



L' EQUACIÓ PER TOCAR EL CEL:

LA FÍSICA DELS CASTELLS EN EL "2 DE 7 NET"

Júlia Ramon Puig
Jordi Gomà
Curs 2024/2025
2n BAT CNS- La Salle Tarragona
Gener 2025

RESUM

Partint d'un interès i inquietud sobre el món casteller i la ciència, en concret la física, s'ha plantejat investigar i fer recerca sobre la física dels castells.

Després d'una recerca extensa sobre la física aplicada als castells i els principis que governen la seva estabilitat, s'han realitzat dues pràctiques per posar a prova aquests coneixements teòrics.

S'ha fet una part pràctica on s'han calculat les forces que ha de fer cada casteller per mantenir la solidesa de l'estructura i evitar que caigui. A més, s'ha inclòs un càlcul de les energies potencials de cada casteller per tenir una visió més completa de l'energia acumulada en l'estructura i veure com aquesta energia afecta la seva estabilitat.

Paraules clau:

Castells – Forces – Energia - Física - " 2 de 7"

ABSTRACT

Based on an interest and concern about the world of human towers and science, specifically physics, it has been proposed to investigate and carry out research on the physics of human towers.

After extensive research on the physics applied to human towers and the principles that govern their stability, two practices have been carried out to test this theoretical knowledge.

A practical part has been done where the forces that each "casteller" must make to maintain the solidity of the structure and prevent it from falling. . In addition, a calculation of the potential energies of each "casteller" has been included to have a more complete view of the accumulated energy in the structure and see how this energy affects its stability.

Key words:

Human towers – Forces – Energy - Physics - "2 de 7"

ÍNDEX

1.- INTRODUCCIÓ	6
2.- OBJECTIUS	7
3.- QUÈ SÓN ELS CASTELLS?	8
3.1.- La música: la gralla i el timbal.....	9
3.2.- La indumentària castellera	9
3.3.- Origen i evolució	10
3.4.- Importància cultural i social.....	11
4.- EXPERIÈNCIES PRÈVIES DE LA CIÈNCIA EN ELS CASTELLS.....	13
4.1.- Càtedra de la Universitat Rovira i Virgili per a l'estudi del fet casteller	13
4.2.- Exposició temporal al Museu Casteller de Valls.....	15
4.2.1.- "Els peus al coll!... i el braç de palanca"	16
4.2.2.- "L'equilibri dels pilars... no ens asseiem gaire!"	17
4.2.3.- "Els castells alts es mouen més, però més lentament"	18
4.2.4.-"Pugem enganxats al coll! ... i minimitzem el moment"	19
4.3.- Casc de la canalla	19
5.- CONCEPTES BÀSICS DE FÍSICA APLICATS ALS CASTELLS.....	22
5.1.- Lleis de Newton.....	22
5.1.1.- Primera Llei de Newton en trasllació	22
5.1.2.- Primera Llei de Newton en rotació.....	22
5.1.3.-Segona Llei de Newton	23
5.1.4.- Tercera Llei de Newton.....	23
5.2.- Forces i equilibri.....	23
5.3.- Centre de massa.....	24
5.4.- Tensió	24
5.5.- Moments de força	25
5.6.- Energia potencial	26
6.- COTUTORITZACIÓ AMB EL DOCTOR ROGER CABRÉ	28

6.1.- 1ra reunió: 29/04/2024.....	28
6.2.- 2na reunió: 14/05/2024.....	28
6.3.- 3ra reunió: 17/09/2024.....	29
6.4.- 4ta reunió: 29/10/2024.....	30
7.- EVOLUCIÓ DELS CASTELLS DE 2.....	31
8.- ESTUDI DE LES FORCES D'UN 2 DE 7.....	33
8.1.- Plantejament del problema	33
8.2.- Desenvolupament del problema.....	37
8.2.1.- Representació gràfica de les forces.....	38
8.2.2.- Equacions d'equilibri.....	39
8.3.- Resolució del problema.....	41
8.4.- Resultats del problema	46
8.5.- Conclusions del problema.....	47
9.- L'ENERGIA DELS CASTELLERS EN DIFERENTS CASTELLS	49
9.1.- L'energia dels castellers en un castell de 9	49
9.2.- L'energia dels castellers d'un 2 de 7.....	52
9.3.- Comparació de l'energia dels castellers	54
10.- CONCLUSIÓ DEL TREBALL.....	56
11.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA.....	58
ANNEX 1: Vocabulari casteller.....	60
Conceptes i accions generals.....	60
Parts del castell	61
Tipus de castells.....	66
ANNEX 2: Lesions traumàtiques dels castellers.....	69

1.- INTRODUCCIÓ

El títol del meu treball de recerca és "L'EQUACIÓ PER TOCAR EL CEL: LA FÍSICA DELS CASTELLS EN EL "2 DE 7 NET" ". L'estudi es basa en el món casteller i en la física com a eina d'investigació per a la construcció d'aquestes torres humanes. També hi he relacionat altres temes com ara la seguretat als castells.

Fer la tria de tema per al meu treball de recerca no va ser feina fàcil. L'únic que tenia clar era que volia que fos de l'àmbit científic, no sabia si encarar-ho cap a la física o bé la biologia, ja que les dues assignatures les trobo molt interessants per poder fer una bona recerca. Finalment vaig optar per relacionar la cultura del nostre país amb un àmbit que em fascina: la física dels castells.

Al principi el problema que vaig tenir va ser que no tenia cap objectiu clar i no sabia cap a on tirar. El meu tutor és un gran entès del món casteller però no en sap de física. Quan estàvem mirant altres opcions relacionades amb els castells vam descobrir la càtedra de castells de la Universitat Rovira i Virgili. Investigant vam veure que em podrien ajudar amb un tema científic. Em vaig posar en contacte amb ells, i gràcies a això vaig poder tenir una co-tutorització amb el doctor Roger Cabré Rodon, doctorat en física i apassionat d'aquesta tradició. Quan el vaig visitar jo no tenia res en ment, i em va donar tres propostes diferents, però la que em va cridar més l'atenció va ser que, a partir d'una estructura bàsica com un 2 de 7 net, es podien plantejar diferents equacions per trobar les forces que es necessitarien per a que no caigués.

En aquest treball trobareu, doncs, un estudi que intenta descobrir les forces a les que un casteller ha d'estar sotmès per a que un castell es pugui descarregar i a més, també uns càlculs per saber l'energia que té un castell.

2.- OBJECTIUS

El meu objectiu principal era endinsar-me en el terreny de la ciència aplicada als castells. Al començar el treball em vaig adonar que durant aquests últims anys la relació entre el món casteller i el món científic ha anat en augment. Això em va servir de gran ajuda motivacional, atès que em vaig adonar que no estava sola en aquesta "investigació" i que hi hauria molta gent que em podria ajudar.

Els objectius més concrets eren aplicar el temari fet a primer de batxillerat als castells. En el segon trimestre vam treballar les diferents lleis de Newton, on estudiàvem les forces de diferents objectes que podíem trobar en el nostre dia a dia. Quan vam acabar aquest tema, vam seguir amb les energies, que proporcionen una eina fonamental per comprendre i preveure els efectes del moviment i de les forces en física. Aquestes bases teòriques eren essencials per poder abordar amb rigor la part pràctica del treball.

Però, per arribar a aquesta part pràctica, primer calia aprofundir en el coneixement general del món casteller. Això inclou familiaritzar-se amb el vocabulari casteller, conèixer les diferents parts dels castells i els seus tipus, i també entendre elements essencials com la música i la indumentària, sense els quals no es podrien fer castells. A més a més, quan es vol parlar sobre un tema i mirar cap al futur, sempre és necessari saber d'on venim i com hem evolucionat. Així doncs, era indispensable estudiar la història castellera per entendre com hem arribat fins aquí i si és possible arribar encara més lluny.

Dins la meva investigació sobre la ciència aplicada als castells, també em va semblar interessant explorar si hi ha altres entitats o persones que estan treballant en aquest tema. Conèixer els seus estudis i avanços em podria ajudar a tenir una visió més completa i enriquir el meu propi treball.

Un cop recollida aquesta informació prèvia, el pas necessari abans d'iniciar la part pràctica era comprendre a fons tots els conceptes físics rellevants i trobar la manera de relacionar-los amb el món casteller. Només amb aquest coneixement integrat seria possible aplicar la ciència de manera efectiva als castells i aconseguir que el treball tingués una base sòlida i significativa.

3.- QUÈ SÓN ELS CASTELLS?

“Construcció de diversos pisos formada per persones que s’enfilen les unes damunt les espatlles de les altres amb l’objectiu de coronar-la al ritme del so de la gralla.”

Aquesta és la definició donada per l’enciclopèdia catalana a l’hora de descriure els castells, tot i que vist des del meu punt de vista, la podria descriure així:

“Un conjunt de persones de diferent color, pes, alçada i edat que s’enfilen les unes damunt les espatlles de les altres intentant trobar l’equació perfecta d’equilibri, força, valor i seny per a poder tocar el cel.

Però realment només fem castells per això?

Com és possible que canalla petita pugi, sense dubtar-ho, tan alt? Què empeny tants joves i adults a forçar el cos amb el risc de lesionar-lo? D’on treuen el valor per enfrontar-se cada jornada a la possibilitat d’un error fatal?

Des que té consciència d’ell mateix, l’ésser humà ha explorat els límits del cos i de l’entorn: anar més de pressa, saltar més alt, tenir més força, enfilar-se més amunt, baixar més avall... Els castells, derivats de manifestacions folklòriques valencianes, van arrelar a Catalunya. Ben aviat l’esperit de superació i la rivalitat van transformar el pas final d’una dansa popular en una estructura humana imponent, en un espectacle que meravella i esglaia a qui el descobreix.

Diuen que el valor no és l’absència de por, sinó la capacitat per fer-li front. I superar la por costa menys quan et sents acompanyat, quan saps que pots confiar en les persones amb les quals comparteixes el mateix i noble objectiu.

Els castells són una gran proesa col·lectiva. La prova que la unió de voluntats supera amb escreix la suma de cada voluntat per separat, que la il·lusió pot transformar-se en el valor necessari per traspasar tots els límits.

Els castells foren reconeguts com a patrimoni de la humanitat per la UNESCO el 16 de novembre de 2010.

Durant el treball es fan servir paraules tècniques del món casteller, si en cap moment no s'entenen els conceptes la llista de vocabulari es troba al annex 1 d'aquest treball.

3.1.- La música: la gralla i el timbal

La gralla i el timbal són els instruments que acompanyen els castells. La gralla és un instrument de vent de la morfologia dels oboès populars; produeix el so amb una inxa o llengüeta doble de canya i és construïda amb fusta dura, sovint ginjoler o boix, de perforació troncocònica. Té un so potent i vibrant. Tot i que hi ha diferents teories, el nom pot estar relacionat amb l'ocell homònim i amb l'estridència del so emès, seguint la tradició popular catalana de batejar els instruments de manera descriptiva, com el sac de gemecs. El timbal és un instrument de percussió amb dues membranes – normalment de pell – esteses a les dues bandes d'una caixa de ressonància. Es toca amb dues baquetes.



Foto 1 i 2. Exemples d'una gralla i un timbal exposats al Museu Casteller de Catalunya. Font pròpia

3.2.- La indumentària castellera

Per a fer castells no es pot anar vestit de qualsevol manera , ja que seria molt incòmode, si no es portés la roba adequada, pujar fins a 10 pisos. Tots els castellers, siguin de la colla que siguin van amb la mateixa vestimenta: camisa del color de la colla corresponent, pantalons blancs i una faixa negra per protegir la zona lumbar.

En un inici la gent portava les camises que podien, no era un fet important, de fet ho va començar a ser a finals dels anys 20 del segle passat amb l'aparició de més colles. Des d'aquell moment cada colla té com un símbol propi, encara que hi ha colors que es repeteixen.

Amb la inauguració del Museu Casteller la primera exposició temporal que van obrir mostrava totes les camises juntes.



Fotos 3 i 4. Exposició temporal de camises castelleres al Museu Casteller i tots els ítems de la vestimenta. Font: Museu Casteller i CCCC

3.3.- Origen i evolució

Per fer aquest apartat vaig anar al recentment obert Museu Casteller a Valls, considero que em va servir de molt per veure l'evolució d'aquesta tradició durant els últims segles.

Els castells humans tenen el seu origen a la regió del Camp de Tarragona, a Catalunya, i estan estretament vinculats a les celebracions tradicionals i religioses. Els primers castells documentats es remunten al segle XVIII, concretament al 1770, a la població de Valls, considerada el bressol dels castells, i deriven d'una antiga dansa valenciana anomenada "ball de valencians", en la qual els participants formaven petites torres humanes com a part de la coreografia. Durant aquest període, les colles castelleres van començar a competir entre elles per

veure qui podia construir les torres humanes més altes i complexes, donant origen a una tradició que s'ha mantingut viva fins als nostres dies.



Foto 5: Ball de Valencians. Font pròpia

3.4.- Importància cultural i social

Força, equilibri, valor i seny són els quatre grans valors que Josep Anselm Clavé atribueix als castellers en l'obra *Els xiquets de Valls* : **força** per sostenir el pes, en condicions de màxim esforç, de qui t'ha confiat la seva protecció; **equilibri** per mantenir i corregir una posició d'estabilitat fràgil; **valor** per arriscar la integritat del cos a cada intent; i **seny** per saber dir atureu-vos i baixeu, per saber coronar el cim en el moment just. Quatre valors per descobrir la màgia que desperta el moviment fugaç d'una aleta.

Però els castells són molt més; són patrimoni immaterial, rivalitat, un element sociològic de vertebració de país i una lliçó d'arquitectura. Van sorgir del poble en un indret molt localitzat de Catalunya però els anys i les circumstàncies els han convertit en un signe d'afirmació cultural transversal i en una síntesi dels millors valors de tot un país. Com cap altra de les entitats de cultura popular i tradicional, les colles castelleres han esdevingut entitats d'integració de persones nouvingudes, models de pluralitat social i de convivència, i una manifestació singular i espectacular de Catalunya exhibeix amb orgull i que meravella arreu del món.

Els castells humans tenen un impacte significatiu en la cohesió social i en el sentiment de comunitat. Aquesta tradició fomenta la cooperació, el treball en equip i la solidaritat entre els membres de la colla castellera. Persones de totes les edats, gèneres i condicions socials col·laboren estretament per assolir un objectiu comú, la construcció del castell. Aquest sentiment de pertinença i col·laboració enforteix els llaços socials i crea una comunitat més unida.

Tothom hi pot participar, independentment de la seva condició física, edat o sexe. Això fa que els castells siguin una activitat inclusiva que reflecteix la diversitat de la societat. A més, el respecte mutu i la confiança són valors clau en aquesta pràctica, contribuint a la creació d'un entorn respectuós i integrador.

4.- EXPERIÈNCIES PRÈVIES DE LA CIÈNCIA EN ELS CASTELLS

Avui en dia els castells ja no només són oci sinó que, amb els anys, la societat està cada cop més interessada en estudiar-los des de diferents àmbits com podria ser social-cultural, científic o fins i tot lingüístic. És a dir, he descobert que "no estic sola" en l'ambició d'aprendre com funcionen aquestes complexes estructures, sinó que cada cop s'estudia més.

4.1.- Càtedra de la Universitat Rovira i Virgili per a l'estudi del fet casteller

La Càtedra de la Universitat Rovira i Virgili per a l'Estudi del Fet Casteller, impulsada el 2017 amb la col·laboració de la Colla Vella dels Xiquets de Valls i la Coordinadora de Colles Castelleres de Catalunya, es va crear amb la voluntat de profunditzar en l'estudi d'una de les tradicions més arrelades i icòniques de la cultura catalana: els castells. La càtedra va néixer amb l'objectiu d'investigar i reflexionar sobre aquesta pràctica des d'una perspectiva interdisciplinària, abastant àmbits com la història, la sociologia, la ciència i la inclusió social.

Tal com trobem a la web de la càtedra, aquests són els seus objectius:

"Un dels objectius principals d'aquesta càtedra és la divulgació i la preservació del fet casteller a través de la investigació acadèmica i el debat. La càtedra, amb un enfocament integral, pretén convertir-se en una eina per a la reflexió sobre l'evolució dels castells en la societat contemporània, combinant el rigor científic amb la promoció d'un patrimoni cultural viu i dinàmic. Amb aquest propòsit, la càtedra organitza activitats com cursos, seminaris, tallers i exposicions, que permeten aprofundir en la terminologia i les tècniques castelleres, així com promoure la participació i el coneixement entre els més joves."

A més, la càtedra juga un paper fonamental en la conservació i difusió dels arxius històrics de les colles castelleres. Aquestes colles, que són el nucli de la pràctica castellera, acumulen una rica història i memòria col·lectiva que és essencial per a comprendre el desenvolupament d'aquesta tradició. En aquest sentit, la càtedra

es dedica a estudiar i divulgar aquests arxius, assegurant que la història dels castells sigui accessible per a futures generacions.

Actualment tenen alguns projectes en curs, en diferents àmbits com:

- La sinistralitat de la canalla castellera: centrada en l'estudi de les lesions que poden patir els infants que formen part del pom de dalt. Aquest estudi, que es realitza durant les temporades castelleres de 2023 i 2024, compara les lesions dels nens castellers amb altres esports populars com el futbol, amb l'objectiu de millorar la seguretat i establir protocols que protegeixin els més petits. Aquestes dades resulten fonamentals per a garantir que els castells es continuïn practicant amb les màximes condicions de seguretat.
- La inclusió social a través dels castells: En aquest sentit, s'estudia com aquesta pràctica pot actuar com un motor d'integració per a persones en situació de vulnerabilitat o amb alguna discapacitat. L'estructura de les colles castelleres, basada en la cooperació i l'esforç comú, permet la participació de tothom, independentment de les seves capacitats físiques o condicions socials. Aquest projecte destaca pel seu enfocament social, posant de manifest la importància del fet casteller com a eina inclusiva i cohesionadora dins de la societat catalana.

En l'àmbit de la divulgació científica, la càtedra, juntament amb la Unitat de Comunicació i Divulgació de la Ciència de la URV, va posar en marxa el projecte **"Castells de Ciència"** el 2021. Aquesta iniciativa té com a objectiu explicar el món casteller des d'una perspectiva científica, utilitzant els castells com a eina per fer comprensibles conceptes complexos de disciplines tan diverses com la física, la química, les matemàtiques o la psicologia. Amb materials com vídeos, pòsters, textos i xerrades, el projecte aprofundeix en aspectes com la distribució de forces en un castell o l'efecte de les reaccions bioquímiques durant una actuació. "Castells de Ciència" és un exemple de com una tradició tan arrelada pot ser una plataforma per a la divulgació científica, fent-la accessible a un públic ampli i internacional gràcies a la traducció de materials a l'espanyol i l'anglès.

Aquests projectes reflecteixen el compromís de la càtedra no només amb la preservació del fet casteller, sinó també amb la seva projecció cap al futur. La investigació sobre la seguretat dels castells, la seva capacitat d'inclusió social i el seu ús com a eina educativa i de divulgació científica contribueixen a mantenir aquesta tradició viva i adaptada a la societat contemporània. La càtedra ofereix així un espai d'investigació, formació i debat que garanteix que el fet casteller continuï evolucionant, alhora que es preserven els seus valors essencials de comunitat, esforç col·lectiu i solidaritat.



Foto 6: Diferents pòsters creats per la Càtedra casteller (2023) Font: Càtedra URV

4.2.- Exposició temporal al Museu Casteller de Valls

"La física, la ciència i l'enginyeria ALS CASTELLS" és una nova proposta del Museu Casteller de Catalunya, que va obrir les seves portes l'any 2023.

L'exposició proporciona una oportunitat única per descobrir els secrets científics que s'amaguen darrere de les construccions castelleres i aprofundir en aquest món des d'una nova perspectiva. Aquesta iniciativa no només mostra el vessant teòric i científic que es troba darrere dels castells, sinó que també posa a disposició del públic diverses construccions interactives que permeten als visitants experimentar de manera directa

L'espai expositiu es divideix en diverses estacions, cadascuna dedicada a una tècnica física i científica específica que explica la lògica darrere els castells. A través de maquetes i construccions mòbils interactives, els visitants poden

experimentar i comprendre millor aquests fenòmens des d'una perspectiva pràctica i vivencial. Aquesta exposició temporal suposa tota una experiència immersiva que permet conèixer els elements essencials que fan possible una actuació castellera, gràcies a eines com taulells amb vibració i entorns de realitat virtual.

Les diferents estacions estan plantejades amb màquines i jocs per tal de viure una vivència emocionant descobrint els principis físics i científics que s'hi proposen. L'element de la realitat virtual permet explorar un món de sensacions i emocions inherent al fet casteller i gaudir-ne a través de dibuixos animats, fent així que totes les generacions, tan grans com petits, puguin sortir satisfets amb tota la informació que poden arribar a aprendre sense ser una cosa gaire complicada i difícil d'entendre.

Els coneixements científics de l'exposició són proporcionats per GoSTEM, una associació catalana sense ànim de lucre que va néixer de la International Space University. GoSTEM, formada per enginyers aeroespacials apassionats per la divulgació científica, té com a objectiu motivar estudiants d'arreu del món a emprendre carreres de ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques. A més d'acumular quatre anys d'experiència en tallers, activitats educatives, exposicions i dispositius científics, GoSTEM ha col·laborat amb escoles, fundacions, museus i altres entitats per promoure l'educació STEM (ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques).

A continuació explico tots els àmbits que es treballen a l'exposició, que tenen un apartat per explicar-ho.

4.2.1.- "Els peus al coll!... i el braç de palanca"

Aquesta secció fa una explicació de la física dels castells, centrant-se en el concepte de palanca. En els castells, hi ha una persona (l'enxaneta o algun altre casteller) que puja sobre les espatlles d'un altre casteller. Això involucra una distribució de pes i força que es compara amb el funcionament d'una palanca.

Llei de la palanca: Es defineix la palanca com una màquina simple que permet fer menys esforç per aixecar o moure una càrrega gràcies al punt de suport i la

distribució de la força. Els castellers, quan aixequen algú sobre les espatlles, fan servir el cos com a palanca.

Es destaca que la tècnica de la palanca és fonamental en molts aspectes de la vida quotidiana i de l'enginyeria moderna. Això inclou aplicacions des de la construcció de castells fins a l'aixecament de càrregues.



Foto 7: Representació gràfica de la distribució del pes en un castell. Font pròpia.

4.2.2.- "L'equilibri dels pilars... no ens asseiem gaire!"

Aquí s'explica el problema de l'equilibri en els pilars de castells. Mantenir l'equilibri és crucial perquè aquestes estructures es mantinguin fermes sense caure.

La secció parla d'un problema d'apilar cubs com una metàfora o experiment que representa la construcció d'un pilar. L'objectiu és maximitzar la sortida o extensió d'un bloc per assegurar que no caigui.

La clau està en col·locar cada cub o peça en equilibri perfectament alineat amb el centre de gravetat dels cubs inferiors. Aquesta part fa èmfasi en la gravetat i el fet que cada capa de castellers o cubs ha de ser equilibrada correctament per no



col·lapsar. És una representació visual de com les tècniques de construcció s'apliquen en els castells.

Foto 8. La canalla de les colles castelleres de Valls fent l'experiment dels pilars. (2024). Font: El Vallenc

4.2.3.- "Els castells alts es mouen més, però més lentament"

Aquesta secció fa una analogia entre els castells i un pèndol, indicant que com més alt és el castell, més oscil·la però ho fa més lentament. Això es relaciona amb la *lleï del pèndol*, on s'esmenta que el temps d'oscil·lació depèn de la longitud del pèndol, segons la fórmula $T=2\pi L/g$, on T és el període, L és la longitud, i g la gravetat.

Hi ha una secció que convida a fer un experiment per comparar el període de dos pèndols (o castells) per veure quin oscil·la més lentament.

S'esmenta que el pèndol s'ha utilitzat històricament per mesurar el temps, amb referències a Galileo Galilei i Zhang Heng.



Foto 9. Seqüència de l'oscil·lació d'un casteller en les diferents altures. Font pròpia.

En aquesta seqüència veiem que el mateix pes però en diferents altures fa que el període d'oscil·lació variï. On el pes està més amunt, al ser la longitud més curta la oscil·lació és més ràpida, és a dir, es mou més.

4.2.4.-"Pugem enganxats al coll! ... i minimitzem el moment"

Aquí es tracta del principi del moment de forces: M . S'explica com reduir aquest moment de rotació minimitzant la distància respecte al centre de rotació i mantenint els cossos el més enganxats possible, per reduir les forces necessàries per a compensar aquest moment. Això es representa amb la fórmula $M=F \times d$, on M és el moment, F és la força i d és la distància.

També hi ha una secció que convida a fer un experiment per entendre millor aquest principi. Es fa referència a una tècnica usada en gimnàstica o circ, i a com la rotació controlada minimitza les forces en diverses disciplines (això no entenc a que es refereix, explica-ho millor).

4.3.- Casc de la canalla

Des de la creació d'aquestes torres humanes, fa més de 200 anys, sempre hi ha hagut lesions a totes les posicions, gairebé sempre són lleus però quan parlem del pom de dalt aquests són els que es veuen afectats més greument. Abans de la invenció del casc, quan queia la canalla la majoria de casos eren lesions craniofacials ja que són els ossos que encara estan formant-se. Hi havia un important debat en la utilització o no del casc, però no va ser fins el 2006 quan malauradament hi va haver la tercera víctima mortal per aquest tipus de lesions, Mariona Galindo, dels Capgrossos de Mataró. I tots els dissenys que s'havien fet fins aquell moment es van posar sobre la taula de debat i aquell mateix estiu el casc va ser estrenat, ja que es veia com una cosa totalment necessària per no tenir més desgràcies com aquella.

La canalla es troba en una fase de creixement, en la qual són molt vulnerables per segons quines funcions relacionades amb els castells. El sistema musculoesquelètic del nen destaca per la seva plasticitat, i per això, el nen podrà adaptar-se a les

sol·licituds externes sempre i quan el resultat final d'aquella adaptació sigui positiva, és a dir, que torni al seu estat normal. Unes càrregues desmesurades o repetidament desequilibrades poden malmetre una estructura sana. El creixement i la maduració òssia d'un nen no és exactament la mateixa en tot el seu sistema esquelètic, ni en totes les parts de l'os per igual. Així doncs, la vulnerabilitat i el creixement ossi durant la pubertat serà molt elevat. Tot això, es centra en una sèrie de punts en l'os anomenats nuclis de creixement o d'ossificació. Aquests tenen una estructura més semblant al del cartílag que no pas a l'os.

Armengol va realitzar un estudi de dues colles, on s'analitzaven les lesions per caigudes, on el nombre de casos no va ser gaire elevat. El va fer entre l'any 1977 i 1988:

- 46,6% pertanyien entre els pisos de segons i dosos (ambdós exclosos)
- 37,6% pertanyien a la pinya
- 10,9% pertanyien al pom de dalt
- 4,9% pertanyien als baixos i segons

Podem extreure de tot això, que el major risc de lesió envers les caigudes, es troba situat als pisos entremitjos del tronc, i la pinya (on les energies en cas d'impacte són majors).

En consultes i ingressos mèdics, els nens són més protagonistes que els adults. Però, referent a les lesions de la columna vertebral, són els adults qui les pateixen més, amb un 22% en contusions cervicals i dorsals lleus. Cap lesió cervical de la canalla ha estat important, mentre que el 22,4% de les dels adults han estat greus.

Aquesta taula d'Armengol ensenya que per als nens és clau protegir el cap i les cames, mentre que per als adults cal prevenir lesions al coll i extremitats superiors.

Part del cos	Nens	Adults
Cap	25,5%	14,9%
Cervical	7,3%	25,3%
Dorsal	11,7%	11,0%
Lumbar	5,1%	6,5%
Tòrax	5,1%	9,3%
Extremitat superior	13,1%	18,4%
Extremitat inferior	27,7%	12,2%

Foto 10. Taula de lesions en castells (1988). Font: Lesions traumàtiques dels Castellers per J.Armengol

En l'Annex 2 es troba el document sencer per a més informació.

Malauradament, el passat Sant Fèlix del 2024, l'acotxadora de la Colla Vella de Valls, la Mia, va patir un traumatisme cranioencefàlic greu amb fractura cranial amb enfonsament i fractura orbitària, fent que l'haguessin d'operar d'urgència aquell mateix dia a l'Hospital Sant Joan de Déu. Va sortir bé i va tenir una millora favorable. Arran de la caiguda, la CCCC està estudiant el casc que portava durant la caiguda del 4 de 9.

5.- CONCEPTES BÀSICS DE FÍSICA APLICATS ALS CASTELLS

Quan es construeixen castells humans, la física juga un paper clau per garantir que l'estructura sigui estable i segura. Els següents conceptes són fonamentals per entendre com funciona la construcció i l'equilibri d'un castell humà.

5.1.- Lleis de Newton

Les lleis de Newton són fonamentals per comprendre el moviment i l'estabilitat d'un castell:

5.1.1.- Primera Llei de Newton en trasllació

Aquesta llei aplicada a un cos rígid o sistema, afirma que el seu centre de masses tant si està en repòs continuarà en repòs (o en el mateix moviment uniforme i rectilini), tret que la suma vectorial de les forces externes sigui diferent de zero.

En el cas del meu estudi de la part pràctica, el que intentaré fer és que la suma de les forces totals externes sobre cada casteller (modelitzat com un sòlid rígid en forma de barra, tal com es veurà) sigui zero, tant en la component x (horitzontal) com en la y (vertical). D'aquesta manera el centre de masses (cdm) del casteller en qüestió estarà en equilibri de forces i no es desplaçarà. Si ho fés, el castell cauria irreversiblement.

5.1.2.- Primera Llei de Newton en rotació

Aquesta llei afirma que un sòlid rígid capaç de girar sobre el centre de masses que estava en repòs, continuarà en repòs tret que la suma vectorial de tots els moments de forces externs que actuïn sobre ell sigui diferent de zero. En el cas del meu estudi de la part pràctica, el que intentaré és fer la suma dels moments de les forces totals externes sobre cada casteller sigui zero en la component z , perpendicular al pla del dibuix, (la única que deixem girar en el nostre model 2D). D'aquesta manera el casteller en qüestió estarà en equilibri de moments de forces i no girarà, o es decantarà. Si ho fes el castell cauria irreversiblement.

5.1.3.-Segona Llei de Newton

($\vec{F} = m \times \vec{a}$) Aquesta llei explica que la força aplicada a un cos rígid és proporcional a la seva massa i a la seva acceleració. Com s'ha dit al punt 5.1.1. en el cas pràctic intentem que la suma de les forces sigui zero, per tant aquesta acceleració ja no es donarà. Si és donés el casteller s'acceleraria i per tant es desplaçaria i el castell cauria. El mateix cas aplicat a l'equilibri de forces en y (verticals) per tots els castellers de sota han de ser suficients per contrarestar el pes (massa) del castell de tots els castellers de sobre. La base del castell ha de suportar grans forces perquè les masses superiors no col·lapsin.

5.1.4.- Tercera Llei de Newton

Aquesta llei indica que per cada força d'acció d'un sòlid A sobre un altre sòlid B hi ha una altra força de reacció de B cap a A de magnitud igual i de sentit oposat. Aquesta llei de Newton serà la que utilitzaré de forma molt preferent per tal d'identificar parells de força d'acció-reacció entre dos castellers en contacte directe i així, al ser les dues iguals i oposades, no em caldrà manejar tantes magnituds.

A la pràctica castellera un altre exemple seria: un casteller d'un determinat pis exerceix cap amunt una força oposada a la que li fa el casteller de sobre a causa del pes seu pes sumat al dels que té a sobre, aquestes dues forces iguals i contràries formen una parella d'acció i reacció. L'existència entre aquestes forces és el que permet mantenir l'estabilitat.

5.2.- Forces i equilibri

En la construcció d'un castell, diferents forces estan en joc, i l'equilibri és essencial per evitar el col·lapse de l'estructura. Tant en un castell com en cada casteller, es poden identificar dues forces principals:

- **Força gravitatòria:** Aquesta és la força del pes pròpiament dita, sempre es dirigeix cap avall.
- **Forces d'acció i de reacció:** Si jo li faig una força a un objecte, ell m'està fent sobre meu una altra força de reacció, la reacció és sempre igual però de sentit contrari a l'acció que jo li faig, d'acord amb la 3a llei de Newton.

Un d'aquests objectes pot ser o bé el castellers de sobre meu, de sota meu, o el propi terra.

L'equilibri d'un castell s'aconsegueix quan aquestes forces es balancegen de manera que el castell no s'inclini ni caigui. Això implica que les bases (pinya i folre) han de distribuir correctament el pes i les forces dels pisos superiors per mantenir l'estabilitat.

5.3.- Centre de massa

El centre de massa és el punt en una estructura és el punt que es calcula com la mitjana de la posició de totes les seves masses que el componen. On es pot considerar que el pes total hi està "concentrat". En els castells, i és recomanable mantenir el centre de massa alineat sobre la base del castell, ja que qualsevol desplaçament significatiu del centre de massa pot provocar una caiguda.

A mesura que es van afegint pisos al castell, el centre de massa es desplaça cap amunt. Això pot fer el castell sigui més inestable, ja que qualsevol petit moviment en els pisos superiors té un efecte més gran sobre l'equilibri global. Per tant, és recomanable que els castellers dels pisos superiors estiguin com més ben posicionats i en línia vertical amb la base millor per mantenir el centre de massa el més alineat amb el centre de la base.

Aquesta alineació precisa entre el centre de massa i la base ajuda a distribuir de manera òptima el pes, evitant que el castell es tombi.

5.4- Tensió

En general és la força que tendeix a estirar o comprimir un cos o un material. En un castell, els castellers dels nivells superiors i les parts altes de la base experimenten tensió, ja que els seus cossos estan estirats per equilibrar el pes superior cap a baix i la força de reacció inferior cap a dalt. Ambdues forces tendeixen a fer que el casteller es comprimeixi, sinó fos per la tensió interna muscular i òssia que s'aplica a si mateix, tensió que li permet ser considerat com un sòlid rígid.

En el meu estudi centraré les forces de tensió només en les que es fan mútuament els braços dels dos castellers agafats del mateix pis a l'estructura d'un dos de 7 net.

La capacitat dels castellers per suportar aquesta força de tensió depèn de la seva postura, la seva força física i l'organització de la colla.

5.5.- Moments de força

El moment de força (M) es defineix com el producte de la força aplicada (F) per la distància perpendicular (d) respecte a un punt de gir o eix de rotació. Això s'expressa:

$$M=F \times d$$

En el context d'un casteller que forma part d'un castell, el punt de rotació o el punt sobre el qual s'aplica el moment de força sol ser l'eix horitzontal que passa pel centre de masses de cada casteller. Qualsevol força aplicada de manera lateral o no vertical respecte a aquest punt genera un moment que pot causar la rotació o la inclinació de l'estructura.

Per mantenir l'equilibri d'un castell, els moments de força han de ser compensats. Això vol dir que qualsevol força que pugui generar un moviment de torsió cap a un costat ha de ser contrarestada per una força oposada que mantingui l'equilibri. Aquesta és una situació molt freqüent durant la construcció dels castells, especialment quan els castellers es mouen per arribar a les seves posicions finals o quan l'enxaneta (el nen o nena que corona el castell) es col·loca a la part superior.

- **Moment de força nul:** Quan els moments de força que actuen sobre el casteller s'equilibren perfectament, el resultat és un moment nul, és a dir, no hi ha tendència a la rotació, i el casteller es manté estable. Això es produeix quan totes les forces aplicades pels altres castellers del mateix pis, dels pisos superior i dels pisos inferiors contraresten de manera eficaç les forces generades per la gravetat.

5.6.- Energia potencial

L'energia potencial és l'energia que té un objecte a causa de la seva posició en un camp de forces, normalment el camp gravitatori de la Terra. Aquesta energia està "emmagatzemada" en l'objecte pel fet d'estar en una certa alçada i pot ser alliberada si l'objecte cau o es mou cap avall.

La forma més comuna d'energia potencial és l'energia potencial gravitatòria, que és l'energia que un objecte té per estar a una certa altura respecte a la Terra. Com més alt estigui un objecte i com més pesi, més energia potencial tindrà.

L'energia potencial es pot calcular amb aquesta fórmula:

$$E_p = m \times g \times h$$

- E_p : Energia potencial (en joules, J)
- m : Massa de l'objecte (en quilograms, kg)
- g : Acceleració de la gravetat (a la Terra és d'aproximadament $9,8 \text{ m/s}^2$)
- h : Alçada respecte a un punt de referència (en metres, m)

Massa (m): La massa és quant pesa un objecte. Com més gran sigui la massa d'un objecte, més energia potencial tindrà. Per exemple, si tens dos castellers a la mateixa alçada, el que pesa més tindrà més energia potencial.

Acceleració gravitatòria (g): És la que atrau els objectes cap al centre de la Terra. Prop de la superfície de la Terra, aquesta acceleració és de $9,8 \text{ m/s}^2$, i és la mateixa per a tots els objectes. La gravetat és el motiu pel qual quan alguna cosa cau, comença a moure's cap avall, i transforma la seva energia potencial en energia cinètica (energia de moviment).

Alçada (h): L'alçada és la distància entre l'objecte i el terra. Com més alt estigui un objecte, més energia potencial tindrà, perquè si cau, tindrà més temps per accelerar-se i per tant guanyar velocitat.

Pensem en un castell humà. Si mirem l'enxaneta, té molta energia potencial perquè està a una gran alçada respecte a terra. Si caigués, l'energia potencial que té per estar tan alt es convertiria en energia cinètica mentre baixa.

- Massa (m): L'enxaneta té una massa (per exemple, 25 kg).
- Alçada (h): Si està a 5 metres del terra (la seva alçada respecte a la base del castell).
- Gravitat (g): La força de la gravetat sempre és de 9,8 m/s².

Utilitzem la fórmula:

$$E_p = 25 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} \quad \mathbf{E_p = 1225 \text{ joules}}$$

Això vol dir que l'enxaneta té 1225 joules d'energia potencial per estar a 5 metres d'alçada. Si caigués, tota aquesta energia es convertiria en energia cinètica a mesura que anés caient.

L'energia potencial explica per què és perillós que un casteller caigui des de gran alçada. A mesura que puja en el castell, acumula energia potencial, i si perd l'equilibri, aquesta energia es transformarà ràpidament en energia cinètica, fent que l'impacte al terra sigui més fort com més alta sigui la caiguda. Per això el pom de dalt, a més a més de ser els més petits també són els que van més amunt, porten casc.

És important recordar que, en física, l'energia no es crea ni es destrueix, només es transforma. En un castell humà:

- L'energia potencial augmenta a mesura que els castellers pugen més alt.
- Si un casteller cau, aquesta energia potencial es transforma en energia cinètica, que és l'energia del moviment.
- Quan el casteller arriba per sort, no a terra, sinó "suposadament" a la pinya, molt poca part d'aquesta energia es dispersa en forma de so i calor, una altra part important es transforma en l'ona elàstica de deformació a través de la pinya, i la part restant es la que conformarà l'energia de col·lisió en sí. Aquesta última part és la que causarà el dany repartit entre el propi casteller que cau i al casteller de la pinya al que li cau a sobre.

6.- COTUTORITZACIÓ AMB EL DOCTOR ROGER CABRÉ

La part clau del meu treball va ser descobrir que existia la càtedra de Castells a la Universitat Rovira i Virgili, de la qual ja he investigant en un apartat previ. Aquesta em va obrir moltes portes, la principal va ser posar-me en contacte amb el doctor Roger Cabré. Com que al principi no sabia com enfocar la recerca, vaig quedar amb el meu co-tutor, per concretar sobre què volia fer a la meva part pràctica del treball. A continuació hi ha el seguiment de les reunions que hem fet.

6.1.- 1ra reunió: 29/04/2024

Durant la primera reunió, el que vaig fer inicialment, va ser exposar la meva situació al doctor Roger Cabré. Aquest va comprendre les meves necessitats i em va proposar tres idees per a la meva part pràctica del treball de recerca.

La primera opció es basava en l'estudi de la seguretat del casc de la canalla, un tema que vaig trobar força interessant, però insuficient per desenvolupar un treball de recerca complet. Tot i això, la informació que tinc sobre els cascs en el meu treball prové de les dades que ell em va proporcionar.

La segona proposta consistia en calcular el nombre de persones necessàries en una pinya. Em va semblar també un tema d'interès, ja que sovint assumim que com més gent hi ha, millor. La proposta em va despertar curiositat sobre quin seria realment el mínim necessari de persones per assegurar l'estabilitat de la pinya. Tot i trobar-la interessant, no era exactament el que estava buscant.

Finalment, la tercera proposta, que és la que vaig acabar triant, consistia en l'estudi de les forces en un 2 de 7 net. Aquesta proposta em va semblar la més adequada per al meu treball, ja que era un tema que havia estat treballant durant el curs escolar.

6.2.- 2na reunió: 14/05/2024

A la segona reunió, el primer que vaig fer va ser comunicar al doctor Roger Cabré la meva decisió final en relació amb la part pràctica del treball de recerca. Després

de considerar les opcions, li vaig explicar que havia optat per centrar-me en l'estudi de les forces en un 2 de 7.

Un cop li vaig comunicar la meva decisió, em va detallar els passos que hauria de seguir per desenvolupar correctament el treball. Em va proporcionar una guia clara sobre les tasques que havia de dur a terme i l'ordre en què seria recomanable abordar-les. També em va assignar unes tasques inicials, a mode de feina d'estiu, per tal que pogués començar a treballar i veure com evolucionava el projecte. Això em va permetre anar avançant progressivament i establir una base sòlida per al desenvolupament del treball.

6.3.- 3ra reunió: 17/09/2024

La tercera reunió va tenir lloc després de l'estiu, a mitjans de setembre, quan vaig demanar al doctor Roger Cabré una trobada per explicar-li el progrés del treball durant el període estival. Durant l'estiu, havia dedicat temps a treballar en les tasques assignades, però, malauradament, els resultats no havien estat exactament els esperats. La metodologia que havia seguit no s'ajustava del tot al plantejament adequat per assolir els objectius del treball, però considero que de cada pas del procés s'aprèn.

Durant aquesta reunió, el doctor Cabré va tenir l'oportunitat de revisar el que havia fet fins aleshores i em va proporcionar una explicació més precisa sobre l'objectiu central del treball de recerca. Em va ajudar a comprendre amb més claredat com enfocar el projecte i em va mostrar quina era la manera correcta de procedir per obtenir uns resultats més rigorosos i ajustats als objectius plantejats.

A més, em va ensenyar a estructurar el treball de manera més efectiva, l'excel, subratllant la importància de seguir un mètode científic que permetés un desenvolupament lògic i coherent de les idees. Va ser gràcies a aquesta reunió que vaig poder establir una estratègia clara per avançar de manera adequada en la investigació.

6.4.- 4ta reunió: 29/10/2024

A l'última reunió, que va tenir lloc a finals d'octubre, ja portava la part pràctica del treball enllestida dins de les meves possibilitats. És a dir, que em trobava amb dificultats per obtenir els càlculs correctes ja que tenia un error en el procediment que estava seguint que no sabia trobar. Per aquest motiu, vaig presentar la feina al doctor Roger Cabré, qui em va ajudar a identificar el punt on estava cometent l'error. A més, va revisar la meua part pràctica, incloent-hi les descripcions detallades dels conceptes físics implicats. En resum, el doctor Cabré va supervisar i va corregir tota la part pràctica, cosa que em va permetre millorar el treball de manera significativa.



Foto 11. Fotografia amb el doctor Roger Cabré. Font pròpia.

7.- EVOLUCIÓ DELS CASTELLS DE 2

Els castells de dos han evolucionat significativament des dels seus inicis, demostrant una notable progressió tècnica i estètica. Aquest tipus de castell és conegut per la seva dificultat, ja que requereix un equilibri i una coordinació excepcionals.

Els primers castells de dos es van documentar al segle XIX. Durant aquesta època, les colles castelleres es van aventurar en la construcció de torres de sis pisos, que van representar un repte considerable per a les tècniques de l'època.

A principis del segle XX, els castells van patir una decadència, afectant també la construcció de torres de dos. La disminució del nombre de colles i actuacions va frenar l'evolució d'aquests castells. Amb la revitalització del món casteller a partir dels anys 20 i 30, es va començar a recuperar l'interès pels castells de dos. La tècnica va millorar, i es van reprendre els intents de construir torres més altes i estables.

Durant els anys 50 i 60, es va produir un renaixement significatiu. Les colles van començar a construir torres de set pisos, aconseguint fites importants que van posar de manifest la millora tècnica i la capacitat d'innovació. Una de les innovacions més importants va ser l'ús del folre. Això va permetre construir torres més altes i estables, com les de vuit pisos.

Durant els anys 80 i 90, es van consolidar les torres de vuit pisos amb folre. Aquesta fita va demostrar l'alt nivell tècnic assolit per les colles castelleres. A finals del segle XX, es van començar a veure els primers intents reeixits de torres de nou pisos amb folre i manilles, que representaven un desafiament encara més gran en termes de coordinació i força. A finals del segle XX, algunes colles van aconseguir carregar el "2 de 8 net", però descarregar-lo continuava sent una raresa i excepcionalitat.

Al segle XXI, el 2 de 8 net ha estat descarregat en diverses ocasions per colles de primer nivell. Aquestes fites demostren l'avenç tècnic i la preparació física i mental dels castellers. La Colla Joves dels Xiquets de Valls, la Colla Vella dels Xiquets de

Valls i els Castellers de Vilafranca són exemples de colles que han aconseguit descarregar aquesta impressionant construcció. Avui en dia, el 2 de 8 net és considerat un dels castells més prestigiosos i valorats en el món casteller. Assolir aquesta fita és un símbol de la màxima excel·lència tècnica i coordinació dins d'una colla.

Pel que fa a l'evolució del 2 de 9 amb folre i manilles ha estat gradual i plena de reptes. Les primeres temptatives d'aquest castell es van produir durant els anys 90, quan les colles van començar a experimentar amb les possibilitats de construir torres de nou pisos. El primer carregat va ser al 1993 pels minyons de Terrassa, i el primer descarregat, al 1994 per la Colla Vella dels Xiquets de Valls.

8.- ESTUDI DE LES FORCES D'UN 2 DE 7

Amb aquesta pràctica, que em va aconsellar el Dr. Roger Cabré, el meu objectiu és crear un model físic del castell 2 de 7 net, basat en les dades conegudes dels pesos mitjans i les alçades dels castellers que el formen. Utilitzant aquestes dades, busco trobar les forces exactes que actuen sobre cada casteller dins de l'estructura.

La finalitat és calcular les forces a què està sotmès cada casteller i, a partir d'aquí, avaluar si l'esforç total aplicat és suficient per mantenir l'estructura estable, o si aquestes forces portarien el castell a caure. L'enfocament és més teòric, ja que la meua intenció és modelar i simular aquestes forces en un Excel.

Vam decidir aquest castell perquè és realment el 2 de 8 sense la pinya, així calculant aquestes dades sabríem les forces necessàries del tronc, si hagués fet un castell amb més rengles hi hauria moltes més incògnites, el problema es complicaria molt.

El plantejament és la creació d'un sistema amb 34 equacions, que correspondrien a les diferents forces que actuen sobre cada casteller, com les tensions i reaccions de contacte. Aquest sistema d'equacions hauria de permetre trobar les incògnites que determinen si el castell pot aguantar o no.

8.1.- Plantejament del problema

Per plantejar el problema, vaig dibuixar a cada casteller com si fos un pal, després vaig analitzar totes les forces a les quals estava sotmès cada casteller i vaig identificar tres forces principals: la tensió exercida sobre els braços del casteller, la reacció de contacte amb el casteller de dalt i la reacció de contacte amb el casteller de sota.

Un cop vaig determinar aquestes forces, amb l'ajuda d'en Roger Cabré, vam fer un esbós de les forces en el cas d'una torre de sis pisos i no set, l'enxaneta i l'acotxador els ajuntem, ja que sinó no ens sortirien els càlculs, representant com interactuaven les forces entre els castellers de cada pis.

En continuar amb el problema, vaig adonar-me que, havia de posar un angle determinat a tots els castellers i així seria més senzill i em permetria aplicar les equacions amb més facilitat.

Al final en va resultar l'esquema o model de la figura 16. Com es pot veure és un model simple, només bidimensional (2D), ja que els únics moviments, desplaçaments que contemplo són al llarg del pla x-y, que és el pla del dibuix. Per tant els angles que poden variar són els que els castellers formen amb la seva vertical en aquest mateix pla. En aquest sentit els castellers només els permeto girar al voltant de l'eix z, perpendicular al pla del dibuix, que eventualment passarà pel seu centre de masses (just al mig de cada barra).

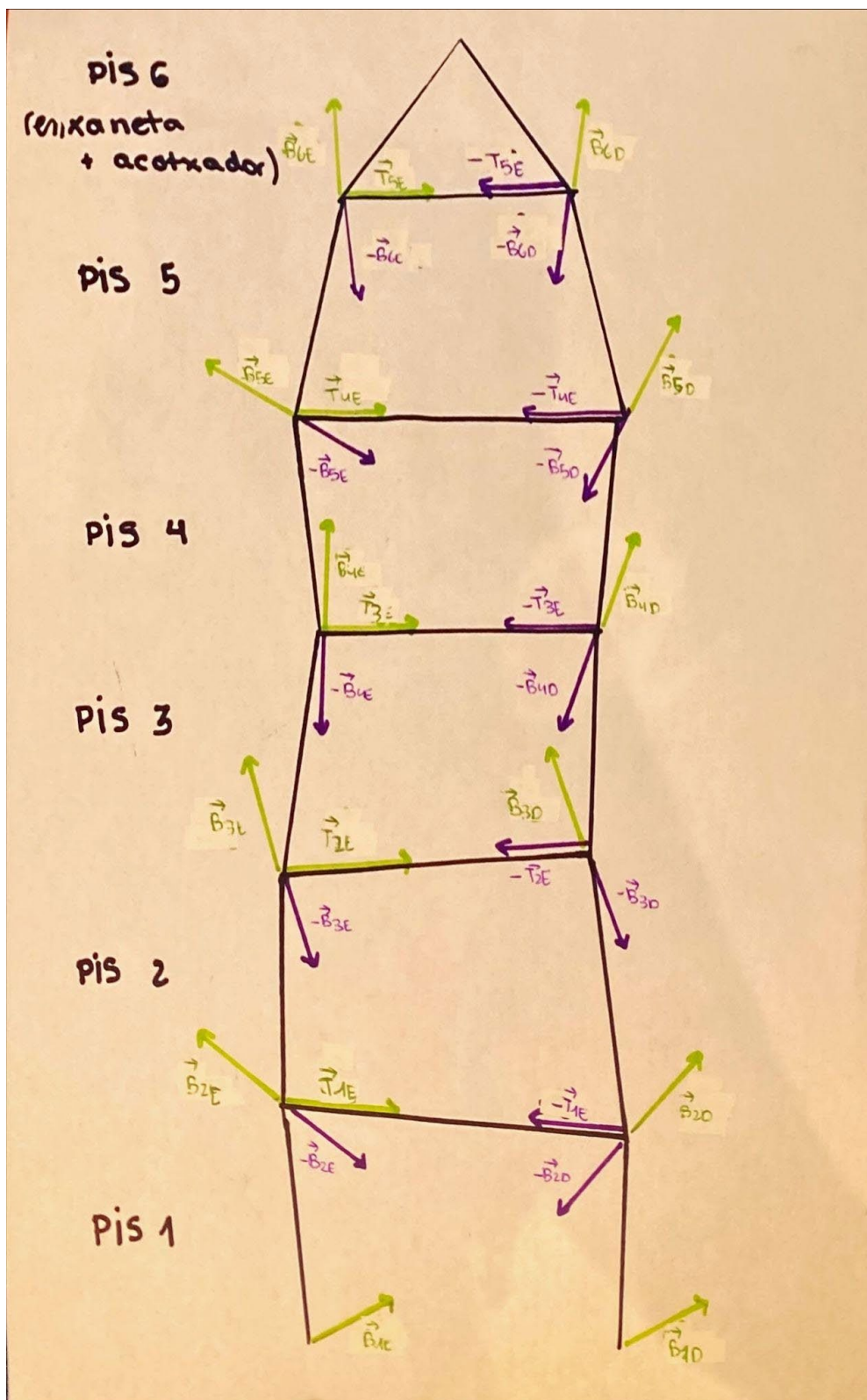


Foto 12. Plantejament de les forces, i les seves reaccions. Font pròpia.

Aquest dibuix és una representació gràfica d'un dos de 7, on s'hi indiquen les forces aplicades a cada casteller. Es poden observar els set pisos, amb dos castellers a cadascun. Tot i que en la realitat els castellers no solen estar inclinats tant cap a dins o cap a fora, en aquest cas he exagerat aquestes inclinacions per tal d'il·lustrar millor que les forces tenen components x (positiu cap a la dreta) i y (positiu cap a dalt). Això evidencia que els castellers no sempre es mantenen totalment verticals. Per aquest motiu, cada casteller està representat amb una inclinació exagerada respecte la vertical. Òbviament, si els castellers tinguessin aquesta posició en una actuació real, el castell cauria. Tot i així, malgrat el dibuix anterior, en la meua part pràctica he decidit aplicar una inclinació d'uns 10 graus positius (inclinat en sentit horari respecte la vertical) als castellers de la banda esquerra i de 10 graus negatius (inclinat en sentit anti-horari respecte la vertical) als de la banda dreta, excepte el bloc aixecador-enxaneta que no tenen inclinació.

En aquesta representació no he afegit la força del pes, ja que són forces fixes un cop fixada la massa de cada casteller, completament verticals, en sentit cap avall i aplicades al centre de masses de cada casteller, per no complicar tant el dibuix mostrat, com a forces fixes que són no formaran part del 'set' d'incògnites del meu problema.

Pel que fa a les fletxes en el dibuix, les que he representat en color lila simbolitzen les forces pròpies de cada casteller, com les que aplica el baix en contacte amb el terra o amb el casteller que té a sobre. D'altra banda, les fletxes verdes representen les reaccions a les forces, és a dir, aquelles que, són reaccions d'altres castellers i que també influeixen sobre l'equilibri del castell.

Per resoldre aquestes 34 equacions, inicialment pensava que seria similar al tipus d'equacions que he resolt anteriorment a classe. No obstant això, el meu tutor em va explicar que per resoldre un sistema de 34 equacions, el que cal és construir una matriu de 34×34 . Clar, per a una persona, resoldre una matriu d'aquestes dimensions manualment seria una tasca extremadament laboriosa i requeria molt de temps. Afortunadament, avui dia disposem de programes com Excel i altres fulls de càlcul que permeten resoldre aquestes equacions de manera molt més

ràpida i eficient, sense el marge d'error que podria tenir una persona fent el càlcul manualment.

Així doncs, introduïm les 34 equacions en un full d'Excel, on el programa calcula la força resultant de cada element. D'aquesta manera, podem obtenir els resultats de forma precisa i extreure les nostres pròpies conclusions sobre si el castell es mantindria estable o no.

8.2.- Desenvolupament del problema

A l'hora de desenvolupar el problema el primer que vaig fer va ser determinar totes les forces que són incògnites independents, tot aparellant en una de sola cada parella acció-reacció.

FORÇA B_n : representa el suport que el casteller rep del casteller que té just a sota. És una força de reacció normal que s'exerceix en el punt de contacte entre els dos castellers. Aquesta força tindrà dos components: x, y .

FORÇA $D_{(n-1)}$: Aquesta força és la que s'està aplicant a l'espatlla del casteller de sota i lògicament és la reacció de l'anterior a través del contacte que te dels seus peus amb l'espatlla del casteller del pis inferior. Per tant $B_n = -D_{(n-1)}$. Té també dos components.

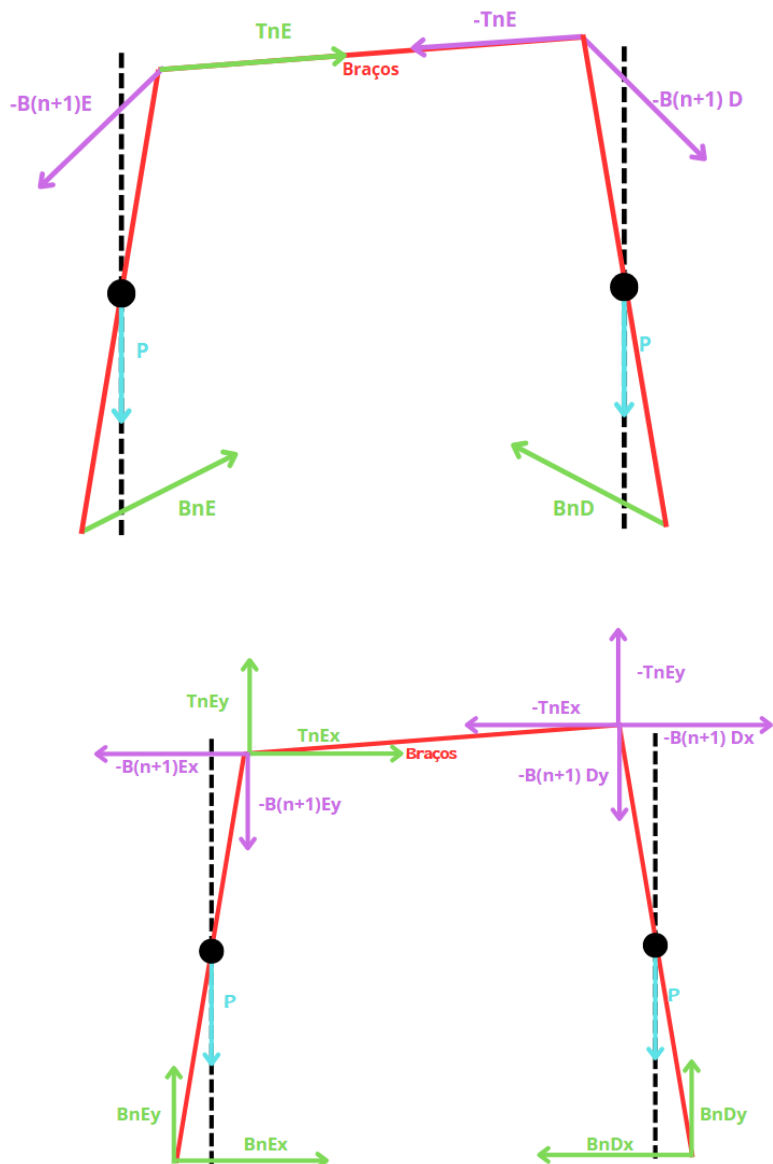
FORÇA T_n : Cada casteller del pilar de l'esquerra en el pis n un pis està connectat amb el casteller del mateix pis n del pilar de la dreta mitjançant els braços. Aquesta força, representa la tensió o reacció lateral i de suport mutu entre castellers d'un mateix pis. Aquesta força tindrà dos components: x, y .

FORÇA $-T_n$: Aquesta força igual i però en sentit contrari, és la reacció de l'anterior i s'aplica al casteller de la dreta mitjançant el contacte amb els braços del de l'esquerra.

8.2.1.- Representació gràfica de les forces

Amb aquestes dues representacions es veuen les forces d'un casteller més detalladament i també les seves variants x i y.

També he inclòs la força del pes perquè així es veu d'on surt el resultat de la segona llei de newton.



Figures 13 i 14: Representacions de les forces i els seus components x i y. Font pròpia.

8.2.2.- Equacions d'equilibri

8.2.2.1.- Equacions d'equilibri pisos 1-5

Per resoldre el sistema, utilitzem les condicions d'equilibri estàtic. Això implica que la suma de forces i moments ha de ser zero en cada casteller perquè el castell mantingui la seva estabilitat.

Equilibri dels Components horitzontals (eix x)

Per a que el casteller estigui en equilibri horitzontal, la suma de totes les forces horitzontals ha de ser zero:

$$\sum F_{n,e,x} = B_{n,e,x} + T_{n,e,x} - B_{n+1,e,x} = 0 \text{ pel casteller del pis } n \text{ de l'esquerra}$$

$$\sum F_{n,d,x} = B_{n,d,x} - T_{n,e,x} - B_{n+1,d,x} = 0 \text{ pel casteller del pis } n \text{ de la dreta}$$

Equilibri dels Components Verticals (eix y)

Per a que el casteller estigui en equilibri vertical, la suma de totes les forces verticals ha de ser el seu pes:

$$\sum F_{n,e,y} = B_{n,e,y} + T_{n,e,y} - B_{n+1,e,y} - P_{n,e} = 0 \text{ pel casteller del pis } n \text{ de l'esquerra}$$

$$\sum F_{n,d,y} = B_{n,d,y} - T_{n,e,y} - B_{n+1,d,y} - P_{n,d} = 0 \text{ pel casteller del pis } n \text{ de la dreta}$$

Equilibri de Moments respecte al Centre de Masses (cdm)

El moment d'una força respecte a un punt, en aquest cas el centre de masses del casteller, es calcula multiplicant la força per la distància perpendicular a aquest punt. Per a que el casteller no giri, la suma de tots els moments respecte al cdm ha de ser zero:

$$\sum M_{cdm} = 0$$

Així, per cada força aplicada (pes, reaccions i tensions), calculem el moment respecte al cdm. Això implica:

- Considerar les distàncies perpendiculars que cada força té respecte al cdm.
- Multiplicar cada força per la seva distància a l'eix, tenint en compte l'angle d'inclinació de cada casteller.

Cal tenir en compte que aquestes tres equacions es plantegen per a cada casteller d'un pis. Això significa que, per a cada pis, cal duplicar aquestes equacions, ja que s'han de resoldre tant per al casteller situat a la dreta com per al casteller situat a l'esquerra. A la part superior de l'estructura, al sistema format per l'aixecador i l'enxaneta, la situació presenta algunes variacions específiques que explicaré a continuació.

8.2.2.2.- Equacions d'equilibri pis 6

En primer lloc cal especificar, que aquest sistema no el dividiré en dos infants individualment com a castellers separats, ja que un cop encavalcat l'enxaneta sobre l'aixecador, aquests formen un bloc compacte. En comptes d'això, com veurem més endavant, sí que dividiré aquest bloc en dues parts: la part esquerra amb la seva cama esquerra, i la part dreta amb la seva cama dreta.

Per això, i tal com es pot veure a l'anterior figura 12 de l'esquema global del castell, aquest sistema el modelo com dos pals inclinats i units pel seu punt superior (formant un cert angle). Justament el punt d'unió de dalt el consideraré el centre de masses del sistema, i és per tant on s'hi aplicarà el pes (suma dels pesos dels dos infants).

Forces x als peus dels dos nens = 0

$$\Sigma F_x = B6_{ex} + B6_{dx} = 0$$

Si sumem totes les forces horitzontals que actuen als peus del bloc, ens ha de sortir zero perquè el sistema no es mogui cap als costats.

Forces verticals als peus dels dos nens = Pes total

$$\Sigma F_y = B6_{ey} + B6_{dy} = P6_e + P6_d$$

La suma de les forces que pugen pels peus ha de compensar el pes total dels dos infants perquè tot el bloc es mantingui en equilibri vertical.

Moment de forces a la meitat esquerra del bloc = 0

Com hem dit abans s'ha dividit el sistema en dos parts, el pal esquerra i el pal dret. Aplicarem un equilibri de moments independent a cadascu de les dues meitats del bloc (pals del model): Imaginem que la part esquerra del bloc està en equilibri només amb les forces del seu peu esquerre ($B6_{ex}$ i $B6_{ey}$), sense girar-se. Això fa que aquesta meitat del cos estigui estable sense contribuir a un moment que desequilibri el castell.

Moment de forces a la meitat dreta del bloc = 0

El mateix passa amb la part dreta del bloc, que també es manté en equilibri amb les forces del peu dret ($B6_{dx}$ i $B6_{dy}$), sense girar-se.

El fet d'aplicar moments a les dues meitats laterals del bloc pot semblar una mica estrany, perquè podríem simplificar-ho considerant els dos infants com un bloc únic i fer només una equació de moment. Però si ho fem així, ens faltaria una equació per tancar el sistema (tindria 34 incògnites però només 33 equacions).

Així que, separant les dues meitats, aconseguim una equació extra i, a més, estem dient que les tensions entre les dues parts del cos (com $T6(x,y)$ i $-T6(x,y)$) no generen cap moment extra perquè passen just pel centre de masses, igual que el pes, per això, no cal ni considerar-les com a incògnites. Això ens permet calcular el sistema d'equacions 34×34 , amb una matriu no singular i que per tant estigui determinat.

8.3.- Resolució del problema

Com ja sabem, per resoldre aquest problema hem de trobar 34 equacions per a 34 incògnites que resoldrem per a la matriu. Però com sabem quin valor posar a cada cel·la?

Aquesta taula és l'exemple de una matriu sense valors:

	$T5_{ey}$	$T5_{ex}$	$B5_{ey}$	$B5_{ex}$	$B5_{dy}$	$B5_{dx}$
$F_{ey} = p$						
$F_{dy} = p$						
$F_{ex} = 0$						
$F_{dx} = 0$						

Me = 0						
Md = 0						

Reprement la pregunta formulada abans, donar valors a la matriu implica assignar nombres concrets a cada cel·la de la matriu, representant les forces, pesos i relacions geomètriques entre els castellers del castell. Això ho farem analitzant com s'interrelacionen les forces en cada pis del castell i seguint algunes regles bàsiques de la física.

Cada fila de la matriu representa una part d'una equació d'equilibri, i cada columna correspon a una component d'una força desconeguda que volem calcular, com les forces cap amunt, cap avall o cap als costats. Per exemple, podem tenir una columna per a la força vertical del casteller de la base, una altra per a la força horitzontal d'un casteller del segon pis, i així successivament.

Per cada equació, considerem si una força actua en la mateixa direcció o en direcció contrària a altres forces. Els valors 1 i -1 son els que ens indicaran les direccions: +1 si la força va en sentit positiu (dreta en una component x i cap a dalt en una component y) i -1 si ho fa en sentit negatiu (esquerra en una component x i cap a baix en una component y).

Quan calcules moments necessites les distàncies entre els castellers. Aquestes distàncies es multipliquen per les forces corresponents, i els valors finals s'inclouen a la matriu. Així, si un casteller està a una distància de 0,5 metres d'un punt de suport, aquesta distància (0,5) es multiplicarà per la força i el valor resultant (per exemple, 0,5) es col·locarà a la matriu en la posició adequada.

Per aquest últim pas el que fem és multiplicar l'alçada per el sinus o el cosinus de l'angle. Utilitzarem el sinus per a les forces horitzontals perquè el sinus de l'angle ens dona la proporció de la força total que actua en la direcció horitzontal. Quan una força s'aplica en una direcció inclinada respecte a la vertical, la seva component horitzontal es calcula com el producte de la força per $\sin(\theta)$, on θ és l'angle respecte a la vertical. Això ens permet descompondre la força en una part horitzontal i una part vertical.

Quan tenim una altura h que forma un angle 10° (que passem a rad per tant té un valor de 0,17 rad) amb la vertical. Aquesta dada la descomponem en:

- **Component horitzontal:** $H_x = h \times \sin(0,17)$
- **Component vertical:** $H_y = h \times \cos(0,17)$

Sabent tot això ja podem completar una matriu de qualsevol pis. Així quedaria:

	T5ey	T5ex	B5ey	B5ex	B5dy	B5dx
Fey = p	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Fex = 0	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Me = 0	0,22	-1,29	-0,22	1,29	0,00	0,00
Md = 0	1,29	0,22	0,00	0,00	-0,22	1,29

Per completar les matrius dels altres pisos hem de seguir el mateix patró que hem utilitzat en aquest pis. Utilitzant aquestes dades, les alçades són les que em va donar el co-tutor, que són una aproximació al més real possible.

casteller esquerre						
PIS	pes (kg)	alçada (m)	angle (°)	angle (rad)	hx (m)	hy (m)
6	50	0,59	0	0,00	-1,01	0,59
5	33	1,29	10	0,17	0,22	1,29
4	50	1,37	10	0,17	0,24	1,37
3	65	1,57	10	0,17	0,27	1,57
2	75	1,5	10	0,17	0,26	1,50
1	85	1,5	10	0,17	0,26	1,48

Quan agafem els valors del casteller dret, l'angle és negatiu, per tant els valors de h_x i h_y seran negatius.

En el cas del bloc aixecador-enxaneta (pis sisè) la taula quedaria d'aquesta manera:

	B6ey	B6ex	B6dy	B6dx
fy = p	1,00	0,00	1,00	0,00

$f_x = 0$	0,00	1,00	0,00	1,00
$M_e = 0$	-1,01	0,59	0,00	0,00
$M_d = 0$	0,00	0,00	1,01	0,58

Quan ja hem completat la taula amb tots els valors, tenim una matriu de coeficients que multiplica al vector de les 34 components de les forces de cada casteller que són les variables incògnites. Al producte de la matriu pel vector de components de forces se l'igualava al vector columna dels pesos de cada casteller, que com hem vist abans, només apareixen només a les equacions de l'equilibri de forces verticals:

$$\sum F_{n,e,y} = B_{n,e,y} + T_{n,e,y} - B_{n+1,e,y} = P_{n,e}$$

$$\sum F_{n,d,y} = B_{n,d,y} - T_{n,e,y} - B_{n+1,d,y} = P_{n,d}$$

Tant el vector de pesos com aquest vector de components de forces el consideraré en kilopondis (kp), ja que és una unitat més fàcil d'interpretar que els newtons en aquest cas.

Per resoldre aquest sistema i obtenir el valor de les incògnites (les components de forces), el que fem és multiplicar per l'esquerra aquest sistema per la matriu de coeficients inversa. Això fa que la matriu inicial es converteixi en una matriu identitat, cosa que simplifica el sistema i ens deixa amb el vector de components de forces aïllat i igualat al producte de la matriu inversa pel vector de pesos, com a resultat.

Abans de fer l'operació, comprovem que les dimensions de les matrius són compatibles per a la multiplicació. La nostra matriu de coeficients té dimensions (34,34) i el vector de resultats (34,1), de manera que es poden multiplicar correctament. Fem l'operació, i el resultat és un vector que conté els valors de les components de les forces que cada casteller ha d'aplicar per mantenir l'equilibri.

Amb aquest vector de forces, podem analitzar si el castell es mantindrà estable o no. Per fer-ho, utilitzem el nostre criteri en funció de les magnituds de les forces i de l'equilibri global. Així, podem decidir si les forces calculades són suficients per assegurar la seguretat del castell o si, per contra, el castell té risc de caure.

Així es veu tota la matriu completada (dividida en 2 parts ja que és molt gran):

	B6ey	B6ex	B6dy	B6dx	T5ey	T5ex	B5ey	B5ex	B5dy	B5dx	T4ey	T4ex	B4ey	B4ex	B4dy	B4dx
fy = p	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fx = 0	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	-1,01	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	1,01	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fey = p	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fex = 0	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	-0,22	1,29	0,00	0,00	0,22	-1,29	-0,22	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,22	1,29	1,29	0,22	0,00	0,00	-0,22	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fey = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Fex = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Me = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,24	1,37	0,00	0,00	0,24	-1,37	-0,24	1,37	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	-1,37	1,37	0,24	0,00	0,00	0,00	-0,24	1,37
Fey = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00
Fex = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,27	1,57	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	-1,57
Fey = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fex = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fey = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fex = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fey = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdy = p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fex = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fdx = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Me = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Md = 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

T3ey	T3ex	B3ey	B3ex	B3dy	B3dx	T2ey	T2ex	B2ey	B2ex	B2dy	B2dx	T1ey	T1ex	B1ey	B1ex	B1dy	B1dx	PES (KPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65
-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65
0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,27	-1,57	-0,27	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1,57	0,27	0,00	0,00	-0,27	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75
0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75
0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	-0,26	1,50	0,00	0,00	0,26	-1,50	-0,26	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	-1,50	1,50	0,26	0,00	0,00	-0,26	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	85
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	85
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,26	1,48	0,00	-0,26	0,26	-1,48	-0,26	1,48	0,00	0,00	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	-1,48	1,48	0,26	0,00	0,00	-0,26	1,48	0

8.4.- Resultats del problema

Quan ja hem multiplicat la matriu inversa pel vector dels resultats de les equacions ens dona que els castellers han de fer aquestes forces:

F (kp)					
B6ey	25,21	T4ey	-0,13	T2ey	-36,84
B6ex	42,95	T4ex	-28,13	T2ex	-27,60
B6dy	24,79	B4ey	60,00	B2ey	167,53
B6dx	-42,95	B4ex	-14,82	B2ex	-15,35
T5ey	48,34	B4dy	156,00	B2dy	328,47
T5ex	44,10	B4dx	14,82	B2dx	15,35
B5ey	9,87	T3ey	69,31	T1ey	97,58
B5ex	-1,15	T3ex	10,04	T1ex	-6,03
B5dy	106,13	B3ey	55,68	B1ey	154,94
B5dx	1,15	B3ex	32,91	B1ex	48,98
		B3dy	290,32	B1dy	511,06
		B3dx	-32,91	B1dx	-48,98

He destacat en negreta només les forces horitzontals, ja que tal com veurem solen ser les decisives per a saber si el castell cau o no.

Les dades mostren una varietat de valors en ambdues direccions, amb valors positius i negatius, la qual cosa indica la presència de forces en direccions oposades. Això es pot observar en diverses posicions, com per exemple en els components B6ey (25,21 kp) i B6dy (24,79 kp), on tots dos tenen valors positius, però en altres posicions com B6dx (-42,95 kp) i B5dx (1,15 kp), es poden trobar tant valors positius com negatius amb diferents magnituds.

La magnitud de les forces varia significativament. Els Entre els valors més alts se solen trobar a les components verticals com B1dy (511,06 kp) i B3dx (290,92 kp) més altes conforme ens anem als pisos inferiors, és lògic ja que aquestes representen els pesos que han d'aguantar les espatlles dels castellers , mentre que altres forces tenen magnituds més petites o fins i tot gairebé nul·les, com T4ey (-0,13 kp). Això demostra una àmplia distribució de magnituds dins de les diferents posicions.

En relació amb les direccions, observem que alguns components en la direcció x tenen valors destacats tant en sentit positiu com en sentit negatiu. Per exemple,

B3dx presenta un valor positiu de 32,91 kp, mentre que B3dy, la seva component en l'eix y, té un valor de 290,32 kp. En altres posicions com B2dx (-15,35 kp) i B2dy (328,47 kp), hi ha components en ambdues direccions amb diferències significatives en magnitud, tant positius com negatius.

També hi ha forces petites o gairebé nul·les en algunes posicions, com en el cas de T4ey (-0,13 kp) i B5dx (1,15 kp), indicant una variació considerable de magnituds segons la posició. Aquests valors més baixos es troben principalment en components de posicions que semblen situades en parts intermèdies o superiors, com en els nivells T.

Aquest conjunt de dades reflecteix una complexa distribució de forces en diferents posicions i direccions, amb variacions en magnitud i signe que semblen estar distribuïdes segons els components de cada posició dins l'estructura.

8.5.- Conclusions del problema

Llavors, aquest castell cauria o no? Aquesta és la gran pregunta que ens vam plantejar des del principi, i ara toca donar-hi resposta amb tot el que hem analitzat.

El primer que vaig fer va ser centrar-me en les forces horitzontals, perquè normalment són les que acaben provocant la caiguda d'un castell. Quan un castell cedeix, la majoria de vegades és perquè algú perd l'equilibri, llisca o pateix una desestabilització lateral. Per això vaig posar molt d'èmfasi a calcular aquestes forces, ja que em semblava que serien clau per determinar si el castell es mantindria dret o no.

Tot i això, no em vaig limitar només a les forces horitzontals. També vaig mirar les forces verticals, perquè són una part important a l'hora de mantenir l'estructura estable. Aquí és on vaig començar a veure problemes. Els càlculs de les forces verticals em donaven uns resultats que no tenien cap mena de sentit. Per exemple, segons les equacions, el primer pis havia de suportar una força de més de 500kp, cosa molt estranya perquè sumant tots els pesos dels pisos superiors no arriben ni de lluny a aquesta dada.

Vaig revisar tots els passos per assegurar-me que no havia comès cap error en els càlculs o en els valors de referència que feia servir. Vaig comparar els resultats amb els del meu tutor que havia fet servir el mateix mètode, però tot semblava correcte. Tot i això, els resultats seguien sent incoherents. Després de donar-hi moltes voltes, no vaig aconseguir identificar exactament on estava l'error, però estava clar que alguna cosa no encaixava amb les forces verticals.

En canvi, amb les forces horitzontals no vaig tenir cap problema. Els valors que em sortien eren molt coherents i equilibrats. Per exemple, la força màxima que s'havia de suportar era d'uns 40 o 50 quilos, cosa que és perfectament assumible per als castellers. Això em porta a pensar que, si només ens fixem en les forces horitzontals, el castell no cauria.

En conclusió, aquest castell considero que acabaria caient, però no per un problema de desestabilització horitzontal, com un lliscament o una pèrdua d'equilibri. En realitat, cauria perquè algun pis de la base no podria suportar el pes acumulat, cosa que provocaria que s'enfonsés. Tot i que les forces horitzontals semblen correctes i indicarien que el castell es podria mantenir estable, les forces verticals no quadren i són les que, al final, acabarien causant la caiguda. Això em fa pensar que hi ha un error en les equacions o en alguna part del plantejament inicial que no he pogut detectar.

Això és així al ser un castell net on els castellers no tenen cap suport extern, si aquesta estructura fos el tronc del 2 de 8 (amb pinya) el pis que en aquest cas és els baixos tindria possibilitat de no caure gràcies a tota la gent de la pinya.

Tot i així, crec que fer aquesta pràctica i estudiar-ho amb més profunditat podria ser molt interessant de cara al futur, per veure si es poden fer castells més alts o si les colles podrien millorar la seva tècnica amb aquesta informació. És una part molt interessant de la investigació, però no crec que hagi aconseguit resultats totalment realistes, tot i haver seguit els passos correctes.

9.- L'ENERGIA DELS CASTELLERS EN DIFERENTS CASTELLS

9.1.- L'energia dels castellers en un castell de 9

Havent fet la primera part pràctica, que va relacionada amb una part del temari de primer de batxillerat, vaig pensar que seria bona idea que a la segona part pràctica del treball, que va sobre les energies, treballar amb una estructura una mica més complexa, com són els castells de 9.

El que faré en aquest apartat és aplicar els meus coneixements treballats al tercer trimestre de física del curs passat sobre un castell de 9 pisos. Així compleixo un dels meus objectius que és entendre de manera més visual la teoria apresada prèviament.

El primer que hem de fer és saber la fórmula a aplicar a tots els castells, que és aquesta:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

On m és la massa del casteller, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ és l'acceleració de la gravetat i h és l'altura del casteller respecte al terra.

Al Manual de supervivència del casteller escrit per Jaume Roset, aquest va mesurar amb un taquímetre des del capdamunt del cap dels castellers de cada pis fins a terra, així que he fet servir les seves mesures com a referència en els càlculs. Pel que fa al pes he fet servir les dades de l'article del Manel Carbonell ("Què pesa un castell de 10?", Revista Castells, 2019), encara que sigui un castell de 10 he tret el pis de setenes i així queden 9 pisos.

Així que he fet una taula on es veuen altures i pesos per fer els càlculs més ràpidament:

PIS	MASSA D'UN CASTELLER PER PIS (kg)	ALÇADA DE CADA PIS (m)
-----	--------------------------------------	---------------------------

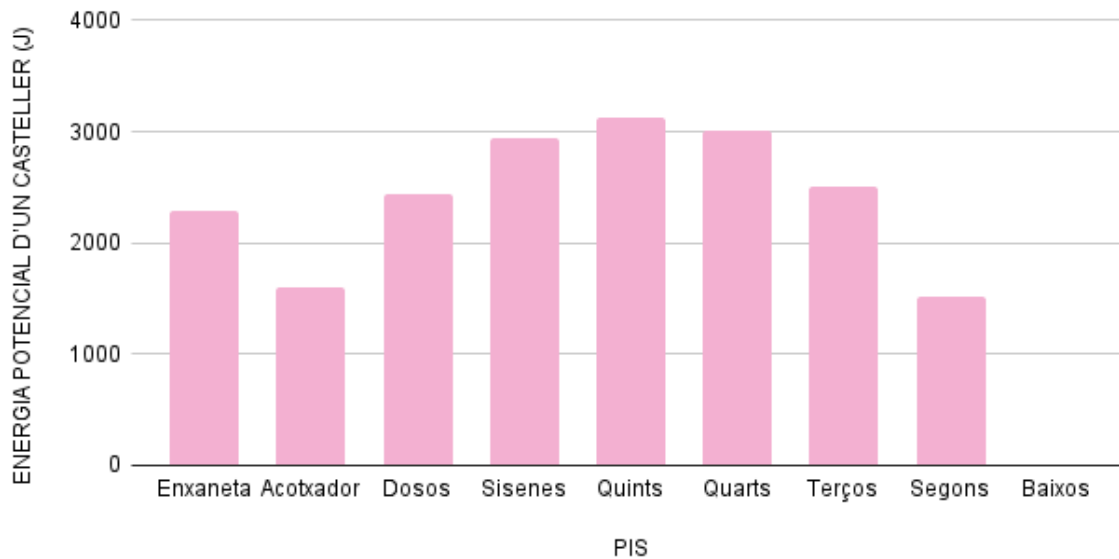
Enxaneta	25	9,35
Acotxador	18	9,05
Dosos	30	8,3
Sisenes	43	6,98
Quints	55	5,79
Quarts	64	4,8
Terços	71	3,6
Segons	86	1,8
Baixos	95	0

S'ha de deixar clar que aquestes alçades i pesos son aproximats, no son exactes.

PIS	FÒRMULA APLICADA (kg · m/s ² · m)	ENERGIA POTENCIAL D'UN CASTELLER (J)
Enxaneta	$E_p = 25 \cdot 9,8 \cdot 9,35$	2291
Acotxador	$E_p = 18 \cdot 9,8 \cdot 9,05$	1596
Dosos	$E_p = 30 \cdot 9,8 \cdot 8,3$	2440
Sisenes	$E_p = 43 \cdot 9,8 \cdot 6,98$	2941
Quints	$E_p = 55 \cdot 9,8 \cdot 5,79$	3121
Quarts	$E_p = 64 \cdot 9,8 \cdot 4,8$	3011
Terços	$E_p = 71 \cdot 9,8 \cdot 3,6$	2505
Segons	$E_p = 86 \cdot 9,8 \cdot 1,8$	1517
Baixos	$E_p = 95 \cdot 9,8 \cdot 0$	0

Així es veuria en un gràfic:

ENERGIA POTENCIAL D'UN CASTELLER EN UN CASTELL DE 9



CONCLUSIONS:

Una de les primeres coses que es poden observar és que els castellers situats als pisos superiors, com l'enxaneta o l'acotxador, malgrat trobar-se a una alçada considerable, acumulen menys energia potencial en comparació amb els castellers dels pisos intermedis, com els quints o els sisenes. Això es deu al fet que els castellers superiors tenen una massa molt menor. Per exemple, l'enxaneta, amb una massa de 25 kg i situada a 9,35 m d'altura, acumula 2290,75 J d'energia potencial. En canvi, els quints, tot i estar a una alçada menor (5,79 m), acumulen 3120,81 J degut a la seva massa de 55 kg. Això ens mostra clarament com la massa també té un impacte en l'acumulació d'energia potencial que no pas l'altura per si sola. Això implica que els castellers dels pisos intermedis poden tenir més risc de lesió en cas de caiguda, ja que l'energia potencial es pot convertir en energia cinètica durant una caiguda. En canvi, els baixos, que es troben a l'altura del terra, tenen una energia potencial de 0 J, ja que no estan a cap alçada respecte al punt de referència. Els segons, amb una massa de 86 kg però situats a només 1,8 metres d'altura, acumulen només 1517,04 J d'energia potencial. Tot i tenir una massa elevada, la seva posició propera al terra fa que el risc de lesió per l'energia acumulada sigui menor que en els castellers situats més amunt, encara que els segons tinguin més massa.

Així, una de les conclusions principals és que els castellers amb més massa i que es troben a una alçada intermèdia són els que acumulen més energia potencial, i per tant, tenen més risc de lesió en cas de caiguda. Malgrat que l'enxaneta o l'acotxador es troben a una alçada molt elevada, el seu risc és menor degut a la seva massa més baixa. Això demostra que la combinació de massa i alçada és crucial per entendre com es distribueix l'energia en els castells i el seu impacte en la seguretat.

9.2.- L'energia dels castellers d'un 2 de 7

En aquest apartat aplicaré el mateix procediment que en l'anterior, però en aquest cas amb una estructura de 7. He considerat que seria interessant realitzar l'anàlisi també amb aquest castell, ja que la primera part pràctica del treball també està centrada en el 2 de 7. D'aquesta manera, podré obtenir conclusions més completes i detallades sobre la mateixa estructura, analitzant diferents aspectes tant des del punt de vista de les forces com de les energies implicades en el castell.

Pel que fa a pesos i alçades he pres de referència les que he utilitzat en la primera part pràctica.

PIS	MASSA D'UN CASTELLER PER PIS (kg)	ALÇADA DE CADA PIS (m)
Enxaneta	25	7,73
Acotxador	25	7,23
Dosos	33	5,94
Quarts	50	4,57
Terços	65	3
Segons	75	1,5
Baixos	85	0

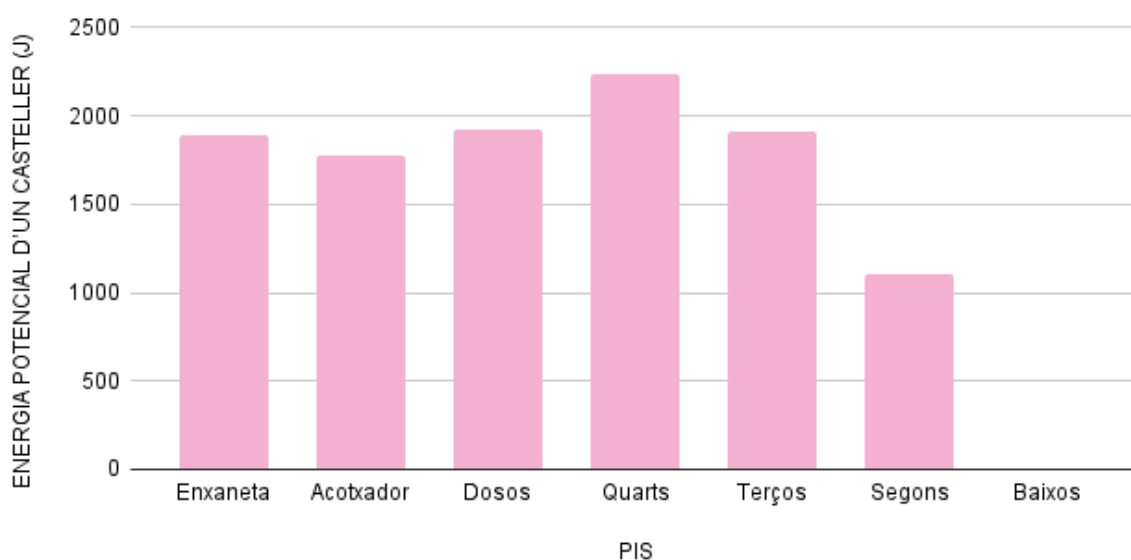
Amb aquestes dades obtenim aquests resultats:

PIS	FÒRMULA APLICADA (kg · m/s ² · m)	ENERGIA POTENCIAL D'UN CASTELLER (J)
-----	---	---

Enxaneta	$E_p = 25 \cdot 9,8 \cdot 7,73$	1894
Acotxador	$E_p = 25 \cdot 9,8 \cdot 7,23$	1771
Dosos	$E_p = 33 \cdot 9,8 \cdot 5,94$	1921
Quarts	$E_p = 50 \cdot 9,8 \cdot 4,57$	2239
Terços	$E_p = 65 \cdot 9,8 \cdot 3$	1911
Segons	$E_p = 75 \cdot 9,8 \cdot 1,5$	1103
Baixos	$E_p = 85 \cdot 9,8 \cdot 0$	0

Els resultats amb gràfic es veuen així:

ENERGIA POTENCIAL D'UN CASTELLER EN UN CASTELL DE 7



RESULTATS I CONCLUSIONS

L'anàlisi dels càlculs d'energia potencial per a cada pis del castell de 7 ens permet observar una distribució variada d'aquesta energia al llarg de l'estructura. L'energia potencial més elevada es troba en el pis dels quarts, amb un valor de 2239,3 J, cosa que es deu a la combinació d'una massa relativament elevada (50 kg) i una alçada considerable (4,57 m). A mesura que es descendeix en el castell, l'energia potencial disminueix progressivament, com és esperable, ja que l'altura respecte al terra és menor.

Els castellers dels terços, amb un valor de 1911 J, i dels segons, amb 1102,5 J, presenten energies potencials menors a causa de la reducció progressiva de l'alçada, malgrat tenir masses superiors. Això il·lustra com l'altura és un factor decisiu en el càlcul de l'energia potencial.

Pel que fa als dosos, enxaneta i acotxador, les seves energies potencials es troben en valors propers entre els 1771 i 1921 J, degut a les seves masses més baixes però compensades per l'alçada més gran. Finalment, els baixos tenen una energia potencial de zero, ja que es troben a nivell de terra.

Aquests resultats permeten veure com l'energia potencial varia segons l'alçada i la massa dels castellers en cada pis, amb una concentració significativa d'energia als pisos mitjans i superiors del castell.

9.3.- Comparació de l'energia dels castellers

En comparar l'anàlisi de l'energia potencial dels castellers en el castell de 7 amb l'estudi realitzat en un de 9, es poden observar algunes tendències similars i altres de diferents. Una de les primeres observacions és que, en les dues estructures, els castellers situats en pisos superiors, com l'enxaneta o l'acotxador, acumulen menys energia potencial en comparació amb aquells dels pisos intermedis. Això demostra que la massa té un impacte més gran en l'acumulació d'energia potencial que no pas l'altura per si sola.

Així mateix, els castellers dels pisos intermedis presenten un major risc de lesió en cas de caiguda, ja que l'energia potencial acumulada pot convertir-se en energia cinètica durant la caiguda.

Però en els pisos més baixos tot i la seva pesada massa, la seva posició propera al terra redueix el seu risc de lesió en comparació amb castellers situats a una alçada més significativa.

En conclusió, tant en el castell de 7 com en el de 9, s'evidencia que els castellers amb més massa situats en alçades intermèdies acumulen més energia potencial i, per tant, presenten un major risc de lesió. Això contrasta amb els castellers de pisos superiors, que, tot i estar a una alçada considerable, acumulen menys

energia potencial degut a la seva menor massa. Aquestes observacions il·lustren la importància de la combinació de massa i alçada en la distribució de l'energia en els castells i el seu impacte en la seguretat dels castellers.

Finalment, l'anàlisi de l'energia potencial en ambdues estructures proporciona una comprensió més visual i pràctica de la teoria física. Els coneixements sobre l'energia mecànica es poden aplicar per avaluar el risc de lesions en els castells, contribuint així a una millor preparació i seguretat per als castellers.

10.- CONCLUSIÓ DEL TREBALL

Un cop finalitzada tota la tasca de recerca, investigació i pràctica experimental, és important fer balanç i recapitular el treball realitzat per verificar si s'han assolit els objectius fixats al començament.

Després d'haver dut a terme una recerca detallada sobre l'essència castellera he pogut comprendre profundament la importància dels castells en la nostra cultura. Es pot dir que l'objectiu d'informar-me i aprendre més curiositats i conceptes bàsics sobre els castells ha quedat més que assolit.

Una de les parts que més m'ha agradat és la investigació sobre l'estudi i l'interès avui en dia sobre la ciència dels castells. He trobat molt interessant que en els darrers anys s'estigués donant més importància a una part essencial dels castells, ja que sense física no serien res. I veure que se li està donant valor, em donen ganes de seguir investigant sobre aquest tema en un futur.

D'altra banda, he complert també el meu objectiu principal que era aplicar els coneixements teòrics de la física que s'ensenyen a batxillerat amb un element molt important en la cultura catalana com són els castells. Ha sigut molt interessant veure com aquells conceptes poden tenir una utilitat més enllà de les aules de les escoles.

Amb la part d'investigació pràctica, s'ha pogut complementar la part més teòrica i per tant el fet d'assolir aquests coneixements sigui molt més senzill. Amb la primera pràctica, es veuen les lleis de newton portades a la realitat. Sens dubte, aquesta ha sigut la part més apassionant ja que m'ha permès aprendre sobre com analitzar les forces a les que està sotmès un casteller i controlar els seus components. Quan estava treballant en aquesta part pràctica, em van sorgir diferents problemes, el primer va ser que no vaig tenir els coneixements per a resoldre les equacions fins que vam començar el nou curs escolar, ja que no havíem treballat les matrius anteriorment. El següent problema al que em vaig afrontar va ser que mai havia treballat amb el programa informàtic d'Excel i va ser difícil acostumar-m'hi en un principi. I finalment els resultats no van ser com me'ls esperava en un inici i vaig haver de pensar com acabar resolent-ho. És

a dir, amb aquesta part no només he complert el meu objectiu inicial sinó que també he superat les dificultats que han anat sorgint en el camí.

Al acabar l'estudi de forces m'he adonat que aquest sistema es podria millorar en un futur i crear un programa que ajudés a les colles castelleres a l'hora de muntar castells més complicats o que no tenen controlats. Ajudaria també a saber si castells que no s'han fet mai com un pilar de 10 fos possible físicament, això si, només tenint en compte el factor de les forces, ja que hi ha diferents variables que no podem controlar, com els nervis, els factors meteorològics, entre d'altres.

Seguint amb el càlcul d'energia potencial, he pogut acabar de posar en pràctic tot el temari de primer de batxillerat, i poder comparar l'energia dels castellers m'ha ensenyat que molts tenim la idea equivocada que els que estan a més alçada són els que es faran més mal i no té perquè ser sempre així.

Estic contenta amb el meu treball. El fet d'haver escollit un tema que m'agrada i em sembla interessant, el fet de buscar informació, entendre-la i redactar-la no se'm fa gens feixuc, pot arribar a ser la meua via d'escapament en una època on tinc moltes coses a fer.

En general acabo aquest treball amb una sensació de gratitud envers aquells que m'han estat ajudant i donant suport durant tot el procés com serien els meus pares i germans, i al meu tutor del Treball de Recerca Jordi Gomà per la seva orientació durant la realització del treball, i tota l'ajuda que m'ha proporcionat al llarg de tots aquests mesos.

També vull donar les gràcies a Roger Cabré Rodon, doctorat en física i professor a la Universitat Rovira i Virgili, ja que gràcies a ell he pogut fer una bona recerca i una gran part pràctica.

11.- BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

Armengol, J. (n.d.). *Lesions traumàtiques en els castellers*.

Castell. Inici. (n.d.). <https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/castell-0>

Castellers de la vila de gràcia. Parts d'un castell. Disponible en:

<http://www.cvg.cat/mon-casteller/parts-dun-castell>

Castells: Força, Equilibri, Valor, Seny I... ciència! - the science in your world! (n.d.).

<https://lacienciaalteumon.cat/castells-forca-equilibri-valor-seny-i-ciencia/>

Centre de Terminologia de la Llengua catalana. TERMCAT. (2024, June 7).

<https://www.termcat.cat/ca>

Diccionari Casteller. TERMCAT. (n.d.). <https://www.termcat.cat/es/diccionaris-en->

[linia/2](https://www.termcat.cat/es/diccionaris-en-)

Estructures. (n.d.). <https://usuaris.tinet.cat/torraire/castells/estruct.htm>

Guia Castellera per a principiants: Les parts d'un Castell. Xarxanet. (2024, March 15).

<https://xarxanet.org/cultural/noticies/guia-castellera-per-a-principiants-les-parts-d-un-castell>

Inici. Ajuntament de Valls. (n.d.). <https://www.valls.cat/la-ciutat/noticies/7485-el-museu-casteller-de-catalunya-es-transforma-en-un-laboratori-amb-una-nova-exposicio-que-descobreix-els-secrets-de-la-ciencia-de-castells>

Mariné, M. (2024, May 28). *Ens transformem en un laboratori amb una nova exposició que descobreix els secrets de la ciència dels castells • museu casteller de catalunya • Valls*. MUSEU CASTELLER DE CATALUNYA · VALLS.

<https://museucasteller.cat/ens-transformem-en-un-laboratori-amb-una-nova-exposicio-que-descobreix-els-secrets-de-la-ciencia-dels-castells/>

RevistaCastells.cat. (1970, June 25). <https://revistacastells.cat/>

Risc de lesió en els castellers a partir del càlcul de l'energia potencial. Roset J, Cardús E, Honorato E, Saló JM. *Apunts. Medicina de l'Esport*. 1998; 34(129): p. 21-26.

Roset i Llobet, J. (2000). *Manual de Supervivència del Casteller: La ciència Al Servei de les Torres Humanes*. Edicions Cossetània.

Universitat Rovira i Virgili. (n.d.). *Web de la càtedra URV per a L'estudi del Fet Casteller*.
<https://www.urv.cat/ca/societat-empresa/catedres/catedra-urv-per-a-l-estudi-del-fet-casteller/>

Virgili, U. R. i. (n.d.). *L'Energia Potencial dels castells*. Castells de ciència.
<https://castellsciencia.urv.cat/ca/articles/7/l-energia-potencial-dels-castells>

ANNEXOS

ANNEX 1: Vocabulari casteller

A continuació trobareu un conjunt de paraules específiques del món casteller que utilitzaré en la redacció del meu estudi. Considero que és important tenir clar de què estem parlant en cada moment. Aquestes definicions provenen del diccionari casteller de termcat.

Conceptes i accions generals

Rengla/pilar: Qualsevol columna d'un castell. Un 5 de 9 té 5 rengles. A Valls i Tarragona se'n diuen pilars, no rengles. La rengla és només el pilar del tres que porta un dos a dalt ell sol, en canvi, l'altre dos posa un peu a cadascun dels altres dos pilars (al pilar de la dreta de la rengla o pilar de l'enxaneta i al pilar de l'esquerra de la regla o pilar de l'aixecador). Es diuen així perquè per ells és per on hi puja l'enxaneta i l'aixecador respectivament.

Carregar: Arribar, l'enxaneta, al capdamunt d'un castell, encavalcat damunt l'aixecador amb els peus sobre les espatlles dels dosos o damunt dels peus de l'aixecador.

Descarregar: Desfer un castell sense fer llenya, després d'haver-lo carregat.

Fer llenya: Caure, un castell, abans o després de carregar-se.

Intent desmuntat: castell que comença a pujar, però que abans de coronar es fa baixar per algun motiu i es desmunta sense caure. Es considera un intent a partir del moment que sonen gralles.

Peu desmuntat: quan una colla munta els primers pisos d'una construcció i abans que toquin gralles el desfà perquè no té bona mida. Té dret a tornar-ho a provar en la mateixa ronda.

Ronda: cada torn per fer un castell. Normalment les actuacions tenen tres rondes de castells i una de pilars al final.

Fer l'aleta: gest que fa l'enxaneta quan corona el castell que consisteix a aixecar el braç.

Fer la motxilla: moment més delicat d'un pilar. És quan l'enxaneta arriba a l'esquena de l'últim pis abans de coronar.

Donar pit: fer pressió a la pinya, empènyer, per assegurar que la pinya és compacta.

Parts del castell

Els castells normalment es divideixen en tres parts: la pinya, el tronc i el pom de dalt.

La pinya

La pinya és la base del castell. La seva funció principal és suportar l'estructura que es forma damunt seu, contrarestant els pesos i evitant deformacions. A més, actua com a element de seguretat, frenant possibles caigudes. Cada casteller que conforma la pinya té un rol i una posició específica, contribuint així a la cohesió i estabilitat del castell.



Foto 0.1. Construcció de la pinya (2016) Font: David Oliete

EQUIP DEL BAIX

Els baixos: són el primer pis del castell i la base fonamental sobre la qual es construeix tota l'estructura. La seva funció principal és suportar tot el pes del castell sobre la seva esquena, mantenint una postura sòlida i estable per garantir la seguretat i l'estabilitat del castell. Són essencials per assegurar que l'estructura no s'ensorri i per proporcionar una base ferma des de la qual es pugui alçar la resta del castell. Els baixos són normalment castellers amb una constitució robusta i una gran resistència física. Han de tenir força per aguantar el pes del castell, però també una bona postura i capacitat de resistència per mantenir-se en la mateixa posició durant tot el procés de construcció i desmuntatge del castell. Tot i això, no treballen sols, sinó que distribueixen el pes amb les crosses, els contraforts, entre d'altres.

Les crosses: per cada baix hi ha dues crosses. La seva principal funció és proporcionar suport lateral als baixos, evitant que aquests s'enfonsin pel pes del castell. Actuen com a punts de suport sota les aixelles dels baixos, ajudant a distribuir el pes de manera més uniforme i assegurant que els baixos puguin mantenir la seva posició estable.

Els contraforts (o "homes/dones del darrera" a Valls): proporcionen suport i estabilitat addicional als baixos. La seva funció principal és empènyer els baixos amb el pit, evitant que aquests caiguin cap enrere pel pes de l'estructura. Així, els contraforts asseguren que els baixos es mantinguin fermes i ben col·locats durant tota la construcció del castell.

EQUIP DE MANS

Les agulles: es situen en el centre de la formació del castell, davant dels baixos i de cara a ells, donant suport als castellers del segon pis, mentre sostenen els genolls d'aquests castellers. També pot comunicar les ordres del baix al segon o al revés.

Primeres mans: amb els braços enlairats ha d'agafar el segon per darrera el cul. La seva funció principal és intentar que, durant el castell, el segon no s'assegui més del convenient. Hi ha un primeres per cada rengla. El del seu darrera rep el

nom de segones mans, el següent terceres mans i així successivament. Per fer aquesta funció necessites ser bastant alt i tenir força als canells, perquè si deixes anar al segon aquest pot perdre l'equilibri i fer que el castell caigui.

Els laterals: es troben entre la crossa i el contrafort, fan doble feina: impedeixen que els del segon pis es desplacin cap al costat i reforcen a la crossa perquè no s'ensorri.

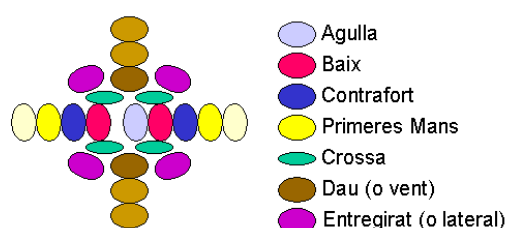


Foto 0.2. Il·lustració de la pinya d'un castell de 2.

Els daus: Van per fora i entremig de dos pilars, i posen una ma als segons de cadascun d'ells. La seva tasca principal és evitar el moviment lateral dels castellers del segon pis, assegurant que romanguin en la seva posició i contribuint a mantenir l'estabilitat de tot el castell, tot posant. Al Penedès i a Barcelona se'ls anomena "vents" i al Vallès "mà-i-mà".

Resta de la pinya: aquests castellers també tenen un ordre i posició específics, Una d'elles són les fileres de gent, que projecten cap enrere les files del primeres mans i dels daus. La resta segueixen algunes altres fileres, o bé omplen com si fossin maons entrelaçats els angles que queden entre filera i filera, a partir del lateral com a punta de llança, cap enrere. En conjunt són responsables de formar la base sòlida sobre la qual es construeix el castell. La seva tasca és donar suport als rols principals de la pinya, mantenir la cohesió del grup i assegurar que l'estructura es mantingui estable. A més, donen pit, ajudant a distribuir el pes de manera uniforme i garantint que el castell sigui equilibrat i segur. A mida que el castell creix, la pinya es va ampliant amb més membres, i aquests castellers es distribueixen de manera estratègica per assegurar la resistència i estabilitat de l'estructura.

En algunes construccions més elevades i difícils calen suports addicionals per sobre de la base: el folre i les manilles.

El folre i les manilles

Els castells consten d'una pinya, però s'hi pot afegir una altra pinya sobre la pinya principal que s'anomena folre. En alguns dels castells més difícils encara es pot afegir una tercera pinya, situada sobre el folre que s'anomena manilles. I en casos excepcionals es pot arribar a col·locar una quarta pinya sobre les manilles que es denomina puntals. Els folres i les manilles estan compostes per estructures igual que la pinya, però amb un nombre més reduït de gent, és clar, tot i que, en certs castells algunes posicions de la pinya no s'hi troben. A més, la pressió de pit és molt més suau, ja que han d'absorbir també el moviment global i no estan tocant el terra. En el cas de necessitar folres, la pinya de baix no posa els braços per sobre les espatlles sinó que els manté a baix agafant el casteller de davant.

Depenent de la preparació física de les colles o de com grans son hi ha castells que es poden fer amb folre o sense, un exemple seria el 4 de 9. Les grans colles fan aquest castell amb folre molt fàcilment, o més ben dit, sense patir gaire, en canvi, quan s'ha de fer net (sense folre) és un gran repte que comporta molt de sacrifici i esforç, que molts cops no es veu reflectit a plaça per culpa de la seva característica delicadesa.

El tronc

El tronc del castell s'estén des dels segons, on finalitza la formació de la pinya, folre o manilles, fins al pis anterior als dosos. A mesura que la construcció del castell creix en altura, també ho fa en quantitat de pisos i en nombre de castellers que pugen al tronc.

Segons: és el membre que sosté la pinya i proporciona una estabilitat essencial. Ha d'aguantar tot el pes del castell sense recolzament de cintura en amunt. Apareix en tots els castells, ja que el nombre mínim de pisos per a un castell reconegut és de 6 pisos i de 4 en els pilars. Quan el castell arriba als nou pisos o més, el segon compta amb l'ajuda del folre per fer front al pes del castell.

Terços: ha de tenir un gran equilibri per suportar els altres castellers que hi ha sobre ell i, alhora, mantenir-se dret. Aquest casteller també és present en tots els castells. Quan el castell ho requereix s'incorporen les manilles per ajudar-lo a suportar millor el pes. Si cal folre, ells seran els primers en veure's per fora.

Quarts: apareixen en castells de set pisos o més. Si calen manilles, ells seran els primers en veure's per fora sortir. En cas de necessitat de puntals, aquests col·laboren i tapen els quarts i llavors són els quintos els primers que es veuen.

Quints: són presents en castells de 8 pisos o més. Han de tenir un gran equilibri, ja que han de sostenir-se sobre quatre pisos sense ajuda. Molt sovint hi ha noies que fan aquest paper.

Sisens: normalment són tot noies, sisenes, o algun nen petit alt, ja que han de ser lleugers i tenir molt d'equilibri. Formen part de castells de 9 pisos o més.

Setens: representen el màxim pis al qual s'ha arribat en el tronc en un castell fins ara. Només apareixen en castells de 10 pisos, actualment considerats el límit en alçada d'el món casteller. Requereixen un equilibri molt semblant al dels quintos i sisens.

Pom de dalt

El pom de dalt se situa damunt del tronc i és la part més fràgil de tot el castell ja que està format per infants, normalment fins als 12-13 anys, encara que hi pot haver excepcions depenent de la complexitat del casteller. Està format per tres parts: els dosos, l'acotxador i l'enxaneta.

Dosos: sempre es col·loquen agrupats de dos en dos. En funció del tipus de castell, han de disposar-se amb les cames juntes o separades per millorar la seva estabilitat i facilitar la seva manipulació. Sempre ocupen la posició per sota de l'acotxador i l'enxaneta.

Acotxador (anomenat aixecador a Valls): Encara que la mida dels castellers durant tota l'estructura va disminuint, l'acotxador és més petit que l'enxaneta ja que sinó aquest últim tindria més problemes per travessar i li causaria problemes als dosos.

L'acotxador posa un peu a les espatlles de cada integrant dels dosos i es posa, com be diu el nom, acotxat. Ha de ser molt lleuger i hàbil per no causar dificultats durant l'arribada al pom de dalt.

Enxaneta: és el casteller que arriba a la màxima altura en un castell i l'encarregat de fer l'aleta, donant el castell com a carregat. Ha de ser hàbil i lleuger com l'acotxador.



Foto 0.3: Pom de dalt dels moixiganguers d'igualada. (2018) Font: Maria Grau

Aquests tots porten casc per qüestió de seguretat, una recomanació des de la Coordinadora de Colles Castellers de Catalunya (CCCC). Així si cauen tenen la seguretat de que si cauen no prendran mal, això pot influenciar psicològicament a l'hora de pujar.

Tipus de castells

Els castells es classifiquen segons la seva estructura i el nombre de pisos i castellers per pis. Es poden dividir en castells simples o compostos:

Castells simples

El tronc d' un castell pot ser format per diversos pilars segons el nombre d' homes que formen cada pis. Això permet diferenciar els castells d' estructura simple i els castells d' estructura composta, cada una de les quals representarà un lligat diferent en el pis de baixos i una distribució i col·locació distintes dels castellers del pom de dalt.

Pilar: els pilars són la base dels castells, consisteixen en una columna de castellers, amb només amb una rengla. Són especialment impressionants per la seva verticalitat i la coordinació necessària per mantenir l'equilibri. Actualment l'alçada màxima a la que s'ha arribat a carregar és de 9 pisos amb folre, manilles i puntals.

La torre o el dos: és un castell constituït per dos membres a cada pis. És un castells de molta dificultat perquè té molta inestabilitat lateral. Per tant, els membres d'aquests castells han de tenir molt d'equilibri. La torre que és considerada més difícil és la torre de vuit sense folre, altrament dita la bèstia indomable. És aquesta la seva dificultat que només l'han descarregat 3 colles. Aquest tipus del castell serà el protagonista de la part pràctica d'aquest treball de recerca.

El tres: és un castell amb ~~tres nivells, és a dir,~~ tres persones per pis. El castell més alt d'aquest tipus és el tres de deu amb folre i manilles. Encara que el més complicat és el 3 de 9 sense folre, només l'han pogut carregar dues colles en tota la història.

El quatre: és l'últim castell d'estructura simple i consta de quatre rengles. Per tant, podem dir que està format per un total de quatre castellers per pis. Els quatre homes que formen cada pis, no s' agafaran pels braços sinó pel turmell del casteller del lateral superior. El quatre més alt és el 4 de 10 amb folre i manilles.

Castells compostos

El castell d' estructura combinada el formen aquelles construccions integrades per la suma de dos o més castells d' estructura simple.

El cinc: Es forma amb un tres i un dos afegit al pilar de la rengla del tres. Inclou un pom de dalt per a la estructura de tres, un per a la de dos, i un únic enxaneta que coronarà ambdues construccions. El castell no es dona per carregat fins que es fa la segona aleta.

El nou: Consta d'un tres central, al qual s'afegeixen tres torres, una a cada rengla del tres. Aquest castell consta de nou persones per pis, sis dosos, tres acotxadors i tres enxanetes. Es considera carregat quan les tres enxanetes han fet les seves

respectives aletes. No és freqüent veure'l ja que es necessita molta gent per fer-se.

El Tres/ Quatre amb el Pilar o amb Agulla: aquests castells tenen la mateixa estructura que un tres normal però la diferencia és que mentre es va fent el tres, es va aixecant un pilar a dins del castell. Quan l'enxaneta ha coronat el castell exterior ha de baixar per la rengla i l'acotxador entra dins del pilar a fer d'enxaneta. Mentre el tres o quatre es va desmuntant el pilar es comença a veure i no es carrega el castell fins que l'exterior ha estat del tot desmuntat. Llavors el pilar interior s'ha de desmuntar per considerar-lo descarregat.

Castell aixecat per sota: són una modalitat de construcció de castells humans on les diferents parts del castell es van alçant progressivament des de la base fins a la part superior. Aquests castells són especials i requereixen una gran coordinació i força per part dels castellers per poder anar construint el castell des de sota, pis per pis. No obstant això l'enxaneta s'espera sobre un dels pilars i al costat del dos eixarrancat, i no remunta per a carregar el castell i fer l'aleta, fins que la resta està tot dalt. El castell després es descarrega de la forma normal, com els altres. No son gaire comuns de veure en grans diades.

ORIGINALS

Lesions traumàtiques dels castellers

J. Armengol i Santacreu

TRAUMATIC LESIONS IN "CASTELLERS"

This paper sets out to make a descriptive study of the principal acute traumatic lesions which arise out of the practice of "castellers" -building human castles or pyramids-, to establish the most characteristic lesions at each level of the pyramid and to define the possible mechanism by which these lesions are produced.

A hundred and one cases have been collected of accidents suffered, between September 1977 and October 1988, by members of the groups known as the "Bordegassos de Vilanova" and the "Castellers de Vilafranca", who received care in the Emergency Department of the area.

Analysis of the information gathered shows that 70.3 % of the cases correspond to trauma of slight prognostic import, the rest showing a serious or less serious prognosis. Of greater interest than this global analysis is the distribution of the lesions at the different levels of the castle or pyramid. It is seen that it is at the intermediate level and at the top that the majority of the injuries occur, although most of these (80.9 % and 73.3 %, respectively) are slight injuries; on the contrary, the number of injured at the lower levels is very low, only 5 cases in our sample group, but they are of a serious nature.

The lesions found in the "castle or pyramid builders" at the higher levels are various and correspond to those typical of falls, and they range from bruising in the least serious cases to fractures and head injuries. Among the people who make up the "peak" or "summit", injuries occur mainly in the upper limbs and the cervical region, these last lesions being produced by a mechanism of forced hyper-extension when the "castle" collapses at the moment when one of the "summit" group raises his head to see how the "castle" is developing.

The least frequent lesions are seen at the lower levels, and this is also where we see the best defined one of all: paralysis of the brachial plexus, mainly in its superior portion, and which is due to a mechanism of sustained compression, probably because of a faulty position of the feet on the shoulders of the man below.

Paravies claw:
Castells, Castellers. Lesions traumàtiques.

LESIONES TRAUMÁTICAS DE LOS "CASTELLERS"

Este trabajo pretende realizar un estudio descriptivo sobre las principales lesiones traumáticas agudas derivadas de la práctica "castellera", establecer las lesiones más características de los distintos pisos e intentar definir su posible mecanismo de producción. Se han recogido 101 casos de accidentes sufridos entre septiembre de 1977 y octubre de 1988 por miembros de las "colles dels Bordegassos" de Vilanova y los Castellers de Vilafranca, y que recibieron asistencia en los servicios de urgencias de los hospitales de la zona.

El análisis de la información recogida muestra que un 70,3 % de los casos corresponde a traumatismos de pronóstico leve, siendo el resto de pronóstico grave o menos grave. Mayor interés que este análisis global tiene la distribución de las lesiones en los diferentes pisos del castillo. Vemos que en los pisos intermedios y en la "pinxa" es donde se acumulan la mayor parte de los accidentados, pero la mayoría de ellos (80,9 % y 73,3 %, respectivamente) son traumatismos de carácter leve; por el contrario en los pisos inferiores el número de lesionados es muy bajo, tan sólo 5 casos en nuestra muestra, siendo todos de carácter grave. Las lesiones encontradas en los "castellers" que ocupan los pisos superiores son muy variadas, corresponden a las lesiones típicas por precipitación y van desde contusiones varias en los casos más leves hasta fracturas y traumatismos craneoencefálicos. En la gente que forma la "pinxa" los traumatismos afectan principalmente a la extremidad superior y el área cervical, lesión ésta que se produce por un mecanismo de hiperextensión forzada cuando el castillo cae en el momento en que algún miembro de la "pinxa" levanta la cabeza para ver la evolución del castillo.

La menor frecuencia de lesiones la encontramos en el piso más bajo, y es también en éste donde hemos observado la lesión del plexo braquial, que afecta fundamentalmente a su porción superior y que se debe a un mecanismo de compresión mantenida, probablemente por una mala posición de los pies de los "castellers" sobre el hombre que se encuentra abajo.

Ann Med (Barc) 1990; 76:149-153.

Introducció

Catalunya és un país ric en tradicions; entre totes elles, però, n'hi ha una, ben arrelada a la zona on es troba la

nostra comarca, que per la seva espectacularitat -barreja de tècnica i força, i amb un punt just de risc-, atreu de forma especial l'atenció de la gent: els castells.

Si bé la major part de les vegades els castells són carregats i descarregats sense gaires problemes, les coses no sempre són així, i una mala distribució de forces, un desequilibri o bé algú que no resisteix poden

Correspondència: J. Armengol i Santacreu.
C/Manuel Tomás, 5, 3r-2a.
Vilanova i La Geltrú.

TAULA I
Lesions traumàtiques

Traumatismes lleus	71
Contusions crànio-facials sense pèrdua de consciència	11
Contractures cervicals	9
Contusions toràciques	8
Contusions dorso-lumbars	18
Contusions sobre extremitats superiors	17
Contusions sobre extremitats inferiors	7
Ferides inciso-contuses	4
Fractures	11
Fractura de clavícula	2
Fractura del tròquiter humeral	1
Epifisiolisi del cap del radi	1
Fractura de Colles	2
Fractura del piramidal	1
Fractura de nasals	1
Fractures costals	3
Luxacions	5
Luxació escàpulo-humeral	3
Luxació de colze	1
Luxació coxo-femoral	1
Traumatismes cervicals	7
Commoció cerebral recuperada	3
Lesions de plexe braquial	3
Tendinitis dels rotadors	1

fer caure el castell. És d'aquestes possibles complicacions que sorgeix aquest treball.

La idea del treball és fer un estudi sobre les lesions traumàtiques agudes més freqüents derivades de la pràctica castellera; hem intentat establir les lesions més característiques segons el lloc que s'ocupa al castell i veure'n el possible mecanisme de producció. La patologia crònica que pogués derivar-se de la pràctica continuada dels castells (principalment en la gent que ocupa els pisos inferiors) queda fora d'aquest estudi. No es tracta, en absolut, d'arribar a cap conclusió definitiva sobre el tema, sinó simplement de dirigir l'interès cap a un camp poc treballat, i presentar unes dades epidemiològiques preliminars a partir de les quals es puguin plantejar posteriors estudis més concrets i de major profunditat.

Vocabulari casteller

El nom d'un castell ve determinat pel nombre de persones que hi ha a cada pis i el nombre de pisos que té. Així, d'un castell en el qual hi ha una persona a cada pis en diem un *pilar*, quan hi ha dues persones per pis en diem una *torre*, i a partir d'aquí l'anomenarem segons el nombre de persones que constitueixen cada pis (tres, quatre, etc.), afegint-hi al darrera el nombre de pisos que té el castell. Així tindrem, per exemple, el pilar de cinc, la torre de set, el quatre de vuit, el cinc de set, etc. Hi ha castells de denominació més complexa (castells amb agulla, aixecats per sota, etc.), però això, ara, no ve al cas.

Dintre del castell, cada pis té també el seu nom; a sota de tot hi ha els *baixos*, al seu damunt hi ha els *segons*, després vénen els *terços*, *quarts*, *cinquès*, etc., segons l'alçada del castell. Els tres pisos superiors són iguals en tots els castells excepte en els pilars, independentment del nombre de persones que hi hagi als pisos inferiors, i s'anomenen respectivament *dosos* (pel fet d'estar constituït per dues persones), *aixecador*, que es col·loca ajupit al damunt dels dosos, i *anxaneta*, dret sobre els dosos amb una cama a cada costat de l'aixeca-

dor, i que aixeca la mà per indicar que el castell ha estat carregat.

La resta de la gent constitueix la *piya*, element important, que dóna consistència a la base del castell i fa de copd en el cas d'una possible caiguda.

Material i mètodes

Hem recollit 101 casos d'accidents soferts durant exhibicions castelleres per membres de les colles dels Bordegassos de Vilanova i dels Castellars de Vilafranca i que van ser atesos als serveis d'urgències dels hospitals de la zona entre el setembre de 1977 i l'octubre de 1988.

Converses prèvies amb responsables d'ambdues colles ens van despertar l'interès sobre el tema, i ens van ajudar a situar el problema. La recollida de dades, pel que fa als Bordegassos de Vilanova, s'ha fet per accés a l'arxiu d'històries clíniques dels Hospitals de Sant Antoni Abat, de Vilanova i La Geltrú, i de Sant Camil, de Sant Pere de Ribes; pel que fa als Castellars de Vilafranca s'ha obtingut la informació a partir de les còpies dels informes d'assistència, que són als arxius de la colla. Posteriors contactes amb responsables de les colles ens han permès conèixer la situació que ocupaven els accidentats en el castell, i ens han orientat força a l'hora de comprendre el possible mecanisme lesional.

Resultats

Anàlisi global

Dels 101 casos recollits, 71 (70,3 %) corresponen a traumatismes banals o de pronòstic lleu (contusions, ferides contuses, contractures musculars, etc.) i els 30 casos restants (29,7 %) corresponen a lesions de major envergadura i de més llarga evolució (taula I).

Val a dir que només en tres d'aquests casos fou necessari l'ingrés hospitalari; es tractava d'un traumatisme crànio-encefàlic amb pèrdua de consciència, que va romandre 24 hores en observació, un cas de fractures costals múltiples (6-7-8-9 costelles D), que va estar 6 dies ingressat, i un cas de luxació coxo-femoral, que fou ingressat durant 23 dies. Tots els altres casos van poder ser atesos de forma ambulatoria. En tots els casos l'evolució ha estat favorable, i s'ha aconseguit la guarició sense seqüeles de les lesions sofertes, i tots han continuat fent castells un cop recuperats. De fet, 17 dels casos estudiats han requerit atenció mèdica a conseqüència d'accidents soferts fent castells en més d'una ocasió: 5 casos en dues ocasions, set en tres ocasions i cinc en quatre ocasions; això s'explica pel fet que certs castellers pugen amb molta més freqüència que d'altres, de manera que estan més predisposats a patir lesions.

Anàlisi per pisos

En un castell, cadascú té una funció concreta, i això comporta una situació i una manera de col·locar-se ben determinades. És així que, en cas d'accident, el tipus de lesió soferta pot ser diferent segons el lloc que s'ocupa al castell. En aquest apartat pretenem analitzar, pis per pis, els diferents tipus de lesió, i mirar d'explicar-ne el mecanisme de producció. Hem considerat quatre possibles situacions en el castell: la piya, els pisos inferiors (baixos i segons), els pisos intermedis (des de terços fins als dosos) i els pisos alts (dosos, aixecador i anxaneta).

El primer que podem veure és que la distribució dels accidents per pisos no és homogènia, sinó que hi ha

TAULA II
Distribució per pisos

Pinya 38 casos (37,6 %)
Lleus 28 (73,7 %)
Greus 10 (26,3 %)
Pisos inferiors 5 casos (4,9 %)
Lleus 0 (0,0 %)
Greus 5 (100 %)
Pisos intermedis 47 casos (46,6 %)
Lleus 38 (80,9 %)
Greus 9 (19,1 %)
Pisos alts 11 casos (10,9 %)
Lleus 5 (45,4 %)
Greus 6 (54,6 %)

TAULA III
Lesions en els pisos més alts

Contusions diverses	3
Contractures cervicals	1
Traumatismes crànio-facials	5
Fractures costals	1
Luxació coxo-femoral	1

molts més casos de lesió en persones que eren a la pinya o als pisos intermedis que no pas en les altres situacions (cal tenir present, però, que per exemple el que considerem com pisos superiors representen només 4 persones en cada castell, mentre que a la pinya n'hi poden haver més de 50). Més interès per això, però, té el fet de veure la proporció entre les lesions banals i les de pronòstic menys greu o greu a cada situació. Així, mentre que els pisos intermedis comprenen gairebé la meitat dels casos (46,6 %) però la seva major part (80,9 %) correspon a lesions lleus, en els pisos inferiors s'han recollit només 5 casos, d'entre els quals cap no podia ser considerat de pronòstic lleu (taula II).

1. Pisos més alts

S'han recollit 11 casos, que corresponen a nens d'edats compreses entre els 9 i els 13 anys. Les lesions observades es mostren a la taula III.

La contractura cervical va requerir la col·locació d'un collar ortopèdic durant 5 dies.

Dels 5 traumatismes crànio-facials, dos foren lesions banals (una ferida contusa al cuir pilós i una contusió cranial sense pèrdua de consciència); els altres foren de més importància: un traumatisme facial amb epistaxi i fractura dels ossos propis del nas, un traumatisme crànio-facial amb commoció cerebral recuperada, epistaxi anterior, ferides contuses diverses i pèrdua de peces dentàries, i, finalment, un traumatisme cranial que després de mitja hora lliure de símptomes presentà un episodi de vòmit i obnubilació progressiva fins a la pèrdua de consciència, que va motivar l'ingrés hospitalari, en fase d'agitació, amb desviació conjugada de la mirada i midriasi unilateral. L'episodi va cedir en pocs minuts i el malalt fou donat d'alta després d'estar 24 hores en observació sense haver presentat altra simptomatologia i essent normal tota l'exploració pràctica.

La luxació coxo-femoral és un altre dels pocs casos que ha requerit ingrés hospitalari, en aquest cas de 23 dies; la càrrega sobre l'extremitat lesionada fou autoritzada

TAULA IV
Lesions en els pisos intermedis

Cap i regió cervical	
Contusions crànio-facials sense pèrdua de consciència	7
Commoció cerebral recuperada	1
Contractures cervicals	4
(una de les quals va requerir la col·locació d'un collar cervical)	
Tronc	
Fractura de clavícula	1
Fractures costals	1
Contusions toràciques	4
Contusions dorso-lumbars	14
Extremitats	
Contusions sobre extremitat superior	6
Luxació escàpulo-humeral	1
Luxació de colze	1
Epifisiòlisi del cap del radi	1
Fractura del piramidal	1
Contusions sobre extremitat inferior	7

als 60 dies de l'accident, essent donat d'alta sense seqüeles i sense haver presentat, fins al moment, noves complicacions.

Podem veure que es tracta de lesions molt diverses i poc específiques. El mecanisme de producció és la precipitació, des d'una alçada variable que oscil·la al voltant dels 10 metres. Els traumatismes més importants es produeixen quan la caiguda del castell s'esdevé durant l'itinerari d'ascens o de descens dels nens, que reben d'aquesta manera al seu damunt la caiguda dels altres castellers. Una altra eventualitat, afortunadament poc freqüent, és que la caiguda del castell no sigui vertical, amb la qual cosa algun dels nens, que no estan subjectats, pot sortir disparat i anar a caure fora de la pinya; és en aquests casos excepcionals que s'han produït els accidents més greus.

2. Pisos intermedis

És, amb 47 casos, el grup que inclou el major nombre de lesions (46,6 %); val a dir, però, que també representa la major part de la gent que constitueix el castell, deixant de banda la pinya.

El mecanisme lesional en aquests casos és, com en el grup anterior, la precipitació, amb l'única diferència que ara l'alçada des de la qual es cau serà progressivament menor. En la gran majoria de les ocasions les lesions no arriben a ser prou importants per requerir assistència mèdica; de fet, dels 47 casos recollits que foren atesos en serveis d'urgències, 38 (80,9 %) eren lesions lleus, i només nou (19,1 %) presentaven un pronòstic pitjor.

El tipus de lesió observat és molt variable, com correspon a les precipitacions. Es tracta de traumatismes de diversa intensitat i de qualsevol localització (taula IV).

3. Pisos inferiors

Són, evidentment, els que suporten al seu damunt més pes. Hem inclòs en aquest grup dos pisos de característiques ben diferenciades: els baixos i els segons. Els baixos queden absolutament envoltats per la pinya, i són agafats per tots costats per tal de donar al castell una base sòlida. Els segons són els primers que sobresurten per damunt de la pinya, i aguanten sense altre suport tot el pes que tenen al damunt.

sions típiques de precipitació. Van des de contusions diverses en els casos més lleus fins a fractures o traumatismes crànio-encefàlics. La mort com a conseqüència d'un accident casteller és una eventualitat extremament excepcional.

En la gent que constitueix la pinya els traumatismes afecten fonamentalment l'extremitat superior i l'àrea cervical. Aquest últim tipus de lesió es produeix per un mecanisme d'hiperextensió forçada i podria evitar-se en molts casos, si els castellers de la pinya no aixequessin el cap per poder veure l'evolució del castell, pràctica molt habitual i que considerem difícil de modificar.

Els baixos són els que es lesionen amb menor freqüència, però són també els que presenten la lesió amb més entitat de totes les que hem recollit: la paràlisi del plexe braquial, lesió que ve determinada per un mecanisme de compressió mantinguda i que afecta fonamentalment la porció superior del plexe.

L'evolució de les lesions en tots els casos recollits ha estat favorable, arribant a la recuperació total i sense seqüeles. En cap cas la lesió no ha comportat l'abandó de la pràctica castellerà.

Resum

En aquest treball hem pretès fer un estudi descriptiu sobre les principals lesions traumàtiques agudes derivades de la pràctica castellerà, establir les lesions més característiques segons el lloc que s'ocupa al castell i mirar de definir el seu possible mecanisme lesional.

Hem recollit 101 casos d'accidents soferts durant el període comprès entre setembre de 1977 i octubre de 1988 per membres de les colles dels Bordegassos de Vilanova i Castellers de Vilafranca, i que van ser atesos als serveis d'urgències dels hospitals de la zona. L'anàlisi de la informació recollida ens mostra que el 70,3 % dels casos corresponen a traumatismes banals, de pronòstic lleu; la resta els podem considerar de

pronòstic menys greu o greu. Més interessant que aquesta anàlisi global és veure com es distribueixen aquestes lesions en els diferents pisos del castell. Així veiem que en els pisos intermedis i a la pinya és on s'acumulen la major part dels accidents, però la majoria (80,9 % i 73,3 %, respectivament) són de caràcter lleu; en canvi, en els pisos inferiors el nombre de lesionats és molt baix, en el nostre recull només 5 casos, però tots ells de caràcter greu.

Les lesions que trobem en els castellers que ocupen els pisos superiors són molt variades; corresponen a les típiques lesions per precipitació i van des de contusions diverses en els casos més lleus, fins a fractures i traumatismes crànio-encefàlics.

En la gent de la pinya, els traumatismes afecten fonamentalment l'extremitat superior i la regió cervical, lesió que es produeix per un mecanisme d'hiperextensió forçada, quan el castell cau, en el moment que algun membre de la pinya aixecava el cap per poder veure l'evolució del castell.

On trobem la menor freqüència de lesions és en els baixos, però cal dir també que és en aquest pis on trobem la lesió amb més entitat de totes les que hem recollit: la paràlisi del plexe braquial, principalment a expenses de la seva porció superior, i que es produeix per un mecanisme de compressió mantinguda, probablement per una mala col·locació dels castellers sobre les espatlles de l'home que es troba a baix.

BIBLIOGRAFIA

- Adams R, Victor M. Principios de Neurología. Barcelona, Editorial Reverté, 1984.
- Decoub P, Razemon JP. Traumatología clínica. 2a. ed. Barcelona, Toray-Masson, 1970.
- Dick PJ, Thomas FK, Lambert E, Borge R. Peripheral neuropathy. 2a. ed. Filadèlfa, WB Saunders Co., 1984.
- Jones W, Wilson JN. Fracturas y heridas articulares. 3a. ed. Barcelona, Salvat editores, 1981.
- Riesman G. Manual de Traumatología 4a. ed. Barcelona, Editorial Toray-Masson, 1984.

