gated.jason.org/digital\\_library/4851.aspx](http://gated.jason.org/digital_library/4851.aspx)

<http://interactives.ck12.org/simulations/physics/roller-coaster/app/index.html>

<https://www.gnu.org/software/fiscalab/>

<http://physlets.org/tracker/>

<http://www.design-simulation.com/IP/>

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chrystianvieyra.physicstoolboxsuite&hl=es_419)

<https://www.vieyrasoftware.net/citations>

[http://www.wavefrontlabs.com/Wavefront\\_Labs/Sensor\\_Data.html](http://www.wavefrontlabs.com/Wavefront_Labs/Sensor_Data.html)

<https://www.coaster101.com/2015/11/03/coasters-101-what-software-do-roller-coaster-engineers-use/>

<http://motionlogger.jademind.com/>

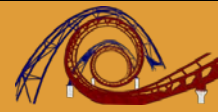
[https://play.google.com/store/apps/details?id=de.lorenz\\_fenster.sensorstreamgps&hl=es](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.lorenz_fenster.sensorstreamgps&hl=es)

<http://www.instructables.com/id/How-to-Record-Data-With-IMUGPS-Data-Application-us/>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ubccapstone.sensorUDP&hl=en>

<https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

**MUNTANYES RUSSES  
DE LA TEORIA A LA PRACTICA**



<http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>