

FÍSICA APLICADA AL BALLET

LA FÍSICA CLÀSSICA COM A EINA PER ENTENDRE I
MILLORAR LA TÈCNICA DELS ARTISTES



RESUMEN

Este trabajo es un análisis físico de los movimientos y posturas del ballet. He estudiado los equilibrios, los saltos, los giros y la interacción que se da en el *pas de deux* cuando hay más de una persona involucrada en el movimiento.

He aplicado las leyes de la física clásica a mi cuerpo y he encontrado donde tengo el centro de gravedad en distintas posiciones estáticas. Con esto, he podido calcular también los ejercicios dinámicos. Finalmente, ha quedado todo recopilado en vídeos que podréis encontrar enlazados con códigos QR. En estos podréis observar la física aplicada a la danza clásica.

ABSTRACT

This work is a physic analysis of the movements and positions of ballet. I have studied the balance, the jumps, the turns and the interaction that is done in the *pas de deux* when there's more than one person involved in the movement.

I have applied the classical physics laws to my body and I found where I have my gravity centre in different static positions. With that, I have also been able to calculate the dynamic exercises. Finally, everything has been collected in videos that you will be able to find linked as QR codes. In these you will be able to observe the physics applied to classical dance.

ÍNDEX

| | |
|--|-----------|
| Introducció | 5 |
| Marc teòric | 8 |
| L'equilibri estàtic | 8 |
| L' "en dehors" | 9 |
| Aplicació de forces en les posicions estàtiques del ballet | 11 |
| Aplicació de forces en els moviments individuals del ballet | 16 |
| Salts | 16 |
| Girs | 20 |
| Salts amb girs | 24 |
| Pas de deux | 26 |
| Equilibris | 26 |
| Girs | 27 |
| Salts i elevacions | 29 |
| Part pràctica | 31 |
| Introducció i objectius | 31 |
| Anàlisi quantitativa dels passos individuals del ballet | 32 |
| Equilibris | 32 |
| Càlcul de la posició del centre de gravetat en les principals posicions estàtiques | 32 |
| Moviments | 38 |
| Salts | 38 |
| Girs | 41 |
| Resultat: forces d'una coreografia individual descrites en un vídeo | 45 |
| Anàlisi quantitativa dels passos del pas de deux | 46 |
| Equilibris | 46 |
| Moviments | 47 |
| Salts | 47 |
| Girs | 47 |
| Resultat: forces d'un pas de deux descrites en un vídeo | 49 |
| Conclusions | 50 |
| Referències dels documents utilitzats | 51 |
| Annexos | 53 |

Introducció

Motivació, objectius i metodologia

MOTIVACIÓ

Des de ben petita que m'apassiona ballar. Practico dansa clàssica des que tenia quatre anys. Al llarg de tot aquest temps he descobert com de concret i de precís pot arribar a ser un moviment, sobretot quan aquest es troba dins les estrictes normes que dicta el ballet clàssic. Cada múscul ha d'estar exactament al seu lloc en el segon exacte, per donar el bell resultat que deixa el públic que l'admira, bocabadat. Però a més d'intentar executar amb la màxima perfecció els diferents moviments dins dels compassos de la música, la ballarina ha d'aconseguir transmetre i fer entendre a tota l'audiència la història que s'està narrant, sense paraules, amb el llenguatge universal de la dansa.

Aquesta cerca constant per assolir la perfecció tant tècnica com artística, actuant i transmetent, és el que més m'agrada d'aquesta art.

Aquesta gran admiració que tinc per la dansa és el que m'ha fet escollir aquest tema pel meu Treball de Recerca. Tenia claríssim que el volia fer sobre quelcom que em motivés i m'apassionés. No podria haver estat cap altre tema que el ballet.

Però, per què barrejar-ho amb física? Doncs perquè també desperta la meva curiositat. Sempre m'he preguntat el perquè de tot. Per què a la Terra no es flota com a l'espai? Per què quan enfonso la pilota a l'aigua surt disparada? Com ho fan els avions per poder volar? La resposta a gairebé totes aquestes preguntes té l'origen en la física. És per això que he volgut unir la meva passió amb la meva assignatura preferida. La idea definitiva, però, em va venir al cap quan fa un parell d'anys vaig veure un vídeo de l'actuació *Prototype* del ballarí Roberto Bolle en la qual, amb l'ajuda d'una projecció de fons, ell es movia i alhora anaven sortint a la pantalla els angles i les formes que dibuixaven els seus moviments. Va ser aleshores quan em vaig adonar que barrejar la física, les matemàtiques i la dansa podria ser interessant.

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest treball és descriure alguns dels moviments, passos i posicions del ballet clàssic a través de la física. Vull mostrar com de complexos i concrets poden arribar a ser els moviments d'aquesta disciplina i com tots tenen una base que és la física. Vull descobrir quines són les forces que actuen en aquest art. És evident però, que només podré treballar i descriure la tècnica, ja que intentar plasmar en paper la part artística és impossible i, des del meu punt de vista, una falta de respecte cap a aquesta disciplina, ja que és el que, en el fons, fa el ballet tan especial.

Altres objectius que em proposo són aprendre a fer un treball ben fet, a cercar i a destriar informació, saber aplicar els diferents coneixements que tinc i ampliar-los, tant en l'àmbit de la física com en l'àmbit del ballet. També vull crear i executar una coreografia, gravar-la i fer-ne un vídeo on s'expliquin les diverses magnituds físiques que hi actuen. Amb això vull aprofitar per ampliar també els pocs coneixements que tinc en audiovisuals.

Vull que l'estudi en profunditat dels moviments em serveixi per entendre'ls millor i amb això aconseguir executar-los amb més precisió.

METODOLOGIA

Un cop escollit el tema i assignada la tutora vaig iniciar la meva recerca. Vaig començar estudiant l'equilibri estàtic del cos humà i els centres de massa. Vaig informar-me sobre biomecànica per tal d'ajustar al màxim els resultats a la realitat. Va ser complicat trobar una taula de valors adients ja que els estudis sobre aquest tema són, la majoria, fets a cadàvers de gent gran o a homes, i no a dones joves com ara les ballarines.

Un cop vaig tenir la informació que necessitava sobre els centres de massa, vaig fer-me fotografies en les principals posicions estàtiques per tal d'analitzar-les i calcular-ne el centre de gravetat. Amb això vaig començar el marc pràctic.

Després vaig descriure els salts. Aquesta part va ser més senzilla ja que la cinemàtica d'aquests moviments l'havíem estudiada a l'assignatura de Física. Tot i això, va ser complicat trobar informació fiable i contrastada ja que gairebé ningú ha estudiat el ballet des del punt de vista de la física. Tot i així, buscant per internet vaig trobar un llibre anomenat *Physics and the Art of Dance: understanding movement* en què uns físics havien investigat sobre el tema. El vaig comprar i me'l vaig llegir. Em va ajudar molt perquè s'hi explica la física dels diferents

moviments de ballet els quals podia contrastar amb el llibre que ja tenia anomenat *The Classic Ballet* on s'explica detalladament l'execució dels diversos exercicis de dansa clàssica.

Seguidament, vaig informar-me sobre dinàmica i moviment rotacional. Aquesta va ser la part més complicada perquè es tracta de termes físics que no s'estudien a Batxillerat. Per sort, disposava d'uns llibres de física que la meva tutora m'havia deixat. Aleshores vaig poder explicar els girs.

Durant l'estiu vaig estar en uns cursos intensius de ballet a Barcelona on vaig ballar per primer cop en parella, allò que en ballet s'anomena *pas de deux* i vaig pensar de posar-ho també al treball. Sabia que aquesta tècnica existia, però, com que mai abans no l'havia practicada, no em veia amb cor d'incloure-la-hi. A més, no sabia com portar-la a la pràctica. Per sort, durant els mesos d'estiu vaig poder aprofundir-hi més ja que vaig estar treballant fent espectacles de dansa en hotels. Allà havia de ballar en parella, tot i que d'una manera més senzilla. Va ser aleshores que vaig conèixer en Jordi, el meu company de feina, que, evidentment, també balla i se'm va ocórrer incloure-hi definitivament aquest apartat ja que ara ja tenia solució al problema de com representar el *pas de deux* a la part pràctica. Li vaig demanar si em podria fer de *partener* per al meu TDR, i ho va acceptar. Al setembre vaig gravar els vídeos i aquest últim més els he editat. M'ha estat força complicat ja que desconec bastant com funcionen els programes d'edició que havia d'utilitzar per fer el que volia.

Mentre recopilava informació m'anava guardant els enllaços i les referències dels llibres per tal de facilitar-me la feina de cara a escriure la bibliografia.

Per últim, un cop he tingut el treball redactat, he escrit el resum i l'*abstract*, a més d'acabar d'explicar la metodologia.

Marc teòric

L'equilibri estàtic

El sentit de l'equilibri ens permet caminar, estar drets o fer posicions complicades sense caure. En el ballet l'equilibri és un dels termes més importants, no només per aguantar una estona llarga sobre les puntes, sinó perquè és la base de tots els altres moviments. Sense un bon equilibri és impossible girar, saltar o simplement caminar.

Físicament trobem l'equilibri descrit en el que es coneix com la llei de la inèrcia o primera llei de Newton. Aquesta ens diu:

“Tot cos continua en el seu estat inicial, ja sigui de repòs o de moviment amb velocitat uniforme, a menys que a sobre ell hi actuï una força externa.”

La condició d'equilibri estàtic d'un còps es pot expressar de la següent manera:

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$

La suma de forces (F) i de moments (M) ha de ser igual a zero. És a dir, que en estat d'equilibri totes les forces i moments que actuen sobre un cos es contraresten entre si. Per assolir-ho, la vertical que passa pel centre de gravetat del cos s'ha de projectar sobre l'àrea de suport. Si el cos s'allunya lleugerament de la posició d'equilibri, però segueix estant damunt la base apareixerà un moment restaurador i recuperarà la posició d'equilibri (Figura 1).

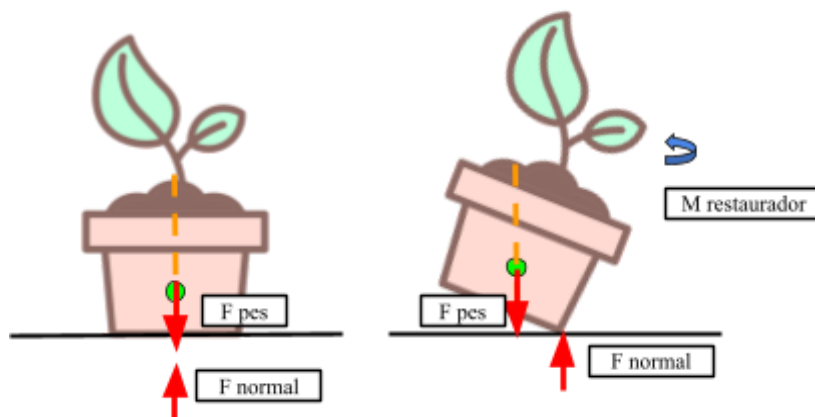


Figura 1. Projectió vertical del CDG i forces que actuen en un cos en equilibri.¹

¹ Dibuix propi.

No obstant això, si s'allunya molt, la projecció vertical del centre de gravetat pot anar a parar a fora d'aquesta àrea de recolzament. Aleshores no hi haurà moment restaurador i es perdrà completament l'equilibri, iniciant una rotació (Figura 2). Com més gran és l'àrea de suport més senzill serà mantenir l'equilibri. És per aquest motiu que aguantar l'equilibri sobre tota la planta és molt més senzill que fer-ho sobre les puntes on l'espai en contacte amb el terra es veu considerablement reduït. En el ballet, on l'àrea de suport és molt petita, el cas esmentat de la recuperació de la posició inicial d'equilibri no es dona gairebé mai.

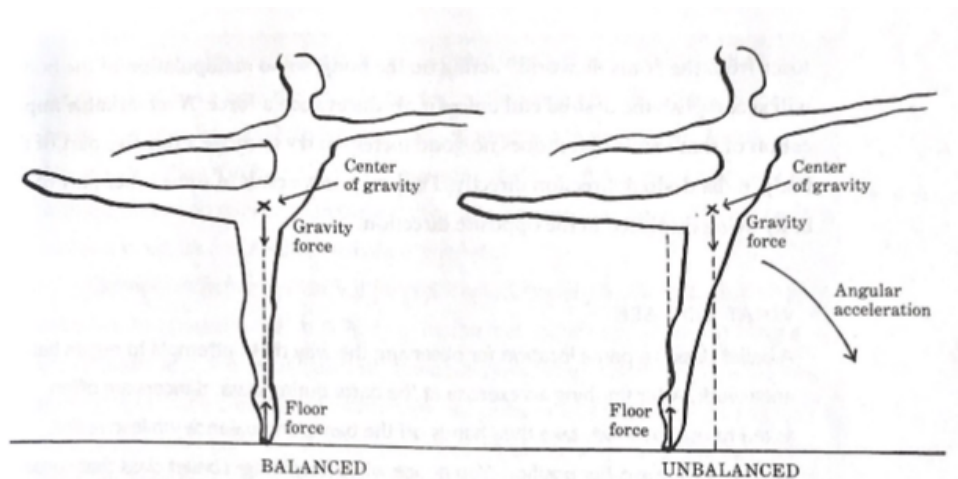


Figura 2. Projecció vertical del CDG sobre l'àrea de suport en una posició equilibrada i en una desequilibrada.²

En termes de ballet, la posició que millor permet mantenir l'equilibri i que es basa en aquesta llei és l'*en dehors*.

L' "en dehors"

El terme "*en dehors*" ve del francès i vol dir "cap enfora". Un bon *en dehors* juntament amb una bona postura és la base del ballet. Consisteix a fer una força interna constant de les cames cap enfora, rotant-les des de l'interior del maluc (Figura 3.0). És important que siguin els músculs els que facin aquest esforç, i que hi sigui present a tota la cama, des del cap del fèmur fins a la punta dels dits del peu, ja que si no es fa així, no s'aconsegueix mantenir l'equilibri. A més, si no es du a terme correctament, pot desencadenar un seguit de lesions a les articulacions, els tendons i els músculs.

² Font: Laws, K., & Sugano, A. (2008). *Physics and the Art of Dance: understanding movement* (2.a ed.). Oxford University Press.

És fonamental que el cos estigui alineat, ja que si no ho està es perd l'equilibri (Figura 3.1 i 3.2). El treball muscular s'ha de centrar a buscar l'estabilitat, sobretot del tors i dels malucs.



Figura 3.0. Forces musculars en l'*en dehors*.³



Figura 3.1. Posició correcta del tors (esquerra) i incorrecta (dos figures de la dreta).⁴

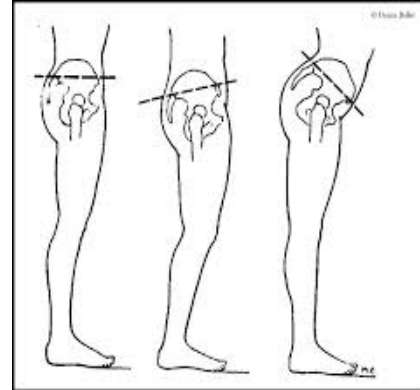


Figura 3.2. Posició dels malucs correcta (esquerra) i incorrecta (dos figures de la dreta).⁵

Però, per què cal una posició tan complicada per mantenir l'equilibri si en la posició natural de les cames ja ens aguantem drets? La resposta es troba en l'anatomia del cos humà. Només amb un correcte *en dehors* és possible elevar les cames a una certa altura, fer salts oberts i girar còmodament. El cos humà està dissenyat de tal manera que només en aquesta rotació de la cama, la podrem pujar, llançar o aguantar en un angle de més de 90°.

Control muscular de l'*en dehors*:

Els músculs de l'abdomen i de l'esquena, els glutis i les cuixes són els músculs més importants per aguantar l'equilibri; són la base i el centre de control de la resta del cos.

La lleugera tensió que es crea en estirar-los correctament dona llibertat a tota la part superior del cos per moure's sense perdre l'equilibri.

Aquest control, a la llarga i amb pràctica, es fa de manera gairebé inconscient per part del ballari o ballarina. Aquesta base és el que permet ballar.

Des del punt de vista de la física, aquest control està constituït per les forces internes. Aquestes han de resultar en una força total nul·la per tal de mantenir el centre de gravetat del cos en la vertical de la base de recolzament i així aconseguir l'equilibri.

³ Font (modificada): Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

⁴ Font: *En ballet pelvis neutra, si o si*. (2021, 18 octubre). Body Ballet. <https://www.bodyballet.es/pelvis-neutra-si-o-si-ballet-adultos-carolina-de-pedro/>

⁵ Font: *La buena colocación en la danza clásica*. (2012). Danza ballet blog. <http://www.danzaballetblog.com/2012/11/la-buena-colocacion-en-la-danza-clasica.html>

Aplicació de forces en les posicions estàtiques del ballet

L'abdomen, els glutis i les cames (sobretot l'adductor i el sartori) són el centre de control principal de la posició correcta del ballari o la ballarina. Ara bé, físicament com es podria descriure la força que fa cada múscul del cos en cada una de les posicions de ballet?

En les posicions estàtiques en les quals es requereix mantenir l'equilibri és important conèixer la posició del nostre centre de gravetat per poder-la modificar segons ens convingui. També les diferents forces que hi actuen.

Centres de gravetat i les principals posicions estàtiques

Per poder descriure físicament les diferents posicions de ballet, he considerat el cos humà com un model de segments cilíndrics per poder-ne simplificar els càlculs dels diferents centres de masses.

M'he basat en la taula de paràmetres inercials proposada per Zatsiorsky i Seluyanov (1990), ja que és el que recull les dades biomètriques del tipus de cos més semblant al que m'interessa estudiar, el d'una dona jove i atlètica com és el d'una ballarina.

Per trobar les coordenades del centre de massa d'un segment (Figura 4):

- en l'eix x $\rightarrow X_{CM} = Xp + \% (Xd - Xp)$
- en l'eix y $\rightarrow Y_{CM} = Yp + \% (Yd - Yp)$

Essent Xp i Yp el punt proximal (més proper al cos) i Xd i Yd el punt distal (més cap enfora del cos) de cada segment.

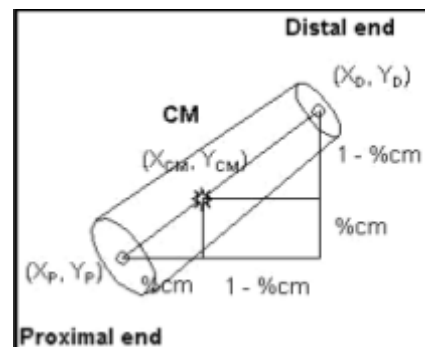


Figura 4. Esquema del càlcul del CM.⁶

La posició del centre de gravetat de tot el cos és el resultat de fer el sumatori de les masses dels diferents segments multiplicat per la distància del seu centre de masses respecte del corresponent eix de coordenades dividit pel pes total del cos. Es pot expressar amb la següent fórmula:

$$X_{CM} = \frac{\Sigma(m \cdot x)}{M} \quad Y_{CM} = \frac{\Sigma(m \cdot y)}{M}$$

⁶ Font: Center of Mass (2000). Exss 323 Center of mass lab.
http://oregonstate.edu/instruct/exss323/CM_Lab/Center%20of%20Mass.htm

La següent taula mostra on es troba el centre de massa i la massa de les diferents articulacions segons Zatsiorsky i Seluyanov (1990):

| Segment | Punt proximal - distal | Centre de masses | Massa |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|
| | | (%) | (%) |
| Mà dreta | Canell - dit del mig | 74,74 | 0,56 |
| Avantbraç dret | Colze - canell | 45,59 | 1,38 |
| Part superior del braç dret | Espatlla - colze | 57,54 | 2,55 |
| Mà esquerra | Canell - dit del mig | 74,74 | 0,56 |
| Avantbraç esquerre | Colze - canell | 45,59 | 1,38 |
| Part superior del braç esquerre | Espatlla - colze | 57,54 | 2,55 |
| Peu dret | Taló - dit gros | 40,14 | 1,29 |
| Tou de la cama dreta | Genoll - turmell | 43,52 | 4,81 |
| Cuixa dreta | Maluc - genoll | 36,12 | 14,78 |
| Peu esquerre | Taló - dit gros | 40,14 | 1,29 |
| Tou de la cama esquerra | Genoll - turmell | 43,52 | 4,81 |
| Cuixa esquerra | Maluc - genoll | 36,12 | 14,78 |
| Tronc | Espatlla - maluc | 37,82 | 42,58 |
| Coll + cap | Cap - espatlla | 48,41 | 6,68 |
| Cos sencer | - | - | 100 |

Taula de paràmetres inercials proposada per Zatsiorsky i Seluyanov (1990)

En la Figura 5 es veu representada la posició dels centres de massa dels diferents segments. Aquests es troben al % que indica la taula anterior de la mida total de la secció. Es comença a comptar des de l'articulació més propera al centre del cos (punt proximal).

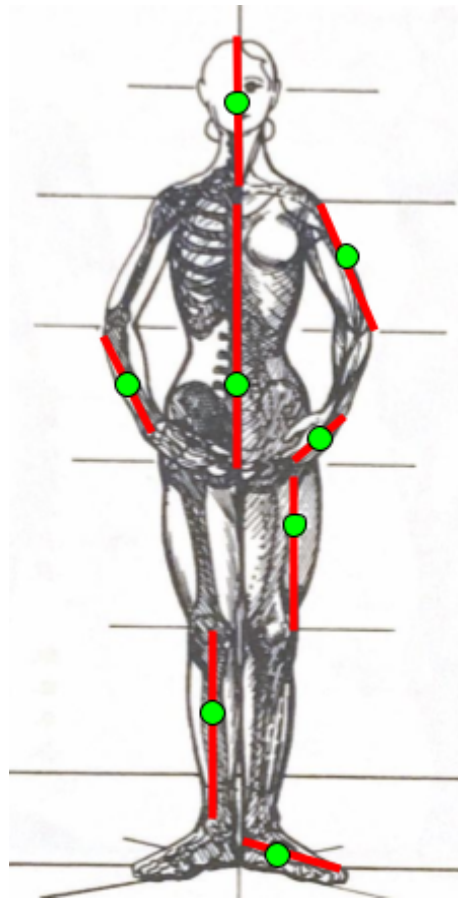


Figura 5. Localització dels CM dels diversos segments.⁷

Les 5 posicions bàsiques

La majoria de moviments de ballet comencen i acaben en aquestes posicions. (Figura 6)

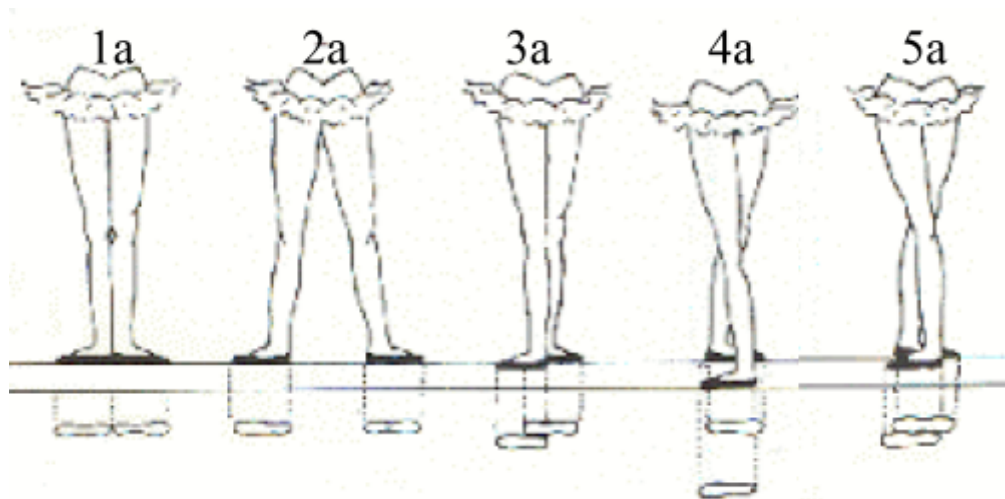


Figura 6. Posició dels peus en les posicions bàsiques.⁸

⁷ Font (modificada): Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). The Classic Ballet. Alfred A. Knopf.

⁸ Font: :: ELITE :: Escuela de Arte y Danza

<http://www.elitearteydanza.com.ar/enciclopedia-posiciones-de-los-pies.htm>

En totes elles, el centre de gravetat ha de quedar centrat entre els dos peus. Les cuixes i els glutis han d'estar premuts. S'ha d'amagar l'abdomen i aixecar el diafragma. Els genolls han de seguir la mateixa direcció que la punta dels dits del peu. Les espatlles han d'estar relaxades, sense tensió. Els braços han d'estar lleugerament arrodonits i una mica separats del cos, els colzes no poden caure (es trencaria la forma). El coll tampoc pot estar tensat, s'ha de poder moure amb llibertat.

➤ 1a posició

Els talons es toquen i les puntes dels peus formen un angle de 180° formant-se així una línia recta.

➤ 2a posició

És semblant a la primera posició però en aquesta els talons es troben separats una distància aproximada d'un peu.

➤ 3a posició

S'utilitza molt poc i normalment per part de persones que encara n'estan aprenent. Les puntes dels peus miren cap enfora, un dels dos talons queda lleugerament per davant de l'altre.

➤ 4a posició

És una de les posicions més usades en la preparació dels girs. Els peus, amb les puntes dels dits mirant cap enfora, es troben l'un davant de l'altre amb una separació aproximada d'un peu (col·locat perpendicularment) entre ambdós. Les puntes dels dits i els talons han de formar un quadrat.

➤ 5a posició

Es col·loca un peu davant de l'altre de manera que queden junts i els dits d'un toquen el taló de l'altre.

Altres posicions estàtiques

➤ *Passé*

A vegades també l'anomenen *retiré*. Consisteix a aguantar-se sobre una cama mentre l'altra està doblegada a l'alçada del genoll, tal i com es mostra a la Figura 7.

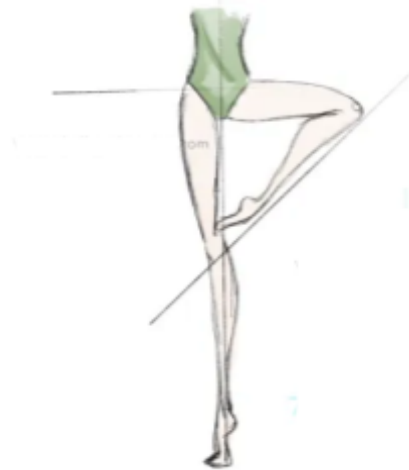


Figura 7. Dibuix de la posició *passé*.⁹

➤ *Arabesque*

És una de les posicions més característiques i conegudes del ballet. Consisteix a aguantar-se sobre una cama mentre l'altra està estesa endarrere (Figura 8).

Es diferencien quatre *arabesques* segons la posició dels braços, del cos i de la cama que s'eleva respecte del públic. Però, bàsicament, tots són la mateixa postura.

Per executar correctament un *arabesque* els músculs han de fer força aguantant el tors amunt en la posició més vertical possible i l'esquena s'ha d'arquejar per tal de pujar la cama. Els malucs no poden torçar-se i les espatlles no es poden arronsar.

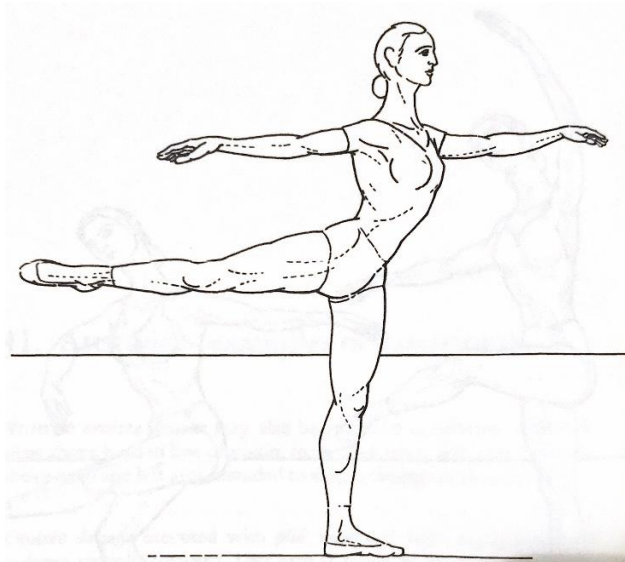


Figura 8. Dibuix de la posició *arabesque*.¹⁰

⁹ Font: King, B. D., Weldon, B. E., & Ashley Lorraine Baker, B. A Ballet Education | An education in ballet, it's not just tutus and tiaras. A Ballet Education. <https://aballeteducation.com/>

¹⁰ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). The Classic Ballet. Alfred A. Knopf.

Aplicació de forces en els moviments individuals del ballet

Salts

Els salts són moviments molt freqüents en el ballet. Hi ha una diversitat molt gran de salts, però tots segueixen la 3a llei de Newton, principi d'acció-reacció:

“Sempre que un cos exerceix una força sobre un altre, aquest segon cos exerceix una força igual i de sentit contrari sobre el primer”

Matemàticament es pot expressar de la següent manera: $F_1 = -F_2$

La força que fa el ballari o la ballarina contra el terra amb l'objectiu d'impulsar-se cap amunt és la mateixa força que rep de terra, motiu pel qual aconseguen saltar.

L'altura del salt depèn de la força vertical exercida sobre el terra.

En el ballet, el moviment que permet obtenir la força i impulsar-se s'anomena *plié* (Figura 9), i consisteix a doblegar els genolls de la mateixa manera que es comprimeix una molla.

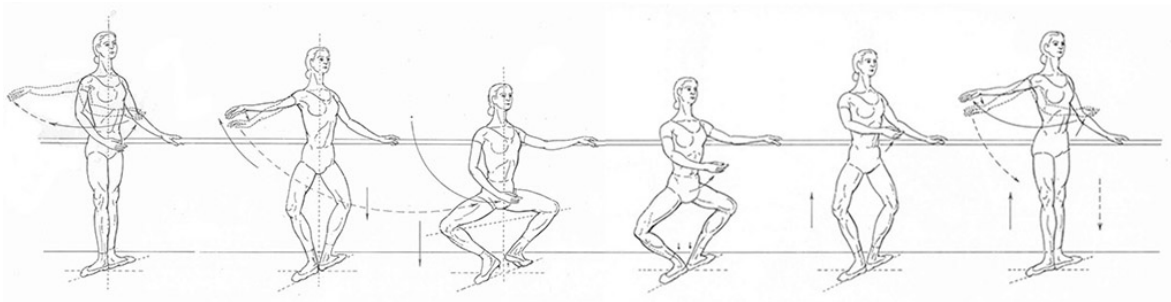


Figura 9. Progressió del moviment *plié*.¹¹

Com més profund és el *plié* més força es pot exercir i més potent i alt és el salt o el moviment que vingui a continuació. L'energia dels músculs en tensió es converteix primer en energia cinètica i després, en energia potencial quan el ballari arriba a la màxima altura. Aquest moviment que a priori pot semblar molt senzill és estudiat i treballat a consciència pels ballarins; és el primer moviment que es fa a la barra. S'ha de fer correctament en totes cinc posicions bàsiques.

¹¹ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

Després de l'impuls, un cop a l'aire, segons el salt es poden descriure diferents trajectòries: una caiguda lliure, quan el salt és sense desplaçament horitzontal, o un moviment parabòlic, quan hi ha desplaçament horitzontal. També hi ha salts que es fan girant i que, per tant, barregen la caiguda lliure amb la dinàmica dels girs. Aquests últims seran estudiats en un altre apartat d'aquest treball.

Un cop acabat el salt, per tal d'absorbir l'energia i evitar lesions, es torna a fer un *plié*.

➤ Salts amb caiguda lliure

Hi ha una varietat molt gran de petits salts verticals. Alguns d'aquests són el *sauté*, el *changement de pieds*, l'*échappé*, el *temps levé*, l'*assemblé*, l'*entrechat quatre*... Es diferencien entre ells pel moviment que fan les cames un cop a l'aire. Per aquests motius els analitzarem plegats, ja que per a l'estudi físic la variació és mínima.

El moviment de caiguda lliure és el moviment d'un cos sota l'acció del camp gravitatori. Es pot considerar un moviment rectilini uniformement accelerat (MRUA) en el qual l'acceleració és la força de la gravetat.

$$y = y_0 + v_0 \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$v = v_0 + g \Delta t \quad v^2 = v_0^2 + 2g \Delta y$$

Quan el ballarí s'enlaira ho fa a una elevada velocitat inicial que va perdent al llarg del trajecte a causa de l'acceleració negativa de la gravetat fins al punt de quedar-se sense velocitat. En aquests moments es troba a l'altura màxima del salt i, per un instant, en equilibri fins a tornar a caure. Quan descendeix la seva velocitat inicial és nul·la, però a mesura que baixa en va guanyant a causa de la força de la gravetat.

En la Figura 10.0 podem veure quin és el procediment per fer un *sauté* en primera posició.

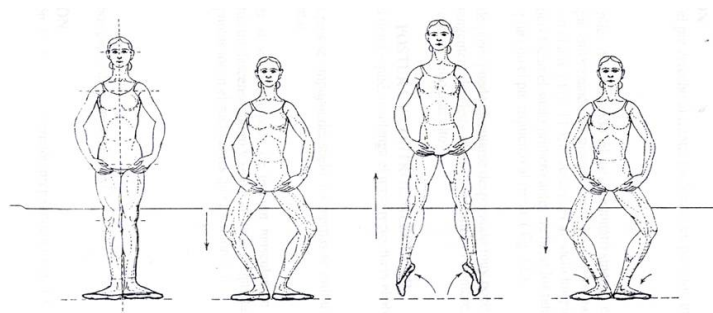


Figura 10.0. Progressió d'un salt (*sauté*).¹²

¹² Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

En la Figura 10.1 es mostra un *entrechat quatre* i en la Figura 10.2 un *échappée*

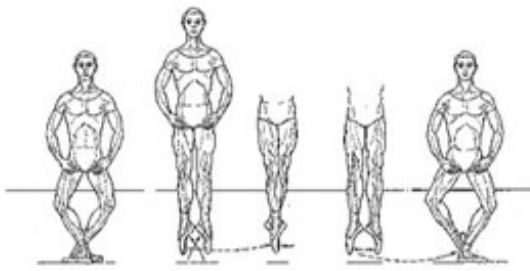


Figura 10.1. Salt *entrechat quatre*.¹³

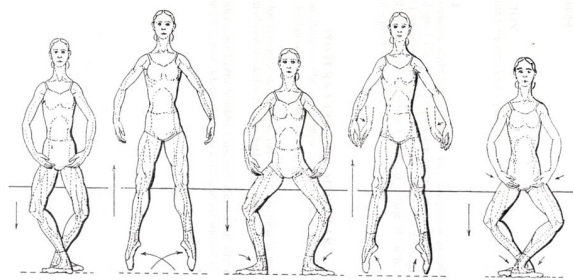


Figura 10.2. Salt *échappée*.¹⁴

➤ Salts amb moviment parabòlic

Els dos salts que millor representen el moviment parabòlic són el *grand jeté* i el *grand pas de chat* (Figura 11). Consisteixen en un salt amb les cames obertes, fent un *spagat* (posició de cames obertes) a l'aire. La diferència entre ells és mínima i per l'estudi físic, gairebé nul·la.

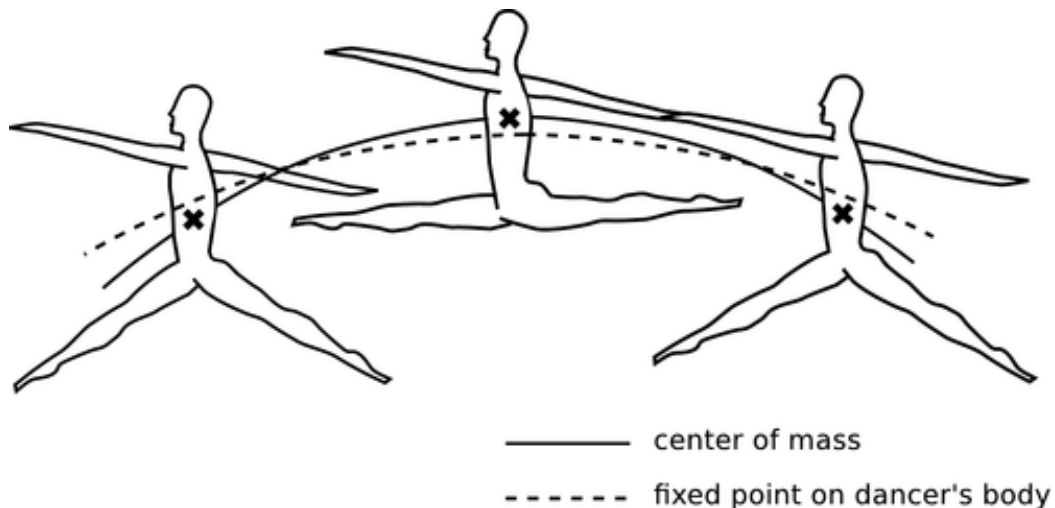


Figura 11. Dibuix de la paràbola que fa el CM en el salt *grand pas de chat*.¹⁵

La preparació més típica per executar aquest pas són un seguit de petits salts (*tombé, pas de bourrée, glissade...*) l'objectiu dels quals és aconseguir una elevada velocitat horitzontal per tal de desplaçar-se durant el salt.

Per iniciar el desplaçament quan el ballari o ballarina es troba en una posició estàtica d'equilibri cal que amb la força muscular trenqui aquest equilibri, obtenint així l'acceleració que necessita en la direcció que desitja. Sovint el que es fa és desplaçar el centre de gravetat fora de l'eix. El

¹³ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

¹⁴ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

¹⁵ Font: Biomechanics of the Grand Jeté. A Google Sites.

<https://sites.google.com/site/icgrandjete/science-of-grand-jete>

ballarí o ballarina també s'aprofita del terra per desplaçar-se fent ús de la tercera llei de Newton. La força d'acció la fa el peu i la reacció l'exerceix el terra a través de la força de fregament.

Cap al final de la preparació se sacrifica una mica de la velocitat horitzontal obtinguda per tal d'impulsar-se verticalment amb l'objectiu de guanyar velocitat vertical per elevar-se. En aquest moment l'angle en enlairar-se determina la distribució de les dues velocitats (l'horitzontal i la vertical) i, per tant, la trajectòria del salt. Es calcula que l'angle òptim es troba entre els 28° i els 30° (Kalichová, M. 2011). És en l'enlairament que les cames comencen a obrir-se. La cama del davant s'ha d'eleva fins als 90° respecte de la vertical del cos, i la de darrere és la que dona l'impuls. El valor de la velocitat inicial pot variar molt segons diferents factors com la força que s'exerceix contra el terra o el moviment que s'ha fet anteriorment (no és el mateix iniciar el salt des del repòs que ja en moviment, ja que això últim implica ja una velocitat i una inèrcia).

Durant el salt, el centre de gravetat del ballarí o la ballarina descriu un moviment parabòlic. Un cop a l'aire ja no és possible modificar-ne la trajectòria. Al moment d'enlairar-se, la cama del darrere que ha fet l'impuls també s'eleva quedant així les dues cames obertes en un *spagat*.

En el moviment parabòlic la velocitat horitzontal no varia; només ho fa la vertical que disminueix fins a ser nul·la en el punt més elevat i després torna a augmentar. Per calcular-lo cal tenir en compte els dos eixos (x i y) i les seves respectives fórmules cinemàtiques.

Eix x → Moviment rectilini uniforme (MRU)

$$x = x_0 + v \Delta t$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Eix y → Moviment rectilini uniformement accelerat (MRUA)

$$y = y_0 + v_0 \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$v = v_0 + g \Delta t$$

$$v^2 = v_0^2 + 2g \Delta y$$

Girs

Són molts els moviments de ballet en els quals el cos gira al voltant d'un eix vertical, sovint sobre una sola cama. Els girs poden ser en *passé*, en *arabesque* o *attitude*¹⁶, en *dehors*¹⁷, en *dedans*¹⁸... En el ballet els girs s'anomenen *pirouettes*.

Les *pirouettes* descriuen un moviment de rotació sobre l'eix del cos. Per crear una rotació des del repòs cal crear un parell motor o moment (M). Es tracta de dues forces horitzontals paral·leles amb sentits contraris, separades per una certa distància. És el producte vectorial d'una força per una distància

$$M = F \times r$$

Com més separades es troben les forces respecte de l'eix de rotació, major parell generen. Per això començar un gir des de la cinquena posició (els peus es toquen) és més difícil que des de la quarta (els peus estan separats).

Per crear les forces que formen el parell cal una certa interacció amb el medi. En el ballet trobem principalment dos elements que ens permeten crear-lo: el terra i el *partner* (la parella) en el *pas de deux*.

En aplicar un moment de gir es genera una acceleració angular (α) que produeix un moment angular o també anomenat cinètic (L).

Teorema de la conservació del moment angular

“El moment angular o cinètic d'un sistema de partícules es conserva constant si la resultant dels moments de les forces exteriors és zero”

Pel teorema de la conservació del moment angular, aquest només pot variar si existeix un parell extern actuant-hi. Un cop en moviment, no hi ha manera de canviar-lo a base de variar la posició. Per aquest motiu, la força per agafar el gir acaba quan un dels dos peus, normalment el del darrere, deixa de tocar el terra i la cama de suport puja a *relevé*¹⁹ (punta o mitja-punta): moment en què la superfície de contacte es redueix.

¹⁶ Posició semblant a la de l'*arabesque*, però en aquest cas la cama es troba lleugerament doblegada.

¹⁷ El sentit del gir és cap enfora, cap al mateix sentit que la cama que es troba a l'aire.

¹⁸ El sentit del gir és cap endins, cap al sentit contrari de la cama que es troba a l'aire.

¹⁹ Significa que la posició executada es fa de puntetes i no sobre tota la planta

El moment angular (L) en el moviment de rotació és l'anàleg al moment lineal o quantitat de moviment ($p = m \cdot v$) en el moviment de translació rectilínia. Queda descrit en la fórmula: $L = I \cdot \omega$, on I és el moment d'inèrcia i ω , la velocitat angular. El moment d'inèrcia (I) representa l'oposició al moviment. Depèn de la distribució de la massa en el cos i de la seva distància a l'eix de rotació.

És molt comú que els ballarins i ballarines s'ajudin dels braços a l'hora de girar. Durant la preparació es troben estesos i mentre s'eleva en *relevé* es tanquen i giren en conjunt amb la resta del cos. Això provoca un augment en la velocitat del gir. Aquest fet s'explica físicament pel principi de conservació del moment angular:

$$\Delta L = 0 \rightarrow I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$$

Si considerem el cos com un cilindre aleshores $I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$, és a dir:

$$\frac{1}{2} m \cdot r_1^2 \cdot \omega_1 = \frac{1}{2} m \cdot r_2^2 \cdot \omega_2$$

Com que $\Delta L = constant$, i m és sempre el mateix valor, quan la distància de les masses del cos respecte de l'eix de rotació disminueix (i per tant disminueix la inèrcia), per mantenir la magnitud del moment angular, la velocitat augmenta. Passa al contrari quan els braços o alguna altra part del cos s'allunya d'aquest, per mantenir constant el valor del moment angular, la velocitat disminueix.

La rapidesa amb la qual es passa de *plié* a *relevé* és també un factor important a l'hora d'obtenir velocitat per girar ja que, el moment angular augmenta com major sigui el temps en què s'ha aplicat el parell, tal i com ens diu la fórmula de l'impuls angular:

$$\Delta L = M \cdot \Delta t$$

Per tal d'allargar la durada de l'aplicació del parell, el ballarí o la ballarina ha de fer un *plié* profund.

El més important, però, per dur a terme qualsevol tipus de gir és l'equilibri. El ballarí o la ballarina ha de ser capaç de mantenir la posició ja que si no, en girar múltiples vegades, qualsevol petita descol·locació podria portar a un descontrol del moviment.

Així doncs, per dur a terme una seqüència de *pirouettes* en la qual vulguem fer molts girs, haurem de tenir en compte que, tot i que anteriorment hem dit que a més distància entre els dos

peus més parell es crea i per tant més velocitat i més girs, si fem una posició massa oberta el nostre centre de gravetat es trobarà desplaçat i assolir un correcte equilibri ràpidament serà molt més complicat. Per tant, cal trobar un punt entremig. A la pràctica queda demostrat que una *pirouette* és més eficient si en la preparació del gir $\frac{2}{3}$ parts del pes del cos es troben sobre la cama del davant, la qual posteriorment farà de cama de suport, i el $\frac{1}{3}$ del pes restant, a la cama de darrere, de manera que el centre de gravetat queda més proper al seu futur eix de rotació.

Amb tot això, considerant que el ballarí o la ballarina és capaç de mantenir-se en equilibri, que crea un bon moment angular i s'ajuda dels braços per augmentar la velocitat, el cos girarà com un únic bloc fins a perdre tota l'energia a causa de la força de fregament amb el terra.

Quan es vol aturar el gir, el peu baixa del *relevé* de manera que hi ha més espai en contacte amb el terra i, per tant, la força de fricció augmenta. Els braços s'estenen, fet que disminueix la velocitat angular que queda. Coordinant aquests dos moviments es frena i es controla la direcció i la posició en què es vol acabar.

➤ *Fouettés*

Els *fouettés* són un tipus de girs *en dehors*, és a dir que el sentit del gir és en contra de la cama de suport (és a dir, si la cama base és l'esquerra, es gira cap a la dreta i a l'inrevés), en que es fa una petita pausa després de cada volta per tal de poder crear una nova empenta i poder-ne fer més sense que el fregament tingui temps d'aturar el moviment. Aquests girs es fan normalment en gran quantitat. A tots els ballets clàssics hi ha, com a mínim, una sèrie de 32, 64, o a vegades fins i tot més girs d'aquest estil. Però, què és el que permet a la ballarina fer tants *fouettés*?

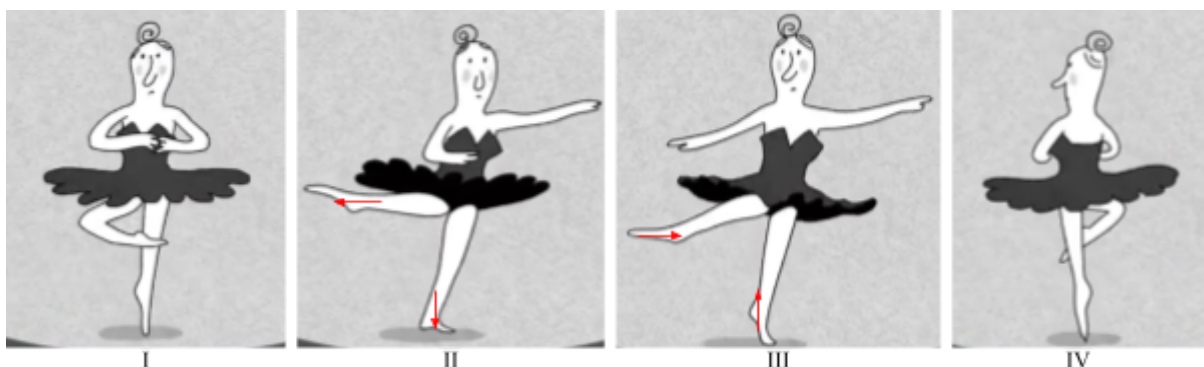


Figura 12. Procés d'un *fouetté*.²⁰

²⁰ Font (modificada): The physics of the «hardest move» in ballet - Arleen Sugano. (2016, 22 març). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=I5VgOdgptRg>

El mecanisme és el següent: quan s'està perdent velocitat s'estén la cama i els braços al costat (*a la seconde*), allunyant-los de l'eix de rotació. Mentre s'estenen, la cama base baixa de la punta per fer un *plié*, això permet crear un nou parell, gràcies a la força que es fa contra el terra, i generar el moment angular necessari per compensar la desacceleració a causa de la fricció. Quan aquest procés s'ha completat, la cama torna a la posició de *passé en relevé* (de puntetes) inicial i els braços tornen a tancar-se. Amb això s'acosten més a l'eix de rotació, guanyant o mantenint així la velocitat a causa del principi de conservació del moment angular esmentat anteriorment i la següent revolució de gir comença. Això es va repetint successivament.

A més a més, un altre dels factors que permet fer molts *fouettés* és que la cama que es va estenent i ajuntant no para mai. D'aquesta manera està variant constantment el moment d'inèrcia, i per tant, la velocitat. És com si s'estigués emmagatzemant part del moment (L) del gir que es traspasarà a increment de velocitat en apropar la cama cap al cos.

➤ El *manage*

Els girs, els salts i qualsevol altre moviment amb el qual es pugui dur a terme un desplaçament (moviment de translació) es poden fer en *manage*. Quan es fa un *manage* el que s'està fent és un recorregut en cercle, és a dir, es descriu una trajectòria circular al volt de l'escenari, anàleg a un moviment circular uniforme.

En el *manage* l'acceleració normal (a_n) atrau el ballarí o la ballarina cap al centre de la circumferència que descriu, donant lloc a la força centrípeta (F_c). Aquesta força es pot calcular aplicant la segona llei de Newton ($F = m \cdot a$), combinada amb la fórmula de l'acceleració normal ($a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$).

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r, F = m \cdot a \rightarrow F_c = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

La cinemàtica d'aquest moviment la podem calcular amb les fórmules del moviment circular:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 \Delta t + \frac{1}{2} \alpha \Delta t^2$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha \Delta t$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha \Delta \theta$$

Salts amb girs

En el ballet hi ha múltiples girs que es fan a l'aire i que, per tant, impliquen un salt. El moviment de rotació que es descriu pot ser sobre un eix vertical o inclinat.

Es combinen les equacions del salt vertical, amb les de girs.

Formules salts

$$y = y_0 + v_0 \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$v = v_0 + g \Delta t \quad v^2 = v_0^2 + 2g \Delta y$$

Formules girs

$$M = F \times r$$

$$L = I \cdot \omega$$

➤ *Tour en l'Air*

Es tracta d'un salt vertical en què, mentre s'està en l'aire es gira. Per poder fer aquest gir a l'aire cal tenir en compte els aspectes explicats a l'apartat de girs i de salts. Per executar-lo el ballarí o la ballarina ha d'impulsar-se, interactuant amb el terra (3a llei de Newton), no només per crear la força vertical que genera el salt sinó que també ha de crear les forces horitzontals que originen el parell que permet la rotació.

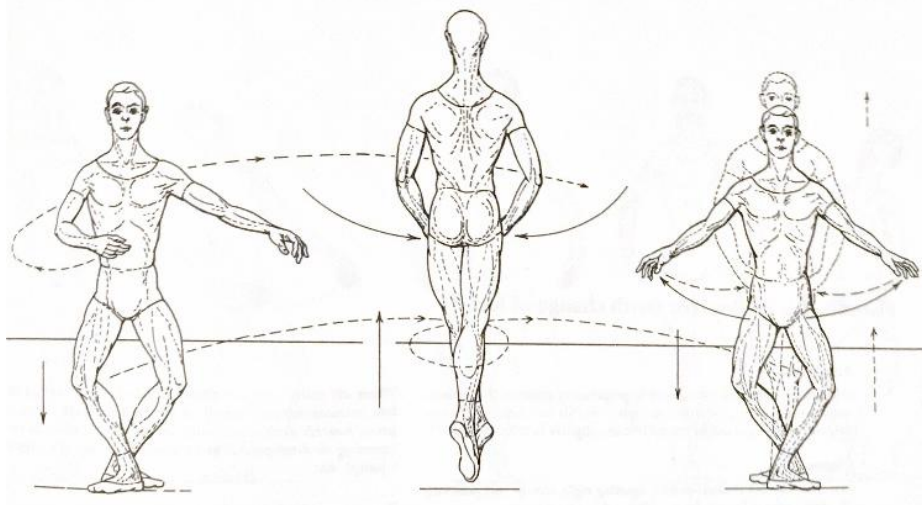


Figura 13. *Tour en l'air*.²¹

➤ *Fouetté* (salt)

Aquest salt s'inicia llançant la cama fins els 90° respecte de la vertical del cos. Aleshores se salta i mentre s'està a l'aire la resta del cos gira 180° sense canviar la direcció de la cama elevada de manera que passa d'estar al davant a estar al costat (*a la seconde*) i finalment acabar a darrere en posició d'*arabesque*. (Figura 14).

²¹ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

Només el tors, el cap, els braços i la cama de suport que executa el salt fan el moviment de rotació. La cama que es llença ha de quedar lliure, i la rotació de les altres parts ja provoca que passi d'estar col·locada del davant al darrere.



Figura 14. Dibuix de l'execució d'un salt *fouetté*.²²

➤ *Entrelacé*

En aquest salt l'eix de rotació es troba lleugerament inclinat. L'inici del moviment és semblant al salt anterior; es comença llançant la cama endavant i girant el cos en direcció contrària a la cama però, en comptes d'acabar sobre la mateixa cama que ha fet el salt i mantenir la que s'havia llançat inicialment a l'aire, es fa un canvi de cames de manera que la cama que es trobava elevada és la que aterra, i la que s'havia fet servir per impulsar-se queda a l'aire en posició *arabesque*. (Figura 15).

En aquest salt la major part del moviment de rotació l'origina el cos que es mou en direcció contrària a la cama. La cama que fa l'impuls se centra principalment en l'elevació, el moviment vertical, tot i que també crea una mica de moment per ajudar a girar.

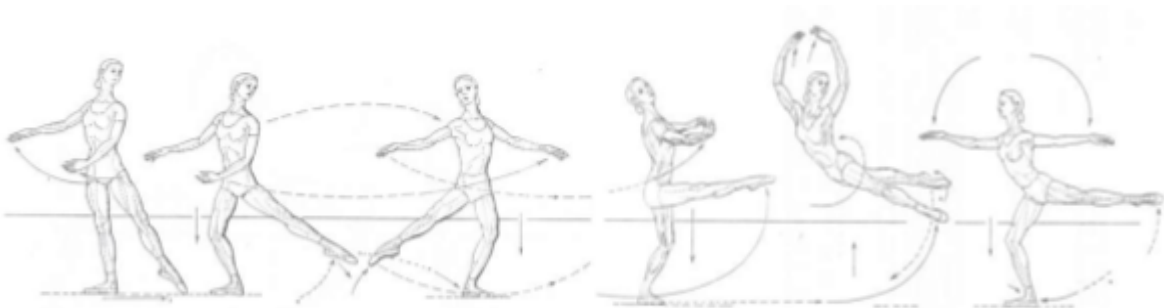


Figura 15. Progressió d'un *entrelacé*.²³

²² Font: :: ELITE :: Escuela de Arte y Danza <http://www.elitearteydanza.com.ar/enciclopedia-grand-jete.htm>

²³ Font: Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

Pas de deux

S'anomena *pas de deux* aquella coreografia interpretada per dos ballarins, normalment un home i una dona. Col·laboren en diferents parts del ball, l'home aixeca la ballarina, la fa girar o fins i tot la llança enlaire.

Físicament, qui ho té més complicat és el ballarí que ha de procurar constantment que la ballarina estigui ben situada en el seu eix, sobretot en els girs, ja que si en surt, perdria l'equilibri. Tot i això, es poden fer equilibris que la ballarina tota sola no podria dur a terme gràcies a la força o contraforça que fa el seu company. També és important que la ballarina mantingui el tors fort per tal de facilitar la feina a la seva parella si necessita corregir-li la posició.

Equilibris

En les posicions estàtiques descrites fins ara en les quals només participava un cos, era necessari que el centre de gravetat estigués verticalment alineat amb l'àrea de suport. Però, en el pas de deux, haurem de tenir en compte el centre de gravetat del conjunt i que la base de recolzament pot estar formada per més punts de suport.

En el pas de deux hi ha la interacció de dos cossos i per tant més forces. Per aquest motiu, si amb l'ajuda de l'altra persona s'aconsegueix produir una condició d'equilibri, és possible mantenir posicions que si es fessin individualment, sense la contribució del company o companya, estarien desequilibrades. En la Figura 16.0 i 16.1 es pot veure com serien les forces i els eixos si només hi fos la ballarina.

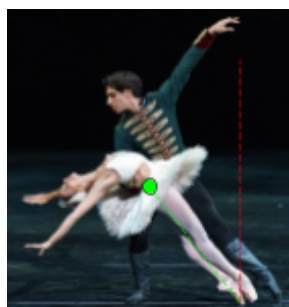


Figura 16.0. Vertical entre l'àrea de suport i el CM.²⁴



Figura 16.1. Forces pes i normal en la ballarina.²⁵

²⁴ Font (modificada): R.O.H. (2020). *Swan Lake – Act II pas de deux* (Francesca Hayward, Cesar Corrales; The Royal Ballet). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=077BgT3h6As>

²⁵ Font (modificada): *Pas de deux*. (2017). Introducció a la dansa clàssica. <https://ballet979.wordpress.com/2017/11/20/pas-de-deux/>

Girs

Els girs en el pas de deux poden ser:

- Pirouette executada amb un company

Consisteix a fer una *pirouette* (com les descrites en l'apartat de girs), normalment en posició *passé*, però amb la participació d'una altra persona. Fins ara la ballarina només disposava del terra per crear el parell (M) que produís la rotació sobre un eix. En el *pas de deux* té l'ajuda del seu company.

Hi ha diverses maneres d'executar una *pirouette* amb ajuda d'un company:

Una d'elles és amb la ballarina començant el gir com si el fes sola (dos peus a terra, normalment en la 4a posició), però amb les mans del ballarí, que es troba situat darrere seu, a la cintura. En aquests casos la força per iniciar el moviment rotacional el fa la ballarina, però un cop en marxa el gir, el ballarí és l'encarregat de, amb les seves mans, guiar-la i mantenir-la sobre l'eix de rotació. També pot fer augmentar el nombre de *pirouettes* si va creant noves forces, i per tant nous parells, que la facin continuar girant. Aquests nous moments han de vèncer la força de fregament que exerceix el terra donant lloc a un moviment circular uniforme (MCU).

Per frenar la *pirouette* de la ballarina, el ballarí ha de crear un parell contrari, és a dir, un de sentit oposat al que manté en rotació la ballarina. També pot incrementar la força de contacte que executa entre les seves mans i el cos de la seva companya per tal d'augmentar la força de fregament. Sovint s'utilitza una barreja de les dues possibilitats.

Una altra manera d'executar-les és amb la ballarina ja en *relevé* sobre una cama abans de començar a girar. En aquesta posició la ballarina no pot crear el parell de forces necessari tota sola. És aleshores quan intervé el ballarí. En aquest cas sí que utilitza les mans per crear el parell que inicia el gir. Si el gir és cap a la dreta, fa força amb la mà esquerra cap endavant i amb la mà dreta cap enrere i així aconseguix crear el moment rotacional. Però l'impuls angular (ΔL) depèn de les forces aplicades, la distància entre elles i el període de temps en què les forces actuen.

$$\Delta L = M \cdot \Delta t$$

Per aconseguir un major impuls, sovint la ballarina estén la cama que no fa de base i després la tanca de la mateixa manera descrita en el *fouetté*, augmentant l'efectivitat del gir.

Durant el gir el ballarí ha de procurar mantenir la ballarina en equilibri sobre l'eix de rotació. Si hi ha un lleuger desplaçament del centre de gravetat pot passar que, en intentar corregir la posició creant una major força horitzontal amb una de les dues mans, la força de fregament en aquella mà provoqui un desviament del centre de gravetat cap endavant o cap enrere. Caldrà que el ballarí desplaci les mans endavant o endarrere per tal de preveure una caiguda en aquestes direccions. A la pràctica, una ballarina experimentada realitzarà aquestes *pirouettes* prop d'una posició d'equilibri de manera que només siguin necessàries lleugeres forces de correcció per part de la parella.

En la Figura 17, el centre de massa de la ballarina no està correctament col·locat sobre l'eix de rotació. El ballarí exerceix una força horitzontal per tal de corregir-ne la posició.

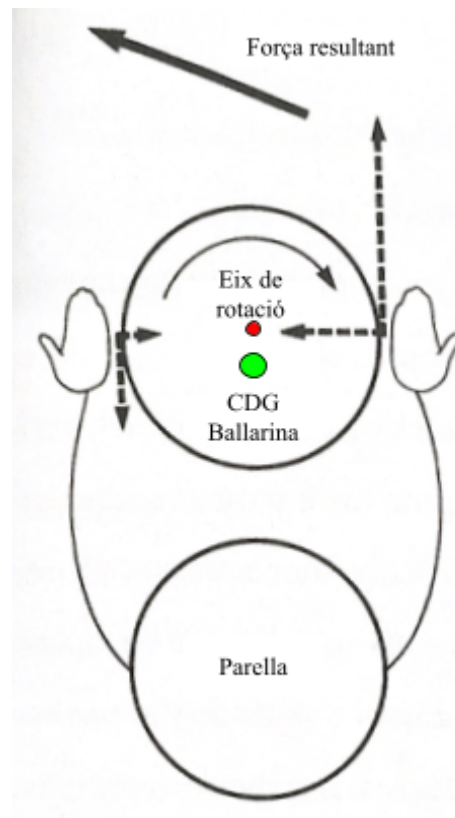


Figura 17

Representació d'un gir executat en parella en que la ballarina es troba fora del seu eix en desequilibri.²⁶

²⁶ Font (modificada): Laws, K., & Sugano, A. (2008). *Physics and the Art of Dance: understanding movement* (2.a ed.). Oxford University Press.

➤ *Promenade*

Els *promenades* són girs lents, normalment sobre una cama, en els quals el ballarí acompanya la ballarina en cercle, agafant-li una mà o la cintura de manera que la posició entre ells dos no varia però sí que ho fa el conjunt de la figura respecte de l'espai on es balla. El més habitual es fa amb la ballarina en posició *attitude* que s'aguanta en equilibri amb l'única ajuda de la mà del seu company la qual té agafada (Figura 18). Tan sols amb aquest contacte de mans, el ballarí ha d'aconseguir fer girar lentament la ballarina mentre ell descriu un cercle. En corregir els petits errors d'equilibri que es poden donar durant el *promenade* és important que no es perdi la rigidesa del contacte entre mans (Figura 18.1) per evitar l'aparició de forces horitzontals que provocarien rotacions indesitjades.



Figura 18.0. Imatge d'un *promenade* en *attitude*.²⁷

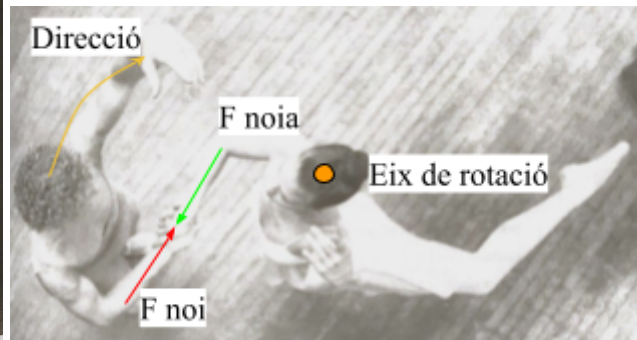


Figura 18.1. Imatge d'un *promenade* en *attitude* vist des de dalt.²⁸

Els *promenades* que es fan agafant per la cintura són una mica més senzills ja que les forces actuen directament al cos i no s'han de transferir a través del braç.

Salts i elevacions

En el pas de deux és molt comú que el noi aixequi la noia i la faci "volar" per l'escenari. L'ajuda del company permet que la noia s'elevi més amunt i augmenta el temps que està en l'aire en comparació a quan salta sola.

²⁷ Font (modificada): Laws, K., & Sugano, A. (2008). *Physics and the Art of Dance: understanding movement* (2.a ed.). Oxford University Press.

²⁸ Font (modificada): Laws, K., & Sugano, A. (2008). *Physics and the Art of Dance: understanding movement* (2.a ed.). Oxford University Press.

Podem distingir dos tipus d'elevacions: elevacions en les quals la noia participa tot saltant a l'inici, i elevacions en què la noia només manté una posició estàtica i és el ballarí qui ha de fer tota la força per aixecar-la. Aquestes últimes demanen molta més força física que les primeres.

En les elevacions amb salt és molt important que tots dos es coordinin molt bé. Si la noia salta abans o després que el noi exerceixi la força, el moviment no sortirà bé.

En el punt més elevat trobem un equilibri que dura uns instants més del que duraria si la ballarina saltés sola gràcies a la força que exerceix el noi.

En les elevacions en què el noi aixeca la noia sense que aquesta pugui ajudar-lo fent algun petit impuls s'ha d'aconseguir arribar també a un equilibri. El noi ha de vèncer la força de la gravetat, tot creant una força normal (Figura 19)

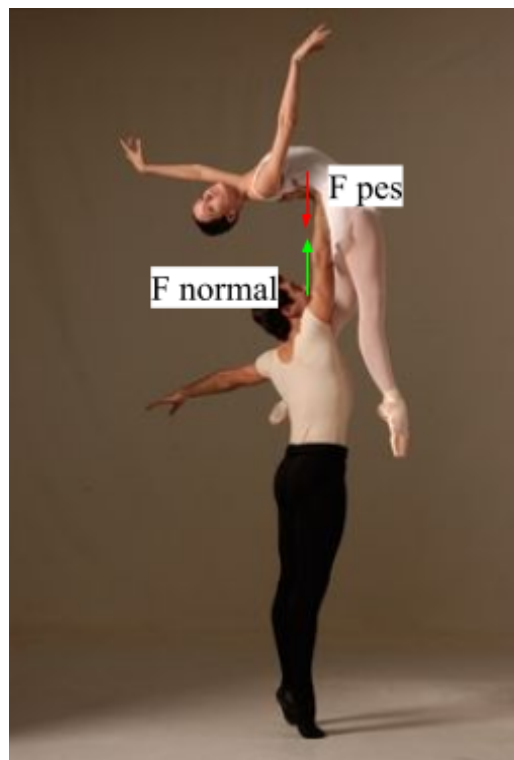


Figura 19. Forces externes que actuen en una elevació.²⁹

²⁹ Font (modificada): Sánchez, M. (2017). Ser un buen partner. ABC Danzar. <https://abcdanzar.blogspot.com/2017/06/ser-un-buen-partner.html>

Part pràctica

Introducció i objectius

INTRODUCCIÓ

Un cop descrites teòricament les posicions i moviments del ballet, he intentat posar aquests coneixements en pràctica sobre el meu cos. Amb això espero conèixer-me amb exactitud i descobrir com he de col·locar cada múscul per tal de millorar la meva tècnica.

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquesta part del treball és posar en pràctica els coneixements adquirits en desenvolupar la part teòrica muntant una coreografia, analitzant i calculant els diferents moviments i posicions i finalment, recollint el resultat en vídeo.

Anàlisi quantitativa dels passos individuals del ballet

L'estudi dels diferents passos i posicions està fet sobre el meu cos, i per aquest motiu els valors obtinguts faran referència concretament al meu moviment que queda condicionat per la meua força, la meua alçada, el meu pes...

Equilibris

Tal i com s'ha explicat en el marc teòric, perquè hi hagi equilibri, el sumatori de forces i moments que hi intervenen ha de ser igual a 0 ($\Sigma F = 0$, $\Sigma M = 0$, primera llei de Newton).

Quan la posició és duta a terme per una sola persona, les úniques forces externes que hi intervenen són la força pes (P) i la normal (N).

Així doncs, aplicant aquests coneixements físics al meu cos obtenim:

$$\Sigma F = m \cdot a \rightarrow P = m \cdot g \rightarrow P = 54 \cdot (-9.8) = -529.2 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0 \rightarrow P + N = 0 \rightarrow N = -P \rightarrow N = -(-529.2) = 529.2 \text{ N}$$

Càlcul de la posició del centre de gravetat en les principals posicions estàtiques

Per tal de realitzar els càlculs dels moviments és necessari saber amb precisió on es situa el centre de gravetat en les diferents posicions. A més, saber on es situa el meu centre de gravetat m'ajudarà a col·locar el meu cos correctament sobre l'àrea de la base i per tant, a millorar els meus equilibris.

S'ha hagut de restringir el càlcul de la posició del centre de gravetat al pla frontal (pla XY) a causa de no disposar de dades biomètriques en el pla YZ.

S'ha dividit el cos en catorze segments que he mesurat. Usant els paràmetres biomètrics sobre els centres de massa de Zatsiorsky, he calculat la posició del centre de massa i la massa de cada un d'aquests trossos. En la següent taula queden recollits els resultats.

| Segment | Punt proximal - distal | CM | Massa | mesures | CÀLCUL CM | CÀLCUL MASSA |
|---------------------------------|-------------------------------|------------|--------------|----------------|------------------|---------------------|
| | | (%) | (%) | (cm) | (cm) | (kg) |
| Mà dreta | Canell - dit del mig | 74,74 | 0,56 | 16,5 | 12,3321 | 0,3024 |
| Avantbraç dret | Colze - canell | 45,59 | 1,38 | 25,5 | 6,5 | 0,7452 |
| Part superior del braç dret | Espatlla - colze | 57,54 | 2,55 | 30 | 17,262 | 1,377 |
| Mà esquerra | Canell - dit del mig | 74,74 | 0,56 | 16,5 | 12,3321 | 0,3024 |
| Avantbraç esquerre | Colze - canell | 45,59 | 1,38 | 25,5 | 11,62545 | 0,7452 |
| Part superior del braç esquerre | Espatlla - colze | 57,54 | 2,55 | 30 | 17,262 | 1,377 |
| Peu dret | Taló - dit gros | 40,14 | 1,29 | 24 | 9,6336 | 0,6966 |
| Tou de la cama dreta | Genoll - turmell | 43,52 | 4,81 | 38 | 16,5376 | 2,5974 |
| Cuixa dreta | Maluc - genoll | 36,12 | 14,78 | 41 | 14,8092 | 7,9812 |
| Peu esquerre | Taló - dit gros | 40,14 | 1,29 | 24 | 9,6336 | 0,6966 |
| Tou de la cama esquerra | Genoll - turmell | 43,52 | 4,81 | 38 | 16,5376 | 2,5974 |
| Cuixa esquerra | Maluc - genoll | 36,12 | 14,78 | 41 | 14,8092 | 7,9812 |
| Tronc | Espatlla - maluc | 37,82 | 42,58 | 55 | 20,801 | 22,9932 |
| Coll + cap | Cap - espatlla | 48,41 | 6,68 | 29 | 14,0389 | 3,6072 |
| Cos sencer | - | - | 100 | 169 | - | 54 |

Amb les dades obtingudes he calculat per a cada posició estudiada el centre de gravetat aplicant la formula:

$$X_{CM} = \frac{\Sigma(m \cdot x)}{M}$$

Aquests càlculs estan detallats a l'Annex I.

En les imatges següents³⁰ el centre de gravetat total del cos es troba representat pel punt verd.

➤ Posicions bàsiques

○ Primera posició (Figura 20.0 i 20.1)

En la Figura 20.0 el centre de gravetat es troba en l'eix de les x, al voltant del 0, i en l'eix y, a 88,525 cm del terra. En la Figura 20.1 el centre de gravetat en l'eix y es troba a 99,599 cm del terra. El motiu d'aquest desplaçament cap amunt és que, en aquest cas, la posició és en *relevé* (sobre les puntes). I per tant, el centre de gravetat, com tot el cos, puja. La posició en l'eix x de la primera posició en *relevé* també es troba a 0.

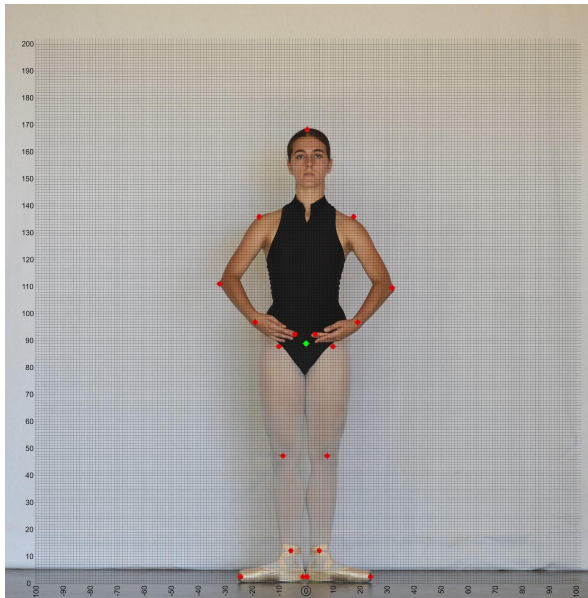


Figura 20.0. Localització del CG en la 1ª posició.

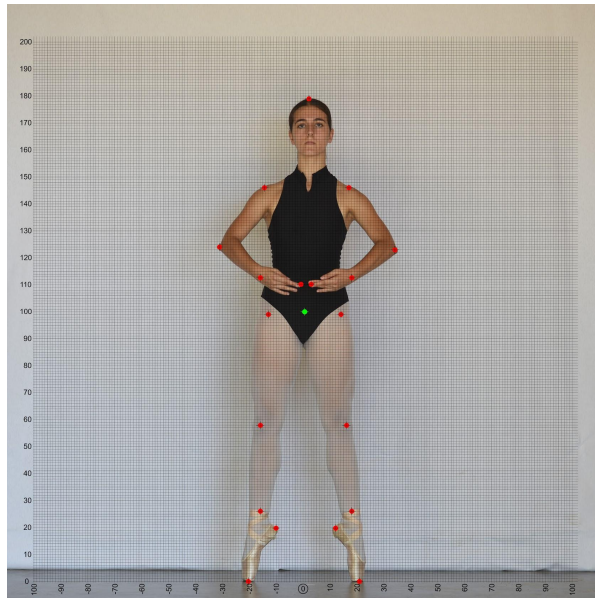


Figura 20.1. Localització del CG en la 1ª posició en *relevé*.

○ Segona posició (Figura 21.0 i Figura 21.1)

En la Figura 21.0, el centre de gravetat de l'eix x es troba al voltant del 0, en l'eix y a 89,690 cm del terra. En la Figura 21.1, el centre de gravetat en l'eix x també es troba al voltant del 0, i a 100,465 cm del terra en l'eix y.

³⁰ Totes les imatges següents són fonts pròpies.

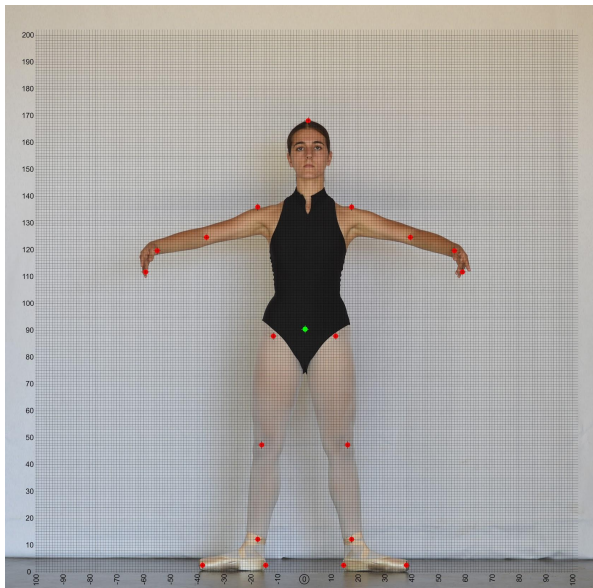


Figura 21.0. Localització del CG en la 2^a posició.

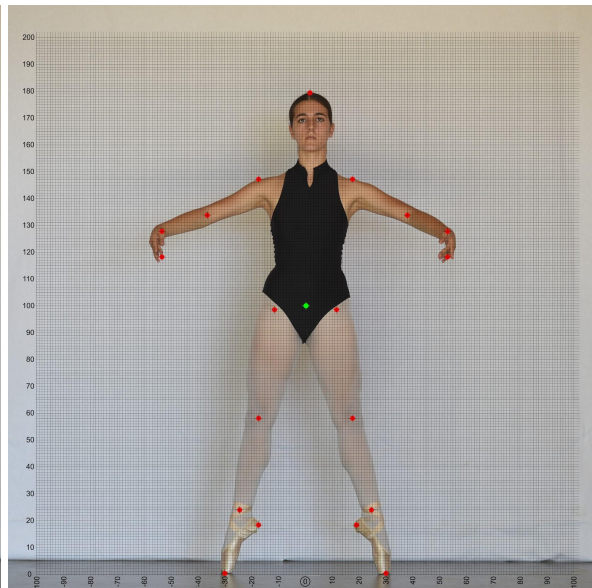


Figura 21.1. Localització del CG en la 2^a posició en *relevé*.

○ Quarta posició (Figura 22.0 i Figura 22.1)

En la Figura 22.0 el centre de gravetat en l'eix x es troba al voltant de 0 i en l'eix y a 89,855 cm del terra.

En la Figura 22.1 el centre de gravetat en l'eix y és a 103,685 cm del terra. En l'eix x es troba a 0.

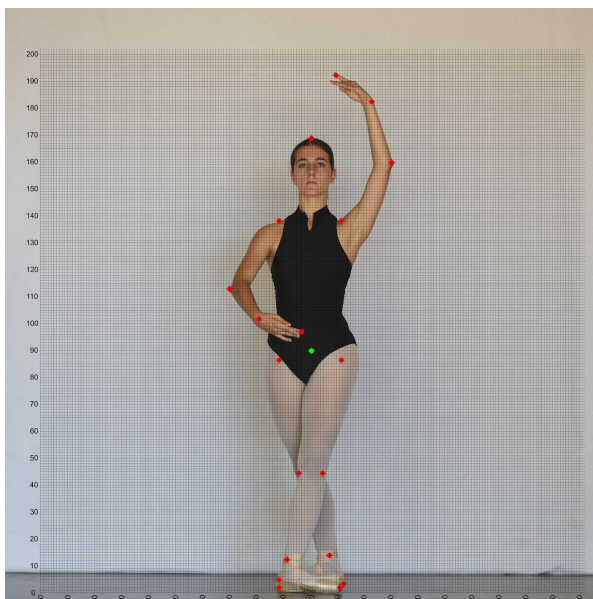


Figura 22.0. Localització del CG en la 4^a posició.

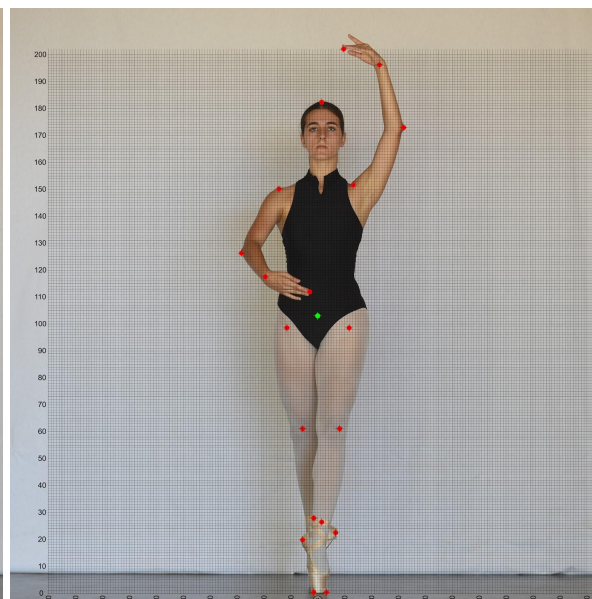


Figura 22.1. Localització del CG en la 4^a posició en *relevé*.

○ Cinquena posició (Figura 23.0 i Figura 23.1)

En la Figura 23.0 i 23.1 el centre de gravetat en l'eix x es troba al voltant de 05. S'ha desplaçat lleugerament en comparació amb les altres postures ja que en aquesta l'àrea de suport és més petita. En l'eix y, en la Figura 23.0 on la posició és sobre tota la planta del peu es troba a 92,759 cm del terra i en la Figura 23.1 on la posició és en *relevé* (sobre les puntes) es troba a 105,949 cm del terra.



Figura 23.0. Localització del CG en la 5ª posició.



Figura 23.1. Localització del CG en la 5ª posició en *relevé*.

➤ Passé (Figura 24.0 i Figura 24.1)

En ser una postura sobre una cama i no sobre totes dues, el centre de gravetat es veu desplaçat lleugerament en l'eix de les x per tal de trobar-se sobre l'àrea de suport. Es troba al volt de -2 cm respecte de l'eix de coordenades. En la Figura 24.0 es troba a 94,806 cm del terra en l'eix y i en la Figura 24.1 a 106,725



Figura 24.0. Localització del CG en *passé*.

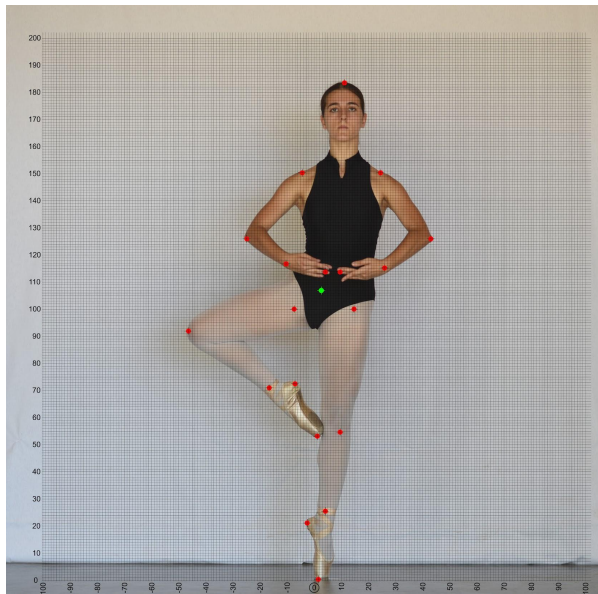


Figura 24.1. Localització del CG en *passé en relevé*.

➤ Arabesque (Figura 25.0 i Figura 25.1)

Igual que passa amb la figura anterior, en ser sobre una cama, el centre de massa es veu obligat a desplaçar-se per tal d'estar sobre el suport i, per tant, tenir equilibri. En aquest cas el desplaçament és d'uns 3 cm cap a l'esquerra.

En la figura 25.0, que és a peu pla, el centre de gravetat es troba a 98,095 cm del terra i en la Figura 25.1, que és sobre la punta, a 110,539 cm.



Figura 25.0. Localització del CG en *arabesque*.

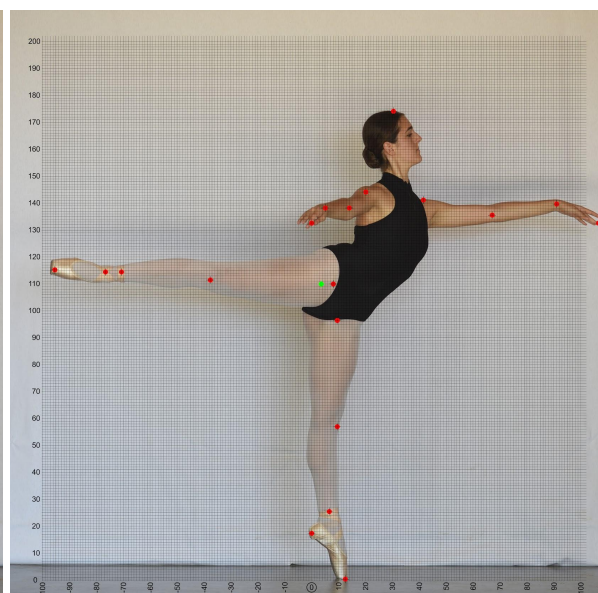


Figura 25.1. Localització del CG en *arabesque en relevé*.

Així doncs, podem concloure que el centre de gravetat del meu cos es troba al voltant dels 0 cm en l'eix x, és a dir, al mig del cos si el dividim verticalment en dues parts simètriques, quan la posició és sobre les dues cames. Quan és sobre una àrea de recolzament més petita, el centre de gravetat es desplaça lleugerament per tal de mantenir un bon equilibri. Fent la mitjana ponderada puc dir que el centre de gravetat en l'eix y es troba al voltant de 90 cm respecte del terra quan em trobo a peu pla i a 105 cm aproximadament quan em trobo sobre les puntes (en *relevé*).

Coneixent el meu centre de massa ja puc començar a calcular els moviments descrits en la part teòrica del treball.

Moviments

➤ Salts

- *Grand pas de chat* (moviment parabòlic)

El meu centre de massa es troba a un 90 cm del terra, per tant $y_0 = 0,90 \text{ m}$

A partir del vídeo he trobat el temps de vol, l'abast màxim i angle respecte l'horitzontal en el moment de saltar. Els valors que desconec i que per tant calcularé són la velocitat inicial i l'altura màxima.

Temps de vol: 0,45 s

Abast màxim: 1,67 m

Angle del salt: 26°

CÀLCUL DE LA VELOCITAT INICIAL (v_0)

Per trobar la velocitat inicial cal tenir en compte que s'ha de descompondre en dos eixos, l'eix x i l'eix y, ja que és un vector i en el moviment parabòlic cal tenir en compte el pla horitzontal i el vertical. Per tant:

$$v_0^x = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_0^y = v_0 \cdot \sin \alpha$$

En l'eix X el moviment que es descriu és un moviment rectilini uniforme (MRU).

$$x = x_0 + v_{0x} \Delta t$$

En l'eix Y el moviment que es descriu és un moviment rectilini uniformement accelerat

$$(MRUA). y = y_0 + v_{0y} \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

Substituint en aquestes fórmules la velocitat inicial de cada eix per l'equació corresponent podem establir el següent sistema d'equacions:

$$(1). x = x_0 + (v_0 \cdot \cos \alpha) \Delta t$$

$$(2). y = y_0 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

Puc trobar la velocitat inicial del salt de la següent manera:

$$x = x_0 + (v_0 \cdot \cos \alpha) \Delta t \rightarrow \frac{x - x_0}{\Delta t \cdot \cos \alpha} = v_0$$

Substituint per les dades recopilades obtinc:

$$\frac{1,67 - 0}{0,45 \cdot \cos 26} = 4,13 \text{ m/s}$$

La velocitat inicial d'aquest salt és 4,13 m/s

CÀLCUL DE L'ALTURA MÀXIMA (y)

Per conèixer l'altura màxima calculo el temps en què la velocitat en l'eix y = 0:

$$v = v_{0y} + g \Delta t \rightarrow v = (v_0 \cdot \sin \alpha) + g \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{v - (v_0 \cdot \sin \alpha)}{g}$$

$$\Delta t = \frac{0 - (4,13 \cdot \sin 26)}{(-9,8)} = 0,185 \text{ s}$$

Ara que coneixem l'instant en què la posició del centre de gravetat es troba en el punt més alt podem saber quina és la seva posició.

$$y = y_0 + v_{0y} \Delta t + \frac{1}{2} g \Delta t^2$$

$$y = 0,9 + (4,13 \cdot \sin 26) 0,185 + \frac{1}{2} (-9,8) \cdot 0,185^2 = 1,067 \text{ m}$$

L'altura màxima del centre de gravetat és a 1,067 m del terra.

ANÀLISI DEL *PAS DE CHAT* EN VÍDEO

En el següent vídeo (Figura 26) podeu observar la direcció de les forces que hi actuen i la trajectòria del salt.

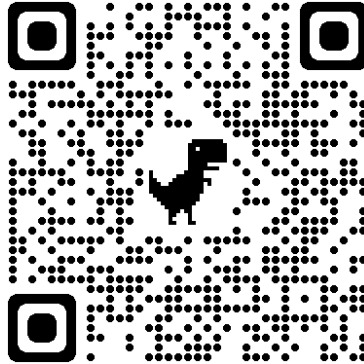


Figura 26. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi del salt *grand pas de chat*.

- *Fouetté* (salt)

Per analitzar aquest salt cal combinar el moviment de caiguda lliure amb el de rotació.

El vídeo m'ha permès saber el temps (t), el qual he fet servir per calcular la velocitat angular mitjana (ω).

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta t}, \quad t = 0,56 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{0,56} = 11,22 \text{ rad/s}$$

ANÀLISI DEL SALT *FOUETTÉ* EN VÍDEO

La Figura 27 és l'enllaç al vídeo en el qual es mostren les principals forces que actuen en aquest salt.

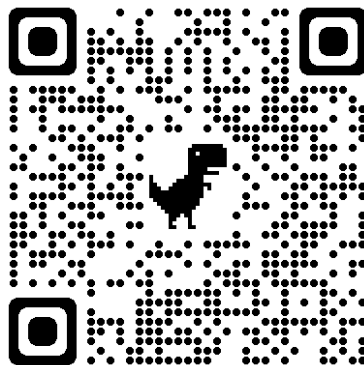


Figura 27. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi del salt *fouetté*.

- *Entrelacé*

Per analitzar aquest salt cal combinar el moviment de caiguda lliure amb el de rotació.

El vídeo m'ha permès saber el temps (t), el qual he fet servir per calcular la velocitat angular mitjana (ω).

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta t}, \quad t = 0,61 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{0,61} = 10,30 \text{ rad/s}$$

ANÀLISI DEL SALT *ENTRELACÉ* EN VÍDEO

La Figura 28 és l'enllaç al vídeo en el qual es mostren les principals forces que actuen en aquest salt.

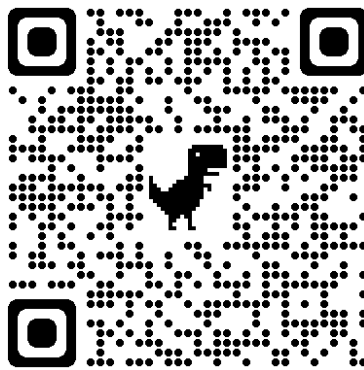


Figura 28. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi del salt *entrelacé*.

➤ Girs

- *Pirouette en dehors* (en posició *passé*)

La velocitat de la *pirouette* la podem saber observant el vídeo. En aquest es veu que trigo 1,8s a fer tres voltes revolucions. Per tant trobem que la velocitat angular mitjana és:

$$3 \text{ rev} \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 6\pi \text{ rad}$$

$$\omega = \frac{\text{rev}}{\Delta t} \rightarrow \omega = \frac{6\pi}{1,8} = 10,47 \text{ rad/s}$$

CÀLCUL DEL MOMENT D'INÈRCIA (I)

Amb les dades obtingudes en l'apartat d'equilibris podem calcular el moment d'inèrcia. Si considerem el conjunt del cos com un cilindre, aleshores: $I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$

Distància (r) entre el meu centre de gravetat i el genoll (punt més allunyat del centre en la posició *passé*).

$$r = \text{llargada cuixa} + \text{distància entre el punt proximal i el centre de gravetat}$$

(la mesura de la llargada de la cuixa està mesurada des del maluc, no des del centre de gravetat, per això faig aquesta suma)

$$r = 41\text{cm} + 20\text{cm} = 61\text{ cm} = 0,61\text{m}$$

Massa total del cos: 54 kg.

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \rightarrow I = \frac{1}{2} 54 \cdot 0,61^2 = 10,05 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

CÀLCUL DEL MOMENT ANGULAR (L)

Coneixent la velocitat angular i el moment d'inèrcia podem també saber el moment angular.

$$L = I \cdot \omega \rightarrow L = 10,05 \cdot 10,47 = 105,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}$$

Observant el vídeo sabem que per crear aquest moment angular el parell ha hagut d'actuar durant 0,8 segons. Amb aquesta dada és possible conèixer el valor del parell.

$$L = M \cdot t \rightarrow M = \frac{L}{t}$$

$$M = \frac{105,22}{0,8} = 131,52 \text{ N} \cdot \text{m}$$

CÀLCUL DE LA FORÇA EXERCIDA

De l'equació $M = F \cdot r$ deduïm que $F = \frac{M}{r}$. La distància entre els dos peus és de 24 cm, si considerem que el centre de rotació es troba just al centre d'aquests aleshores la distància entre la força i l'eix de rotació, (r), és de 12 cm, és a dir de 0,12 m. Aleshores:

$$F_T = \frac{131,52}{0,12} = 1096,04 \text{ N}$$

Aquesta força és l'exercida entre els dos peus, si considerem que els dos fan la mateixa força aleshores la que fa cadascú es troba dividit aquest valor entre dos.

$$F_1 = \frac{F_T}{2} \rightarrow F_1 = \frac{1096,04}{2} = 548,02 \text{ N}$$

ANÀLISI D'UNA *PIROUETTE EN DEHORS EN PASSÉ* EN UN VÍDEO

En el vídeo següent (Figura 29) es mostren les forces que actuen en una *pirouette en dehors* en posició *passé*.

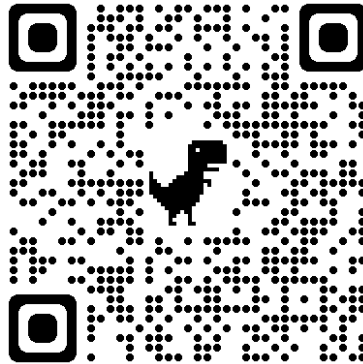


Figura 29. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi d'una *pirouette en dehors*.

○ *Fouetté*

CÀLCUL DE LA VARIACIÓ DE VELOCITAT.

Tal i com s'ha explicat en la part teòrica d'aquest treball, en els girs *fouettés* la velocitat angular varia per tal de mantenir constant el moment angular.

Considerant que quan la cama està en posició *passé*, el moment angular L , el moment d'inèrcia (I) i la velocitat angular (ω) tenen els mateixos valors que en el gir calculat anteriorment:

$$I = 10,05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$L = 105,22 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$$

$$\omega = 10,47 \text{ rad/s}$$

Quan estenem la cama, però, el valor del moment angular i de la velocitat angular varien. Si tornem a considerar el cos com un cilindre i per tant $I = \frac{1}{2}m\cdot r^2$, el radi d'ara serà superior. Cal sumar a la distància trobada en la *pirouette en dehors* en *passé* calculada anteriorment, la llargada del tou de la cama i la del peu (que està estirat en punta i per tant la cama és més llarga).

$$r = 61 \text{ cm} + 38 \text{ cm} + 24 \text{ cm} = 123 \text{ cm} = 1,23 \text{ m}$$

Aleshores, com que $\Delta L = constant$, $L_0 = L_f$. Per tant:

$$\frac{1}{2}m \cdot r_0^2 \cdot \omega_0 = \frac{1}{2}m \cdot r_f^2 \cdot \omega_f$$

Aïllant la velocitat final:

$$\omega_f = \frac{r_0^2 \cdot \omega_0}{r_f^2} \rightarrow \omega_f = \frac{0,61^2 \cdot 10,47}{1,23^2} = 2,57 \text{ rad/s}$$

$2,57 \text{ rad/s} < 10,47 \text{ rad/s}$. Clarament la velocitat disminueix en estendre la cama.

ANÀLISI DEL GIR *FOUETTÉ* EN UN VÍDEO

En el vídeo següent (Figura 30) es mostren les forces que actuen en el *fouetté*.

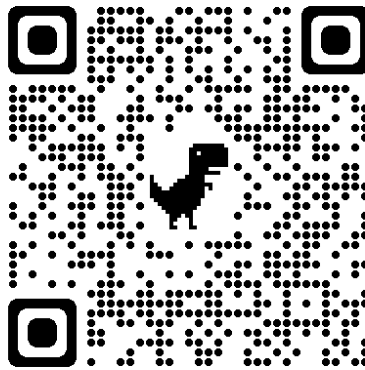


Figura 30. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi del gir *fouetté*.

Resultat: forces d'una coreografia individual descrites en un vídeo

He creat una coreografia amb els principals moviments que he analitzat. Hi apareixen equilibris, salts i girs amb les seves respectives variacions (amb desplaçament, sense desplaçament, en una o altra posició...).

En el següent vídeo (Figura 31) intento il·lustrar el conjunt de conceptes analitzats en aquest treball.

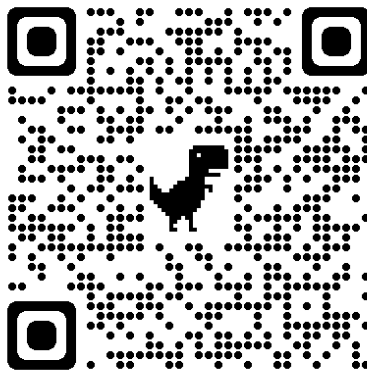


Figura 31. QR amb l'enllaç al vídeo “Anàlisi físic d'una coreografia individual”.³¹

³¹ Musica: Waltz. Pirouettes (12x8) , Valse Form Ballet «“le Corsaire”». (2019, 29 junio). YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=i51KgYz_uPc

Anàlisi quantitativa dels passos del *pas de deux*

Equilibris

➤ Anàlisi de l'equilibri

En el vídeo següent (Figura 32) es pot observar com amb l'ajuda d'un company es poden executar posicions que sense aquesta ajuda esdevindrien desequilibrades.

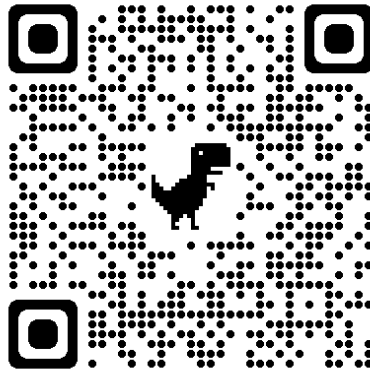


Figura 32. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi de l'equilibri en el *pas a deux*.

➤ Anàlisi de la posició *fish*.

En aquest posició, el ballarí subjecta la ballarina, per tant les úniques forces externes que actuen en el cos d'ella, a més a més de la força pes, són les que fa el seu company.

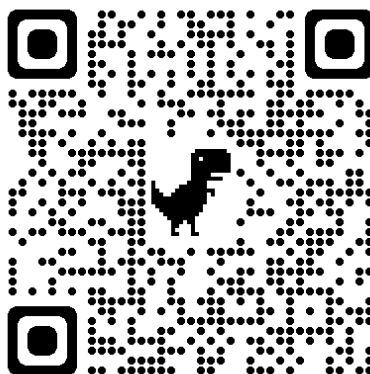


Figura 33. QR amb l'enllaç al vídeo de l'anàlisi de la posició *fish*.

Moviments

- Salts
 - Salts amb ajuda del *partner*

En el següent vídeo (Figura 34) es mostren les forces que actuen en un salt quan aquest es fa amb l'ajuda d'un company.

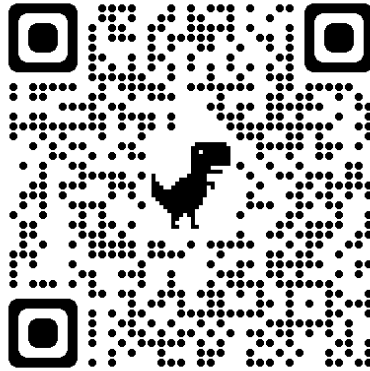


Figura 34. QR amb l'enllaç al vídeo que analitza físicament els salts fets amb un *partner*.

- Girs
 - *Promenade*

En el següent vídeo (Figura 35) es mostren les forces que actuen en un *promenade* en posició *attitude* i amb les mans del noi a la cintura de la noia.

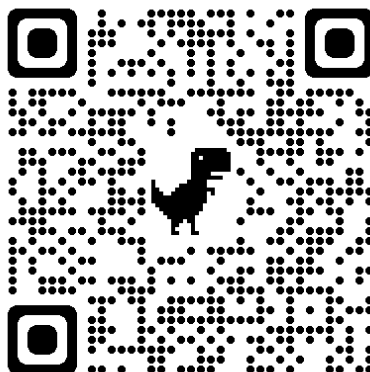


Figura 35. QR amb enllaç al vídeo on s'analitza físicament el *promenade*.

- *Pirouettes*

El vídeo (Figura 36) mostra les forces que actuen en les *pirouettes* fetes amb l'ajuda d'un company.

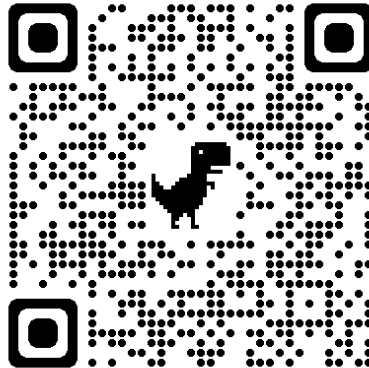


Figura 36. QR amb enllaç al vídeo que mostra les forces que actuen en una *pirouette* executada amb un company.

Resultat: forces d'un *pas de deux* descrites en un vídeo

En el vídeo següent (Figura 37) queda il·lustrat el conjunt de conceptes i càlculs duts a terme en aquest treball sobre el *pas de deux*. Es tracta d'una peça molt curta ja que tinc poca experiència en aquest sector del ballet i no sé executar passos més complicats.

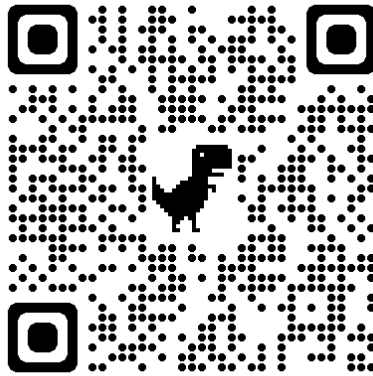


Figura 37. QR amb l'enllaç al vídeo "Anàlisi físic del *pas de deux*".³²

³² Música: Music for Ballet Class. Pirouette combination 3 (Waltz). (2015, 8 septiembre). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=bA6KjlTnVFM>

Conclusions

L'objectiu principal del treball, analitzar els diferents moviments i posicions del ballet a través de la física ha estat assolit. Crec que ha quedat demostrada la complexitat d'aquests i la gran quantitat de petits detalls que s'han de tenir en compte per tal d'executar-los correctament.

Penso que aquesta anàlisi pot ajudar als ballarins a millorar la seva tècnica, un altre dels objectius que m'havia proposat. A mi personalment m'ha servit bastant. Aquests últims mesos m'he adonat de certa millora en l'execució d'alguns dels passos de ballet. A cada classe de dansa he anat aplicant els coneixements que anava assolint, això ha provocat que cada cop els realitzés d'una manera més precisa i correcta. On més he notat aquesta millora és en els equilibris, suposo que saber amb precisió on es troba el meu centre de gravetat hi ha fet molt; i els girs, conèixer com funciona un moviment de rotació des del punt de vista físic m'ha permès entendre millor la dinàmica d'aquests moviments i, per tant, aconseguir fer-ne més i més eficients. Aquest treball també m'ha estat molt útil per explicar i corregir a les petites ballarines a les quals faig classe. Entendre el funcionament des del punt de vista teòric m'ha permès saber en què fallaven i dir concretament què havien de fer o com havien de variar la seva posició per tal que els sortís correctament.

Tot i això, crec que el ballet encara es pot analitzar més detalladament i per això, d'aquí a uns anys, quan tingui més coneixements físics, vull recuperar i ampliar aquest treball. M'agradaria arribar a saber, amb total precisió, com col·locar el cos per tal d'assolir, gairebé, la perfecció.

Referències dels documents utilitzats

Bibliografia

Ferrer, J. F., & Carrera, M. P. (1975). *Iniciación a la física*. Julián Fernández Ferrer.

Kirstein, L., Stuart, M., Balanchine, G., & Dyer, C. (2004). *The Classic Ballet*. Alfred A. Knopf.

Laws, K., & Sugano, A. (2008). *Physics and the Art of Dance: understanding movement* (2.a ed.). Oxford University Press.

Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1988). *Física universitaria*. Fondo Educativo Interamericano.

Tipler, P. A. (1993). *Física*. Editorial Reverté.

Webgrafia

Biomechanics of the Grand Jeté. A Google Sites.

<https://sites.google.com/site/icgrandjete/science-of-grand-jete>

Center of Mass (2000). Exss 323 Center of mass lab.

http://oregonstate.edu/instruct/exss323/CM_Lab/Center%20of%20Mass.htm

Kalichová, M. (2011). *Biomechanical Analysis of the Basic Classical Dance Jump- The Grand Jeté*. World Academy of Science, Engineering and Technology. A Yumpu.

<https://www.yumpu.com/en/document/read/17617227/biomechanical-analysis-of-the-basic-classical-dance-jump-the->

King, B. D., Weldon, B. E., & Ashley Lorraine Baker, B. (2021). A Ballet Education | An education in ballet, it's not just tutus and tiaras. A Ballet Education. <https://aballeteducation.com/>

Sánchez, M. (2017). Ser un buen partner. ABC Danzar.

<https://abcdanzar.blogspot.com/2017/06/ser-un-buen-partner.html>

Soto, V. M., & Gutiérrez, M. (1996). Parámetros inerciales para el modelado biomecánico del cuerpo humano. *Revista Motricidad*, 170–189.

https://www.researchgate.net/publication/28153325_Parametros_inerciales_para_el_modelado_biomecanico_del_cuerpo_humano

The physics of the «hardest move» in ballet - Arleen Sugano. (2016, 22 març). YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=15VgOdgptRg>

Annexos

ANNEX I

| 1ª POSICIÓN | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -4 | 92 |
| | articulació proximal (canell) | -19 | 97 |
| | vector | 15 | -5 |
| | CM del vector | 11,211 | -3,737 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,789 | 93,263 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 3 | 92 |
| | articulació proximal (canell) | 19 | 97 |
| | vector | -16 | -5 |
| | CM del vector | -11,9584 | -3,737 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 7,0416 | 93,263 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -19 | 97 |
| | articulació proximal (colze) | -32 | 111 |
| | vector | 13 | -14 |
| | CM del vector | 5,9267 | -6,3826 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -26,0733 | 104,6174 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 19 | 97 |
| | articulació proximal (colze) | 32 | 110 |
| | vector | -13 | -13 |
| | CM del vector | -5,9267 | -5,9267 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 26,0733 | 104,0733 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -32 | 111 |
| | articulació proximal (espatlla) | -17 | 136 |
| | vector | -15 | -25 |
| | CM del vector | -8,631 | -14,385 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -25,631 | 121,615 |
| Part superior del braç | articulació distal (colze) | 32 | 110 |

| | | | |
|-------------------------|--|-----------------|-----------------|
| esquerra | articulació proximal (espatlla) | 17 | 136 |
| | vector | 15 | -26 |
| | CM del vector | 8,631 | -14,9604 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 25,631 | 121,0396 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 88 |
| | vector | 0 | 48 |
| | CM del vector | 0 | 18,1536 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 106,1536 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -24 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | -1 | 2 |
| | vector | -23 | 0 |
| | CM del vector | -9,2322 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -10,2322 | 2 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 24 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | 1 | 2 |
| | vector | 23 | 0 |
| | CM del vector | 9,2322 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 10,2322 | 2 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -5 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | -8 | 47 |
| | vector | 3 | -35 |
| | CM del vector | 1,3056 | -15,232 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -6,6944 | 31,768 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 5 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | 8 | 47 |
| | vector | -3 | -35 |
| | CM del vector | -1,3056 | -15,232 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 6,6944 | 31,768 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -8 | 47 |
| | articulació proximal (maluc) | -10 | 88 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| | vector | 2 | -41 |
| | CM del vector | 0,7224 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -9,2776 | 61,8092 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 8 | 47 |
| | articulació proximal (<i>maluc</i>) | 10 | 88 |
| | vector | -2 | -41 |
| | CM del vector | -0,7224 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 9,2776 | 73,1908 |
| Coll + cap | articulació distal (<i>dalt del cap</i>) | 0 | 169 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | vector | 0 | 33 |
| | CM del vector | 0 | 15,9753 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 151,9753 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | -0,00418544 | 88,52500408 |

| 1ª POSICIÓ EN RELEVÉ | | | |
|-----------------------------|---|---------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | -1 | 110 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | -16 | 113 |
| | vector | 15 | -3 |
| | CM del vector | 11,211 | -2,2422 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -4,789 | 110,7578 |
| Mà esquerra | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | 3 | 110 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | 18 | 113 |
| | vector | -15 | -3 |
| | CM del vector | -11,211 | -2,2422 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 6,789 | 110,7578 |
| Avantbraç dret | articulació distal (<i>canell</i>) | -16 | 113 |
| | articulació proximal (<i>colze</i>) | -31 | 124 |
| | vector | 15 | -11 |
| | CM del vector | 6,8385 | -5,0149 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | -24,1615 | 118,9851 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 18 | 113 |
| | articulació proximal (colze) | 34 | 123 |
| | vector | -16 | -10 |
| | CM del vector | -7,2944 | -4,559 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 26,7056 | 118,441 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -31 | 124 |
| | articulació proximal (espatlla) | -14 | 146 |
| | vector | -17 | -22 |
| | CM del vector | -9,7818 | -12,6588 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -23,7818 | 133,3412 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 34 | 123 |
| | articulació proximal (espatlla) | 17 | 146 |
| | vector | 17 | -23 |
| | CM del vector | 9,7818 | -13,2342 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 26,7818 | 132,7658 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 146 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 99 |
| | vector | 0 | 47 |
| | CM del vector | 0 | 17,7754 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 116,7754 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -21 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | -10 | 20 |
| | vector | -11 | -20 |
| | CM del vector | -4,4154 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -14,4154 | 11,972 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 21 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | 12 | 20 |
| | vector | 9 | -20 |
| | CM del vector | 3,6126 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 15,6126 | 11,972 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tormell) | -16 | 26 |
| | articulació proximal (genoll) | -16 | 58 |
| | vector | 0 | -32 |
| | CM del vector | 0 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -16 | 44,0736 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tormell) | 18 | 26 |
| | articulació proximal (genoll) | 16 | 58 |
| | vector | 2 | -32 |
| | CM del vector | 0,8704 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 16,8704 | 44,0736 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -16 | 58 |
| | articulació proximal (maluc) | -13 | 99 |
| | vector | -3 | -41 |
| | CM del vector | -1,0836 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -14,0836 | 72,8092 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 16 | 58 |
| | articulació proximal (maluc) | 14 | 99 |
| | vector | 2 | -41 |
| | CM del vector | 0,7224 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 14,7224 | 84,1908 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 2 | 179 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 146 |
| | vector | 2 | 33 |
| | CM del vector | 0,9682 | 15,9753 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,9682 | 161,9753 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,27453334 | 99,59896932 |

| 2ª POSICIÓ | | | |
|------------|----------------------------------|-------|-------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -59 | 112 |
| | articulació proximal (canell) | -55 | 120 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | vector | -4 | -8 |
| | CM del vector | -2,9896 | -5,9792 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -57,9896 | 114,0208 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 59 | 112 |
| | articulació proximal (canell) | 56 | 120 |
| | vector | 3 | -8 |
| | CM del vector | 2,2422 | -5,9792 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 58,2422 | 114,0208 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -55 | 120 |
| | articulació proximal (colze) | -36 | 125 |
| | vector | -19 | -5 |
| | CM del vector | -8,6621 | -2,2795 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -44,6621 | 122,7205 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 56 | 120 |
| | articulació proximal (colze) | 39 | 125 |
| | vector | 17 | -5 |
| | CM del vector | 7,7503 | -2,2795 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 46,7503 | 122,7205 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -36 | 125 |
| | articulació proximal (espatlla) | -17 | 136 |
| | vector | -19 | -11 |
| | CM del vector | -10,9326 | -6,3294 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -27,9326 | 129,6706 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 39 | 125 |
| | articulació proximal (espatlla) | 18 | 136 |
| | vector | 21 | -11 |
| | CM del vector | 12,0834 | -6,3294 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 30,0834 | 129,6706 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 88 |
| | vector | 0 | 48 |

| | | | |
|-------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | CM del vector | 0 | 18,1536 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 106,1536 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -38 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | -14 | 2 |
| | vector | -24 | 0 |
| | CM del vector | -9,6336 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -23,6336 | 2 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 38 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | 15 | 2 |
| | vector | 23 | 0 |
| | CM del vector | 9,2322 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 24,2322 | 2 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tormell) | -17 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | -16 | 47 |
| | vector | -1 | -35 |
| | CM del vector | -0,4352 | -15,232 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -16,4352 | 31,768 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tormell) | 18 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | 16 | 47 |
| | vector | 2 | -35 |
| | CM del vector | 0,8704 | -15,232 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 16,8704 | 31,768 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -16 | 47 |
| | articulació proximal (maluc) | -11 | 88 |
| | vector | -5 | -41 |
| | CM del vector | -1,806 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -12,806 | 61,8092 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 16 | 47 |
| | articulació proximal (maluc) | 11 | 88 |
| | vector | 5 | -41 |
| | CM del vector | 1,806 | -14,8092 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | 12,806 | 73,1908 |
| Coll + cap | articulació distal (<i>dalt del cap</i>) | 1 | 169 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | vector | 1 | 33 |
| | CM del vector | 0,4841 | 15,9753 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,4841 | 151,9753 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,14607006 | 89,69015388 |

| 2ª POSICIÓN EN RELEVÉ | | | |
|------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | -53 | 118 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | -53 | 128 |
| | vector | 0 | -10 |
| | CM del vector | 0 | -7,474 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -53 | 120,526 |
| Mà esquerra | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | 53 | 118 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | 53 | 128 |
| | vector | 0 | -10 |
| | CM del vector | 0 | -7,474 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 53 | 120,526 |
| Avantbraç dret | articulació distal (<i>canell</i>) | -53 | 128 |
| | articulació proximal (<i>colze</i>) | -36 | 134 |
| | vector | -17 | -6 |
| | CM del vector | -7,7503 | -2,7354 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -43,7503 | 131,2646 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (<i>canell</i>) | 53 | 128 |
| | articulació proximal (<i>colze</i>) | 38 | 134 |
| | vector | 15 | -6 |
| | CM del vector | 6,8385 | -2,7354 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 44,8385 | 131,2646 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (<i>colze</i>) | -36 | 134 |

| | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | articulació proximal (espatlla) | -17 | 147 |
| | vector | -19 | -13 |
| | CM del vector | -10,9326 | -7,4802 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -27,9326 | 139,5198 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 38 | 134 |
| | articulació proximal (espatlla) | 18 | 147 |
| | vector | 20 | -13 |
| | CM del vector | 11,508 | -7,4802 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 29,508 | 139,5198 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 147 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 99 |
| | vector | 0 | 48 |
| | CM del vector | 0 | 18,1536 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 117,1536 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -30 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | -17 | 18 |
| | vector | -13 | -18 |
| | CM del vector | -5,2182 | -7,2252 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -22,2182 | 10,7748 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 30 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | 19 | 18 |
| | vector | 11 | -18 |
| | CM del vector | 4,4154 | -7,2252 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 23,4154 | 10,7748 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -24 | 24 |
| | articulació proximal (genoll) | -17 | 58 |
| | vector | -7 | -34 |
| | CM del vector | -3,0464 | -14,7968 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -20,0464 | 43,2032 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 25 | 24 |
| | articulació proximal (genoll) | 18 | 58 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | vector | 7 | -34 |
| | CM del vector | 3,0464 | -14,7968 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 21,0464 | 43,2032 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -17 | 58 |
| | articulació proximal (maluc) | -11 | 99 |
| | vector | -6 | -41 |
| | CM del vector | -2,1672 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -13,1672 | 72,8092 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 18 | 58 |
| | articulació proximal (maluc) | 12 | 99 |
| | vector | 6 | -41 |
| | CM del vector | 2,1672 | -14,8092 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 14,1672 | 84,1908 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 2 | 179 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 147 |
| | vector | 2 | 32 |
| | CM del vector | 0,9682 | 15,4912 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,9682 | 162,4912 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,29887162 | 100,4654567 |

| 4ª POSICIÓ | | | |
|-------------|---|----------------|----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -3 | 192 |
| | articulació proximal (canell) | -19 | 182 |
| | vector | 16 | 10 |
| | CM del vector | 11,9584 | 7,474 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,0416 | 189,474 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 9 | 97 |
| | articulació proximal (canell) | 23 | 102 |
| | vector | -14 | -5 |
| | CM del vector | -10,4636 | -3,737 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | 12,5364 | 98,263 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -19 | 182 |
| | articulació proximal (colze) | -30 | 160 |
| | vector | 11 | 22 |
| | CM del vector | 5,0149 | 10,0298 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -24,9851 | 170,0298 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 23 | 102 |
| | articulació proximal (colze) | 30 | 113 |
| | vector | -7 | -11 |
| | CM del vector | -3,1913 | -5,0149 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 26,8087 | 107,9851 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -30 | 160 |
| | articulació proximal (espatlla) | -11 | 138 |
| | vector | -19 | 22 |
| | CM del vector | -10,9326 | 12,6588 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -21,9326 | 150,6588 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 30 | 113 |
| | articulació proximal (espatlla) | 17 | 136 |
| | vector | 13 | -23 |
| | CM del vector | 7,4802 | -13,2342 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 24,4802 | 122,7658 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 138 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 86 |
| | vector | 0 | 52 |
| | CM del vector | 0 | 19,6664 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 105,6664 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -11 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | 13 | 2 |
| | vector | -24 | 0 |
| | CM del vector | -9,6336 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 3,3664 | 2 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 11 | 3 |
| | articulació proximal (taló) | -11 | 4 |
| | vector | 22 | -1 |
| | CM del vector | 8,8308 | -0,4014 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -2,1692 | 3,5986 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tormell) | -8 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | -4 | 44 |
| | vector | -4 | -32 |
| | CM del vector | -1,7408 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -5,7408 | 30,0736 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tormell) | 7 | 14 |
| | articulació proximal (genoll) | 5 | 44 |
| | vector | 2 | -30 |
| | CM del vector | 0,8704 | -13,056 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 5,8704 | 30,944 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -4 | 44 |
| | articulació proximal (maluc) | -11 | 86 |
| | vector | 7 | -42 |
| | CM del vector | 2,5284 | -15,1704 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -8,4716 | 59,1704 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 5 | 44 |
| | articulació proximal (maluc) | 12 | 86 |
| | vector | -7 | -42 |
| | CM del vector | -2,5284 | -15,1704 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 9,4716 | 70,8296 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 1 | 169 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 138 |
| | vector | 1 | 31 |
| | CM del vector | 0,4841 | 15,0071 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,4841 | 153,0071 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,32271588 | 89,85505602 |

| 4ª POSICIÓN EN RELEVÉ | | | |
|---------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -3 | 112 |
| | articulació proximal (canell) | -20 | 117 |
| | vector | 17 | -5 |
| | CM del vector | 12,7058 | -3,737 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,2942 | 113,263 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 10 | 202 |
| | articulació proximal (canell) | 23 | 196 |
| | vector | -13 | 6 |
| | CM del vector | -9,7162 | 4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 13,2838 | 200,4844 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -20 | 117 |
| | articulació proximal (colze) | -28 | 127 |
| | vector | 8 | -10 |
| | CM del vector | 3,6472 | -4,559 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -24,3528 | 122,441 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 23 | 196 |
| | articulació proximal (colze) | 32 | 173 |
| | vector | -9 | 23 |
| | CM del vector | -4,1031 | 10,4857 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 27,8969 | 183,4857 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -28 | 127 |
| | articulació proximal (espatlla) | -14 | 150 |
| | vector | -14 | -23 |
| | CM del vector | -8,0556 | -13,2342 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -22,0556 | 136,7658 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 32 | 173 |
| | articulació proximal (espatlla) | 13 | 152 |
| | vector | 19 | 21 |

| | | | |
|-------------------------|--|----------------|-----------------|
| | CM del vector | 10,9326 | 12,0834 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 23,9326 | 164,0834 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 151 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 99 |
| | vector | 0 | 52 |
| | CM del vector | 0 | 19,6664 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 118,6664 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -1 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | -5 | 20 |
| | vector | 4 | -20 |
| | CM del vector | 1,6056 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -3,3944 | 11,972 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 4 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | 7 | 22 |
| | vector | -3 | -22 |
| | CM del vector | -1,2042 | -8,8308 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 5,7958 | 13,1692 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -1 | 28 |
| | articulació proximal (genoll) | -5 | 61 |
| | vector | 4 | -33 |
| | CM del vector | 1,7408 | -14,3616 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -3,2592 | 46,6384 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 1 | 26 |
| | articulació proximal (genoll) | 7 | 61 |
| | vector | -6 | -35 |
| | CM del vector | -2,6112 | -15,232 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 4,3888 | 45,768 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -5 | 61 |
| | articulació proximal (maluc) | -11 | 99 |
| | vector | 6 | -38 |
| | CM del vector | 2,1672 | -13,7256 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | -8,8328 | 74,7256 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 7 | 61 |
| | articulació proximal (maluc) | 8 | 99 |
| | vector | -1 | -38 |
| | CM del vector | -0,3612 | -13,7256 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 7,6388 | 85,2744 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 2 | 182 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 151 |
| | vector | 2 | 31 |
| | CM del vector | 0,9682 | 15,0071 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,9682 | 166,0071 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,07149034 | 103,6849252 |

| 5ª POSICIÓN | | | |
|--------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -3 | 191 |
| | articulació proximal (canell) | -17 | 185 |
| | vector | 14 | 6 |
| | CM del vector | 10,4636 | 4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -6,5364 | 189,4844 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 10 | 191 |
| | articulació proximal (canell) | 23 | 185 |
| | vector | -13 | 6 |
| | CM del vector | -9,7162 | 4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 13,2838 | 189,4844 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -17 | 185 |
| | articulació proximal (colze) | -25 | 160 |
| | vector | 8 | 25 |
| | CM del vector | 3,6472 | 11,3975 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -21,3528 | 171,3975 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 23 | 185 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | articulació proximal (colze) | 30 | 160 |
| | vector | -7 | 25 |
| | CM del vector | -3,1913 | 11,3975 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 26,8087 | 171,3975 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -25 | 160 |
| | articulació proximal (espatlla) | -7 | 138 |
| | vector | -18 | 22 |
| | CM del vector | -10,3572 | 12,6588 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -17,3572 | 150,6588 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 30 | 160 |
| | articulació proximal (espatlla) | 12 | 138 |
| | vector | 18 | 22 |
| | CM del vector | 10,3572 | 12,6588 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 22,3572 | 150,6588 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 138 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 88 |
| | vector | 0 | 50 |
| | CM del vector | 0 | 18,91 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 106,91 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -13 | 3 |
| | articulació proximal (taló) | 10 | 3 |
| | vector | -23 | 0 |
| | CM del vector | -9,2322 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,7678 | 3 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 9 | 3 |
| | articulació proximal (taló) | -14 | 3 |
| | vector | 23 | 0 |
| | CM del vector | 9,2322 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -4,7678 | 3 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -3 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | -4 | 44 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | vector | 1 | -32 |
| | CM del vector | 0,4352 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -3,5648 | 30,0736 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 6 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | 5 | 44 |
| | vector | 1 | -32 |
| | CM del vector | 0,4352 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 5,4352 | 30,0736 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -4 | 44 |
| | articulació proximal (maluc) | -9 | 88 |
| | vector | 5 | -44 |
| | CM del vector | 1,806 | -15,8928 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,194 | 59,8928 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 5 | 44 |
| | articulació proximal (maluc) | 10 | 88 |
| | vector | -5 | -44 |
| | CM del vector | -1,806 | -15,8928 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 8,194 | 72,1072 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 1 | 169 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 138 |
| | vector | 1 | 31 |
| | CM del vector | 0,4841 | 15,0071 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,4841 | 153,0071 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,45908098 | 92,75962768 |

| 5ª POSICIÓ EN RELEVÉ | | | |
|-----------------------------|---|---------|--------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | -4 | 202 |
| | articulació proximal (canell) | -18 | 196 |
| | vector | 14 | 6 |
| | CM del vector | 10,4636 | 4,4844 |

| | | | |
|---------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,5364 | 200,4844 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 8 | 202 |
| | articulació proximal (canell) | 23 | 196 |
| | vector | -15 | 6 |
| | CM del vector | -11,211 | 4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 11,789 | 200,4844 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -18 | 196 |
| | articulació proximal (colze) | -26 | 173 |
| | vector | 8 | 23 |
| | CM del vector | 3,6472 | 10,4857 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -22,3528 | 183,4857 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 23 | 196 |
| | articulació proximal (colze) | 32 | 173 |
| | vector | -9 | 23 |
| | CM del vector | -4,1031 | 10,4857 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 27,8969 | 183,4857 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -26 | 173 |
| | articulació proximal (espatlla) | -6 | 152 |
| | vector | -20 | 21 |
| | CM del vector | -11,508 | 12,0834 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -17,508 | 164,0834 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 32 | 173 |
| | articulació proximal (espatlla) | 13 | 152 |
| | vector | 19 | 21 |
| | CM del vector | 10,9326 | 12,0834 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 23,9326 | 164,0834 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 152 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 99 |
| | vector | 0 | 53 |
| | CM del vector | 0 | 20,0446 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 119,0446 |

| | | | |
|-------------------------|---|----------------|----------------|
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | 3 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | 11 | 21 |
| | vector | -8 | -21 |
| | CM del vector | -3,2112 | -8,4294 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 7,7888 | 12,5706 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | -3 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | -5 | 21 |
| | vector | 2 | -21 |
| | CM del vector | 0,8028 | -8,4294 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -4,1972 | 12,5706 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | 3 | 28 |
| | articulació proximal (genoll) | -5 | 61 |
| | vector | 8 | -33 |
| | CM del vector | 3,4816 | -14,3616 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -1,5184 | 46,6384 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 0 | 28 |
| | articulació proximal (genoll) | 8 | 61 |
| | vector | -8 | -33 |
| | CM del vector | -3,4816 | -14,3616 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 4,5184 | 46,6384 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -5 | 61 |
| | articulació proximal (maluc) | -11 | 99 |
| | vector | 6 | -38 |
| | CM del vector | 2,1672 | -13,7256 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -8,8328 | 74,7256 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 8 | 61 |
| | articulació proximal (maluc) | 11 | 99 |
| | vector | -3 | -38 |
| | CM del vector | -1,0836 | -13,7256 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 9,9164 | 85,2744 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 3 | 182 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 152 |
| | vector | 3 | 30 |
| | CM del vector | 1,4523 | 14,523 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 1,4523 | 166,523 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 0,64727604 | 105,9497466 |

| <i>PASSÉ</i> | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | 4 | 97 |
| | articulació proximal (canell) | -9 | 102 |
| | vector | 13 | -5 |
| | CM del vector | 9,7162 | -3,737 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,7162 | 98,263 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 12 | 97 |
| | articulació proximal (canell) | 26 | 100 |
| | vector | -14 | -3 |
| | CM del vector | -10,4636 | -2,2422 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 15,5364 | 97,7578 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -9 | 102 |
| | articulació proximal (colze) | -26 | 113 |
| | vector | 17 | -11 |
| | CM del vector | 7,7503 | -5,0149 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -18,2497 | 107,9851 |
| Avantbraç esquerra | articulació distal (canell) | 26 | 100 |
| | articulació proximal (colze) | 42 | 112 |
| | vector | -16 | -12 |
| | CM del vector | -7,2944 | -5,4708 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 34,7056 | 106,5292 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -26 | 113 |
| | articulació proximal (espatlla) | -6 | 136 |
| | vector | -20 | -23 |

| | | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | CM del vector | -11,508 | -13,2342 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -17,508 | 122,7658 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 42 | 112 |
| | articulació proximal (espatlla) | 17 | 136 |
| | vector | 25 | -24 |
| | CM del vector | 14,385 | -13,8096 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 31,385 | 122,1904 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 87 |
| | vector | 0 | 49 |
| | CM del vector | 0 | 18,5318 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 105,5318 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -3 | 46 |
| | articulació proximal (taló) | -10 | 66 |
| | vector | 7 | -20 |
| | CM del vector | 2,8098 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -7,1902 | 57,972 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 13 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | -6 | 2 |
| | vector | 19 | 0 |
| | CM del vector | 7,6266 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 1,6266 | 2 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -18 | 65 |
| | articulació proximal (genoll) | -46 | 87 |
| | vector | 28 | -22 |
| | CM del vector | 12,1856 | -9,5744 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -33,8144 | 77,4256 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | -1 | 12 |
| | articulació proximal (genoll) | 7 | 45 |
| | vector | -8 | -33 |
| | CM del vector | -3,4816 | -14,3616 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|--------------------|-------------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | 3,5184 | 30,6384 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -46 | 87 |
| | articulació proximal (maluc) | -4 | 87 |
| | vector | -42 | 0 |
| | CM del vector | -15,1704 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -19,1704 | 87 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 7 | 45 |
| | articulació proximal (maluc) | 14 | 87 |
| | vector | -7 | -42 |
| | CM del vector | -2,5284 | -15,1704 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 11,4716 | 71,8296 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 8 | 168 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 136 |
| | vector | 8 | 32 |
| | CM del vector | 3,8728 | 15,4912 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 3,8728 | 151,4912 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | -1,73621816 | 94,8059816 |

| PASSÉ EN RELEVÉ | | | |
|------------------------|---|----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | 4 | 114 |
| | articulació proximal (canell) | -10 | 117 |
| | vector | 14 | -3 |
| | CM del vector | 10,4636 | -2,2422 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0,4636 | 114,7578 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 10 | 114 |
| | articulació proximal (canell) | 26 | 117 |
| | vector | -16 | -3 |
| | CM del vector | -11,9584 | -2,2422 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 14,0416 | 114,7578 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | -10 | 117 |
| | articulació proximal (colze) | -25 | 126 |
| | vector | 15 | -9 |
| | CM del vector | 6,8385 | -4,1031 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -18,1615 | 121,8969 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 26 | 117 |
| | articulació proximal (colze) | 43 | 126 |
| | vector | -17 | -9 |
| | CM del vector | -7,7503 | -4,1031 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 35,2497 | 121,8969 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | -25 | 126 |
| | articulació proximal (espatlla) | -4 | 150 |
| | vector | -21 | -24 |
| | CM del vector | -12,0834 | -13,8096 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -16,0834 | 136,1904 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 43 | 126 |
| | articulació proximal (espatlla) | 24 | 150 |
| | vector | 19 | -24 |
| | CM del vector | 10,9326 | -13,8096 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 34,9326 | 136,1904 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 150 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 100 |
| | vector | 0 | 50 |
| | CM del vector | 0 | 18,91 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 118,91 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | 1 | 53 |
| | articulació proximal (taló) | -7 | 73 |
| | vector | 8 | -20 |
| | CM del vector | 3,2112 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -3,7888 | 64,972 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 2 | 1 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| | articulació proximal (taló) | -3 | 21 |
| | vector | 5 | -20 |
| | CM del vector | 2,007 | -8,028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -0,993 | 12,972 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -16 | 71 |
| | articulació proximal (genoll) | -46 | 92 |
| | vector | 30 | -21 |
| | CM del vector | 13,056 | -9,1392 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -32,944 | 82,8608 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 4 | 25 |
| | articulació proximal (genoll) | 10 | 55 |
| | vector | -6 | -30 |
| | CM del vector | -2,6112 | -13,056 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 7,3888 | 41,944 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -46 | 92 |
| | articulació proximal (maluc) | -7 | 100 |
| | vector | -39 | -8 |
| | CM del vector | -14,0868 | -2,8896 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -21,0868 | 94,8896 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 10 | 55 |
| | articulació proximal (maluc) | 14 | 100 |
| | vector | -4 | -45 |
| | CM del vector | -1,4448 | -16,254 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 12,5552 | 83,746 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 11 | 183 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 150 |
| | vector | 11 | 33 |
| | CM del vector | 5,3251 | 15,9753 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 5,3251 | 165,9753 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | -1,4954569 | 106,7253104 |

| <i>ARABESQUE</i> | | | |
|---------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | 43 | 110 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | 37 | 118 |
| | vector | 6 | -8 |
| | CM del vector | 4,4844 | -5,9792 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 41,4844 | 112,0208 |
| Mà esquerra | articulació distal (<i>dit del mig</i>) | 100 | 118 |
| | articulació proximal (<i>canell</i>) | 87 | 124 |
| | vector | 13 | -6 |
| | CM del vector | 9,7162 | -4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 96,7162 | 119,5156 |
| Avantbraç dret | articulació distal (<i>canell</i>) | 37 | 118 |
| | articulació proximal (<i>colze</i>) | 29 | 121 |
| | vector | 8 | -3 |
| | CM del vector | 3,6472 | -1,3677 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 32,6472 | 119,6323 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (<i>canell</i>) | 87 | 124 |
| | articulació proximal (<i>colze</i>) | 66 | 121 |
| | vector | 21 | 3 |
| | CM del vector | 9,5739 | 1,3677 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 75,5739 | 122,3677 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (<i>colze</i>) | 29 | 121 |
| | articulació proximal (<i>espatlla</i>) | 26 | 131 |
| | vector | 3 | -10 |
| | CM del vector | 1,7262 | -5,754 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 27,7262 | 125,246 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (<i>colze</i>) | 66 | 121 |
| | articulació proximal (<i>espatlla</i>) | 42 | 127 |
| | vector | 24 | -6 |
| | CM del vector | 13,8096 | -3,4524 |

| | | | |
|-------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | CM respecte l'eix de coordenades | 55,8096 | 123,5476 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 128 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 89 |
| | vector | 0 | 39 |
| | CM del vector | 0 | 14,7498 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 103,7498 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -92 | 100 |
| | articulació proximal (taló) | -72 | 98 |
| | vector | -20 | 2 |
| | CM del vector | -8,028 | 0,8028 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -80,028 | 98,8028 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 23 | 2 |
| | articulació proximal (taló) | -1 | 2 |
| | vector | 24 | 0 |
| | CM del vector | 9,6336 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 8,6336 | 2 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -67 | 98 |
| | articulació proximal (genoll) | -30 | 99 |
| | vector | -37 | -1 |
| | CM del vector | -16,1024 | -0,4352 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -46,1024 | 98,5648 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tornell) | 3 | 13 |
| | articulació proximal (genoll) | 8 | 45 |
| | vector | -5 | -32 |
| | CM del vector | -2,176 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 5,824 | 31,0736 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -30 | 99 |
| | articulació proximal (maluc) | 9 | 95 |
| | vector | -39 | 4 |
| | CM del vector | -14,0868 | 1,4448 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -5,0868 | 97,5552 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 8 | 45 |
| | articulació proximal (maluc) | 9 | 84 |
| | vector | -1 | -39 |
| | CM del vector | -0,3612 | -14,0868 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 8,6388 | 69,9132 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 30 | 162 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 128 |
| | vector | 30 | 34 |
| | CM del vector | 14,523 | 16,4594 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 14,523 | 144,4594 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 3,03428064 | 97,09478608 |

| <i>ARABESQUE EN RELEVÉ</i> | | | |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Segment | | eix x | eix y |
| Mà dreta | articulació distal (dit del mig) | 0 | 132 |
| | articulació proximal (canell) | 5 | 138 |
| | vector | -5 | -6 |
| | CM del vector | -3,737 | -4,4844 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 1,263 | 133,5156 |
| Mà esquerra | articulació distal (dit del mig) | 110 | 132 |
| | articulació proximal (canell) | 91 | 140 |
| | vector | 19 | -8 |
| | CM del vector | 14,2006 | -5,9792 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 105,2006 | 134,0208 |
| Avantbraç dret | articulació distal (canell) | 5 | 138 |
| | articulació proximal (colze) | 12 | 138 |
| | vector | -7 | 0 |
| | CM del vector | -3,1913 | 0 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 8,8087 | 138 |
| Avantbraç esquerre | articulació distal (canell) | 91 | 140 |
| | articulació proximal (colze) | 67 | 136 |

| | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | vector | 24 | 4 |
| | CM del vector | 10,9416 | 1,8236 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 77,9416 | 137,8236 |
| Part superior del braç dret | articulació distal (colze) | 12 | 138 |
| | articulació proximal (espatlla) | 20 | 144 |
| | vector | -8 | -6 |
| | CM del vector | -4,6032 | -3,4524 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 15,3968 | 140,5476 |
| Part superior del braç esquerra | articulació distal (colze) | 67 | 136 |
| | articulació proximal (espatlla) | 42 | 141 |
| | vector | 25 | -5 |
| | CM del vector | 14,385 | -2,877 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 56,385 | 138,123 |
| Tronc | articulació distal (línia de l'espatlla) | 0 | 143 |
| | articulació proximal (línia del maluc) | 0 | 102 |
| | vector | 0 | 41 |
| | CM del vector | 0 | 15,5062 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 0 | 117,5062 |
| Peu dret | articulació distal (dit gros) | -95 | 115 |
| | articulació proximal (taló) | -77 | 114 |
| | vector | -18 | 1 |
| | CM del vector | -7,2252 | 0,4014 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -84,2252 | 114,4014 |
| Peu esquerra | articulació distal (dit gros) | 12 | 0 |
| | articulació proximal (taló) | 0 | 17 |
| | vector | 12 | -17 |
| | CM del vector | 4,8168 | -6,8238 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 4,8168 | 10,1762 |
| Tou de la cama dreta | articulació distal (tornell) | -71 | 114 |
| | articulació proximal (genoll) | -37 | 111 |
| | vector | -34 | 3 |

| | | | |
|-----------------------------------|--|------------------|--------------------|
| | CM del vector | -14,7968 | 1,3056 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -51,7968 | 112,3056 |
| Tou de la cama esquerra | articulació distal (tormell) | 7 | 25 |
| | articulació proximal (genoll) | 10 | 57 |
| | vector | -3 | -32 |
| | CM del vector | -1,3056 | -13,9264 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 8,6944 | 43,0736 |
| Cuixa dreta | articulació distal (genoll) | -37 | 111 |
| | articulació proximal (maluc) | 8 | 110 |
| | vector | -45 | 1 |
| | CM del vector | -16,254 | 0,3612 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | -8,254 | 110,6388 |
| Cuixa esquerra | articulació distal (genoll) | 10 | 57 |
| | articulació proximal (maluc) | 10 | 96 |
| | vector | 0 | -39 |
| | CM del vector | 0 | -14,0868 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 10 | 81,9132 |
| Coll + cap | articulació distal (dalt del cap) | 30 | 174 |
| | articulació proximal (línia de l'espatlla) | 0 | 143 |
| | vector | 30 | 31 |
| | CM del vector | 14,523 | 15,0071 |
| | CM respecte l'eix de coordenades | 14,523 | 158,0071 |
| CENTRE DE GRAVETAT DEL COS | | 1,7543876 | 110,5396602 |

