



EPS

Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: Disseny d'una plataforma per a la pràctica del *boccia*

Document: Memòria

Alumne: Marc Soler Dellonder

Director/Tutor: Lluís Ripoll

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Juny 2014

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	5
1.1	Antecedents.....	5
1.2	Objecte	6
1.3	Especificacions i abast	7
2	DESCRIPCIÓ GENERAL	9
2.1	Configuració de la solució.....	9
2.2	Masses i dimensions generals.....	14
3	COMPONENTS DE LA PLATAFORMA.....	15
3.1	Subconjunt base (01-00).....	15
3.2	Subconjunt rampa (02-00)	16
3.3	Subconjunt motriu (03-00)	18
3.4	Subconjunt bateria (05-00)	19
4	PRINCIPI DE FUNCIONAMENT	20
4.1	Actuadors	20
4.1.1	Perquè hem elegit actuadors lineals elèctrics?	20
4.2	Panell de control.....	22
4.2.1	Comunicació i alimentació del panell de control.....	22
5	DESCRIPCIÓ DELS MOVIMENTS.....	24
5.1	Rotació eix y	24
5.2	Translació eix y.....	27

5.3	Rotació eix z	29
5.4	Extensió de la rampa	32
5.5	Abatiment rodes	34
6	PRECISIÓ DE LA PLATAFORMA	36
6.1	Precisió en ajustos.....	36
6.2	Precisió en actuadors	37
6.3	Millora de precisió.....	37
7	MÉTODE D'UTILITZACIÓ DE LA PLATAFORMA	38
8	MILLORES DE LA PLATAFORMA AUTOMÀTICA RESPECTE LA MANUAL ..	40
9	CONSIDERACIONS DE LA RAMPA	43
9.1	Consideracions del panell de control	43
9.2	Consideracions estructurals.....	43
9.3	Sistemes auxiliars.....	43
10	RESUM DEL PRESSUPOST	44
11	CONCLUSIONS	45
12	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	46
ANNEX A:	EVOLUCIÓ DE LA RAMPA DE BOCCIA.....	47
A.1	Rampa convencional.....	48
A.2	Primer disseny de rampa automatitzada	49
A.3	Disseny definitiu rampa automatitzada.....	51
ANNEX B:	ACTUADORS.....	53
B.1	Principi de funcionament de l'actuator.....	55
B.2	Característiques tècniques dels actuadors:.....	56

ANNEX C: CÀLCULS	60
C.1 Càlculs de precisió de l'ajust de direcció.....	61
C.2 Càlculs de precisió per el joc entre unions.	63
C.3 Conclusions	64

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

El bocchia és un esport internacional molt similar a la petanca. Hi participen persones amb cadira de rodes, amb greus afectacions per paràlisi cerebral i altres discapacitats físiques severes. A partir de la categoria BC3 (discapacitats en ambdós extremitats) la bola es tira a través d'una rampa o canaleta ajustable en altura, inclinació i direcció. És un joc de precisió i estratègia.

El joc consisteix en tirar una bola diana de color blanc, i acostar-s'hi el més possible. El jugador o equip que s'hi acosta més suma punts, quan han passat un cert nombre de rondes l'equip amb més punts és el guanyador.



Figura 1.1. Rampa de bocchia manual.

Degut a que els participants no poden moure ni els braços ni les cames, han de donar indicacions a un auxiliar perquè els hi reguli la rampa.

Empreses i participants del col·lectiu del bocca ens ha demanat alguna solució per poder prescindir de l'auxiliar a la hora d'ajustar la rampa. L'auxiliar haurà de seguir col·locant la bola de bocca i deixar-la anar des de la part superior de la rampa. Però així el participant podrà regular ell mateix la posició de la rampa, millorant així la seva experiència en el joc.

1.2 Objecte

Dissenyar un mecanisme perquè un discapacitat pugui jugar a la bocca. Ha de permetre un control total del posicionament de la rampa, per part del discapacitat: Moviment de translació vertical, rotació en l'eix z per poder canviar la inclinació i un moviment de rotació en l'eix y per poder ajustar la direcció. La intenció és automatitzar la rampa amb un mecanisme d'actuadors elèctrics, perquè el jugador, mitjançant un panell de control equipat amb *joysticks* pugui ajustar la rampa segons les seves necessitats.

L'automatització de la plataforma, comportarà un augment de pes. Per garantir la comoditat durant el seu transport ha estat incorporat un sistema de rodes abatibles.

La rampa ha de ser precisa, ja que qualsevol desviament a la sortida de la rampa, va incrementant a mesura que la bola va avançant cap a la bola blanca objectiu.

La rampa ha de permetre un gir de $\pm 20^\circ$.

El moviment desitjat s'aconseguirà mitjançant un sistema d'infrarojos que envia una senyal al mecanisme. Permetent moure la rampa amunt i avall, variar la seva inclinació, i/o canviar la direcció de la rampa.

1.3 Especificacions i abast

Hem de considerar que el pes de la rampa amb els nous mecanismes afegits pot ser una mica excessiu per algunes persones. Com que s'ha de poder transportar amb facilitat, tot el mecanisme haurà d'anar equipat amb 4 rodes independents.

Les dimensions de la rampa són molt variables, en aquest cas utilitzarem una mida estàndard per tal de poder abarcar el màxim nombre de jugadors. La rampa la comprarem a un distribuïdor homologat.

Per tal de conservar la precisió del moviment, és important que la velocitat de rotació respecte l'eix y no sigui massa alta. No haurà de sobrepassar les 8 rpm.

La rotació (eix y) necessària per triar la direcció de la rampa serà de 20° per l'esquerra i 20° per la dreta com a mínim. Una rotació total de 40°.

La rampa o canal es pot moure's mitjançant qualsevol sistema mecànic sempre que aquest no li proporcioni una propulsió extra o una millora en la subjecció de la bola a la rampa.

La rampa haurà de desenvolupar tots els seus moviments a dins d'una superfície de 5x5 m.

L'abast d'aquest projecte és tot el disseny mecànic de la rampa automatitzada. Inclòs els actuadors i la informació (voltatge) que han de rebre per poder funcionar amb efectivitat. No abarca com s'envia aquesta informació (senyals) ni la instal·lació del sistema elèctric que hi ha darrera els actuadors.

La precisió és un tema a tenir en compte en el present projecte.

2 DESCRIPCIÓ GENERAL

2.1 Configuració de la solució

S'ha dissenyat una rampa semblant a la manual però automatitzat. Un cop finalitzat aquest disseny. S'ha intentar donar valor afegit a la rampa automatitzada i se n'ha obtingut un segon disseny més complex.

S'ha fet un primer disseny simple i s'ha millorat en un segon definitiu.

La primera solució escollida és una rampa convencional on se li han afegit tres actuadors elèctrics per tal de poder realitzar els tres moviments típics d'una rampa de bocca. Aquests tres moviments permeten ajustar la rampa en altura, en inclinació i en direcció, per tal de poder arribar a diferents punts amb la bola de bocca. Tal i com hem comentat amb anterioritat el valor diferencial del nostre producte és el moviment d'ajust de la rampa que es podrà fer de forma automàtica.

La rampa va muntada damunt d'una bancada, més grossa i més reforçada que les rampes manuals.

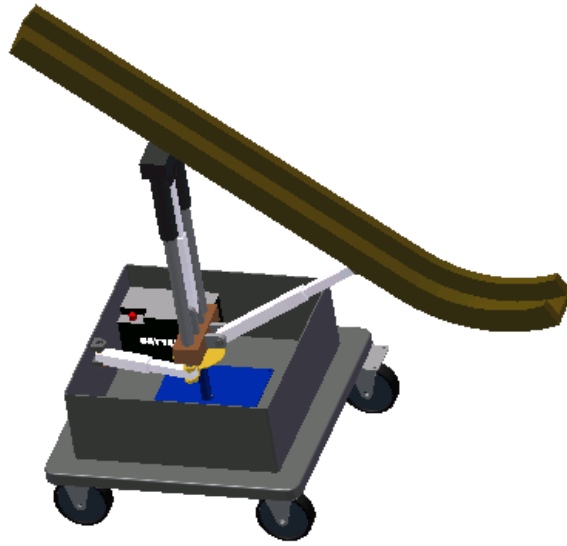


Figura 2.1. Primer disseny automatitzat.

Damunt d'aquesta es munta tot el mecanisme format per una base, un disc, els actuadors i unes guies que assegurin el correcte funcionament de l'actuador que ajusta la altura. També a sobre de la bancada s'instal·la la bateria que ens permetrà ajustar els actuadors de la rampa sense necessitat de tenir-la connectada a la corrent. Després es munten les rodes a la part inferior de la bancada. I finalment s'instal·la la rampa a la part superior de la guia que li retransmetrà el moviment.

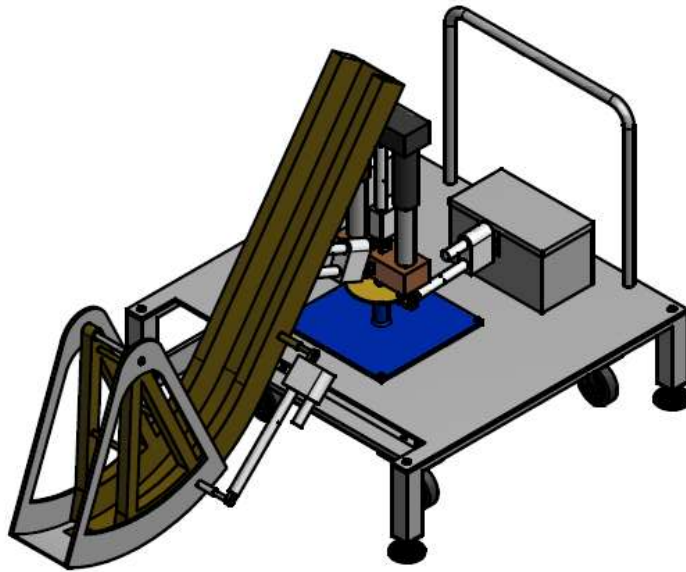


Figura 2.2. Millora del primer disseny.

El segon disseny incorpora rodes abatibles. Aquestes rodes es pleguen gràcies a un quadrilàter biarticulat, que és impulsat per un actuador elèctric. Un cop s'han plegat les rodes, tot el conjunt de la rampa queda recolzat en uns peus de nivell.



Figura 2.3. Vista posterior del conjunt base.

A més a més s'ha afegit una extensió al final de la rampa que permet regular l'arc de sortida de la canaleta per tal de llançar la bola més amunt o a ran de terra.

El moviment d'extensió de la rampa també anirà guiat per un actuador elèctric.

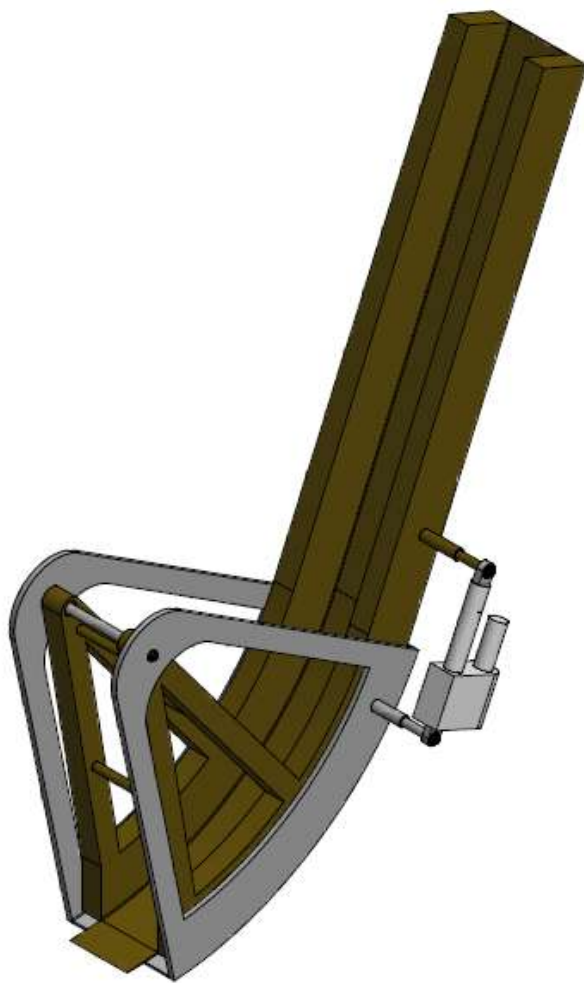


Figura 2.4. Extensió de la rampa.

2.2 Masses i dimensions generals

La concepció general de la rampa s'ha fet sota les premisses augmentar l'experiència i precisió del participant.

Massa= 105 kg

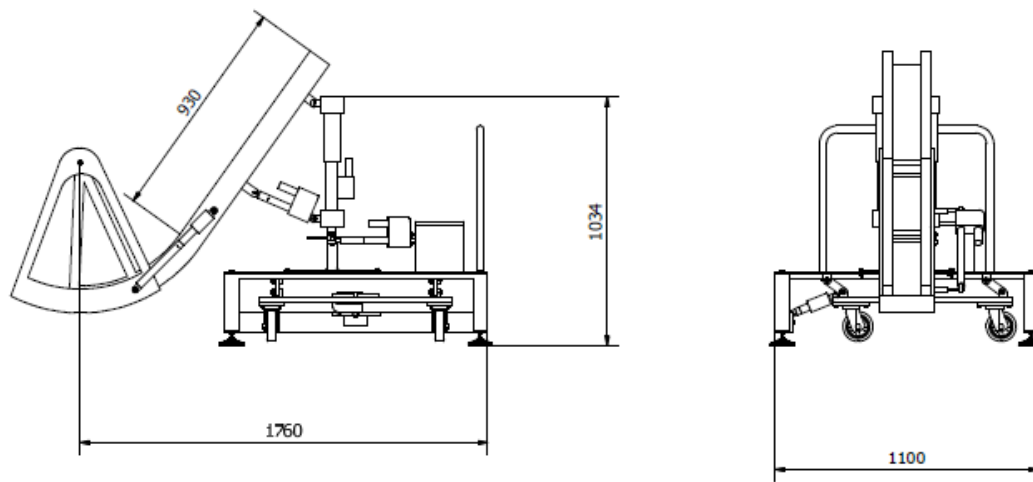


Figura 2.5. Mides generals de la plataforma.

3 COMPONENTS DE LA PLATAFORMA

En aquest capítol es mostraran les diferents parts que formen la plataforma de boccia.

3.1 Subconjunt base (01-00)

El subconjunt base ens permet poder transportar tota la plataforma. Inclou un mecanisme que a través de l'actuador lineal elèctric ens permet abatre les rodes quan ja hem arribat al terreny de joc per tal de guanyar en estabilitat i conseqüentment en precisió.

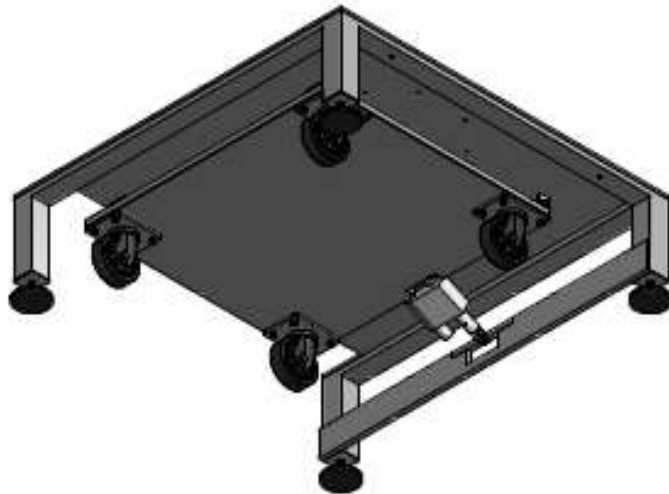


Figura 3.1. Subconjunt base.

Les rodes que porta el subconjunt són 4 rodes mòbils per tal de poder moure's en qualsevol direcció amb la màxima comoditat.

Els peus de nivell són de molt fàcil ajust perquè un cop a abatut les rodes pugui anivellar la rampa ràpidament.

A sobre del subconjunt base aniran instal·lats tots els altres components.

3.2 Subconjunt rampa (02-00)

El subconjunt rampa és l'element essencial de la plataforma.

Va equipada amb dos parells d'orelles per la part de darrera, que permetran ajustar la inclinació de la rampa.



Figura 3.2. Orelles de la rampa.

La rampa va acompanyada d'un acoblament que permet allargar-la i que li proporciona una sortida parabòlica a la bola . Aquest acoblament li dona un valor afegit al nostre producte, ja que cap altra plataforma de bocccia del mercat l'incorpora.

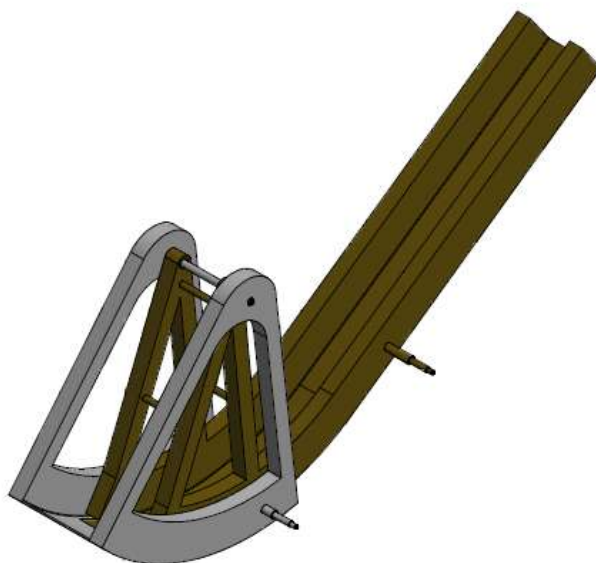


Figura 3.3. Subconjunt rampa.

Cal destacar que aquest nou element obre un nou ventall de possibilitats en els jugadors de bocca.

3.3 Subconjunt motriu (03-00)

Aquest subconjunt és l'encarregat de que tots el moviments afectin a la rampa a la vegada i per tant poder regular les seves posicions. La torre d'elevació o subconjunt motriu està format per unes guies que donaran l'altura a la rampa gràcies a un actuador elèctric que incorporen.

A la part superior de la guia hi ha dos parells d'orelles, un que permeten la rotació de la rampa i l'altre que permet l'ajust de l'altura.

A la part inferior tenim dos parells més d'orelles. Com a la part superior unes s'utilitzen per articular l'actuador que ens dona l'altura i les altres per articular l'actuador que ens permetrà regular la inclinació de la rampa.

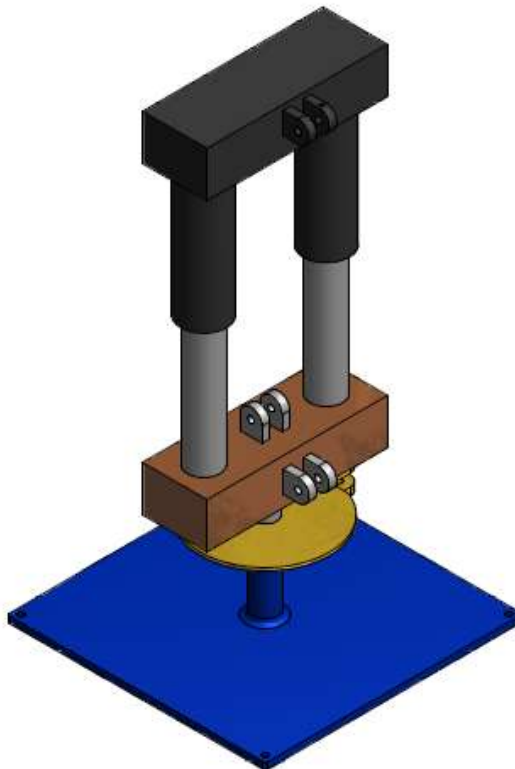


Figura 3.4. Subconjunt motriu.

Tot el sistema gira respecte un coixinet d'agulles que es troba allotjat en el tub de la base plana, per tal de facilitar el gir de tot el mecanisme.

Per sota la part inferior de la guia tenim el disc que ens permet convertir el moviment lineal de l'actuador elèctric en moviment angular que ens permet ajustar la direcció de la rampa.

El disc i la guia inferior giren solidaris gràcies a una unió per xaveta.

Aquest disc gira respecte la base quadrada que és la que està unida al subconjunt base mitjançant cargols.

Cal recalcar que tota la plataforma ha estat dissenyada pensant en que es pugui desmuntar per facilitar el seu transport, per tant totes les unions són desmuntables.

3.4 Subconjunt bateria (05-00)

Aquest subconjunt serveix per poder guardar la bateria en un lloc una mica protegit

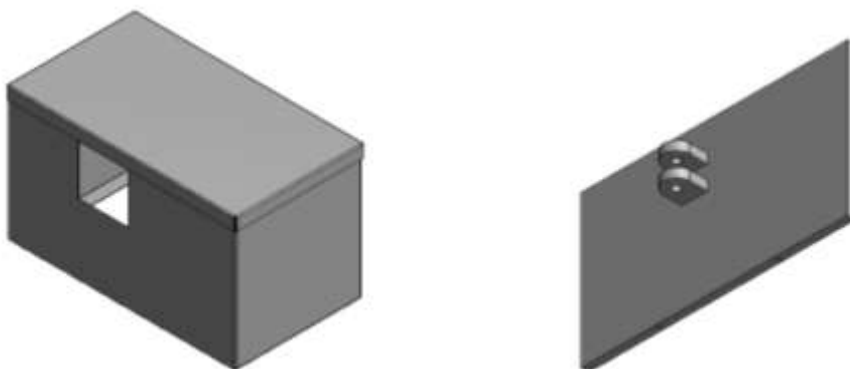


Figura 3.5. Subconjunt Bateria.

dels agents externs. Dins de la caixa de xapa i va una placa d'alumini amb dos orelles que permet unir l'actuador que transmet moviment al disc amb la bancada.

4 PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

L'element diferencials del disseny definitiu són els actuadors que ens permeten realitzar el moviments citats anteriorment de forma automàtica.

4.1 Actuadors

Com hem comentat amb anterioritat, utilitzarem actuadors lineals elèctrics per cobrir els 5 moviments que realitza la rampa de bocca.

4.1.1 Perquè hem elegit actuadors lineals elèctrics?

En poques paraules, un actuador elèctric és un dispositiu que converteix el moviment de rotació d'un motor de corrent continua de baixa tensió en moviment lineal.

Hem elegit actuadors lineals elèctrics perquè són silenciosos, nets i ens proporcionen un moviment simple i segur amb un control de moviment precís i suau.

En comparació amb els sistemes hidràulics i pneumàtics, els actuadors elèctrics són molt més fàcils d'instal·lar. Necessitem menys espai ja que prescindim de mangueres i bombes. No requereixen d'un manteniment periòdic, no provoquen fugues i no requereixen lubricació (exceptuant casos molt extrems).



Figura 4.1. Actuador lineal elèctric.

Un actuador lineal elèctric té una llarga vida útil amb un manteniment pràcticament nul. I per tant, això ens assegura un cost total d'operació molt baix en comparació els altres sistemes.

El nostre mecanisme es basa en generar els moviments necessaris pel boccia (ajust d'inclinació, altura i direcció). Aquest moviment com hem comentat l'aconsegurem mitjançant actuadors lineals elèctrics alimentats per bateries que donen corrent de 12V.

Els actuadors que utilitzarem en el nostre mecanisme seran de la companyia LINAK®.

Els quals consisteixen en un motor, un engranatge, un eix roscat i una femella.

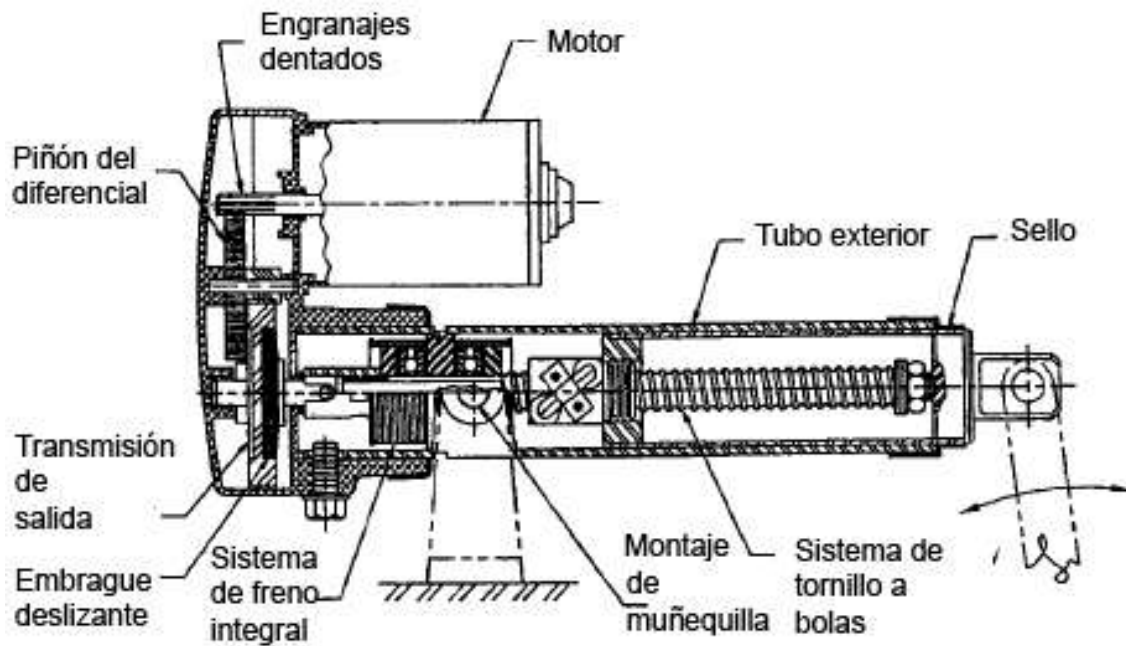


Figura 4.2. Esquema actuador lineal elèctric.

4.2 Panell de control

El panell de control serà l'element que farà d'intermediari entre el jugador i la rampa.

4.2.1 Comunicació i alimentació del panell de control

No hi haurà fils elèctrics que connectin el panell de control amb la rampa.

El panell de control es podrà alimentar directament per la corrent elèctrica o bé mitjançant una bateria que es podrà carregar amb la resta de bateries que utilitza la rampa.

Tota la informació que s'hagi de rebre i enviar entre el panell de control i els actuadors anirà guiada per uns controladors, que faran la funció de interfície entre els dos sistemes. El panell de control estarà format per dos joysticks que faran moure els tres actuadors lineals. El primer joystick s'encarregarà de controlar la direcció i la inclinació de la rampa. El segon joystick només servirà per canviar l'altura de la rampa.

Per tant el camí que seguirà la informació donada per l'individu serà el següent:

MOVIMENT HUMÀ



JOYSTICK



CONTROLADOR



ACTUADOR



MOVIMENT RAMPA

5 DESCRIPCIÓ DELS MOVIMENTS

D'acord amb les especificacions descrites en l'apartat 1.3 i un cop ben definit l'abast del projecte. La solució escollida és un mecansime amb actuadors lineals elèctric per tal de poder realitzar tots el moviments característics. I així poder eliminar la persona auxiliar a la hora d'ajustar la rampa per direccionar la bola de bocca, i per tant millorar l'experiència del practicant.

Com podem veure a la figura 3.1, 3.4 i 3.5, tenim 3 moviments a automatitzar de la rampa del bocca.

5.1 Rotació eix y

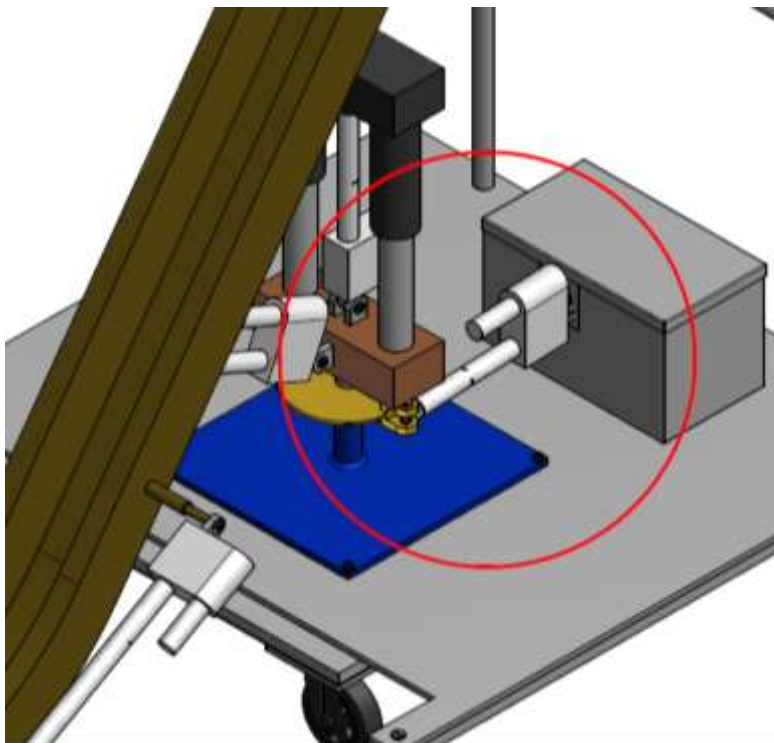


Figura 5.1. Mecanisme rotació eix y.

La rotació de la rampa en l'eix y ens proporciona un moviment per poder ajustar la direcció de la rampa i per tant poder direccionar la bola lateralment, més a la dreta o més a l'esquerra. Tal i com ens mostra la Figura 3.1.

La solució per aquest moviment consisteix en instal·lar un disc (Figura 3.3) en la part inferior de la torre d'elevació. En aquest disc anirà articulat un actuador elèctric que en funció de si s'allarga girarà la rampa cap a la dreta i si s'escurça, cap a l'esquerra.

Aquest disc el col·locarem just a la part més inferior possible de la barra vertical per reduir al mínim les vibracions procedents de la rotació i/o el canvi de direcció de gir. El disc anirà unit a la guia vertical per tal de poder transmetre el moviment amb el màxim de solidesa possible.

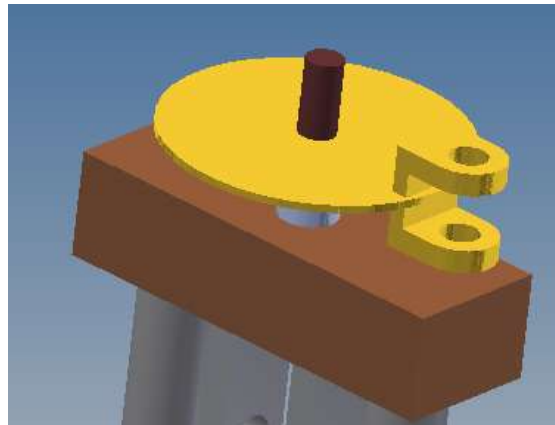


Figura 5.2. Disc amb orelles.

El moviment lineal de l'actuador, transmetrà una velocitat també lineal al disc. La qual s'acabarà convertint en un moviment de rotació, regit per la següent equació:

$$w = v * \frac{r}{\sin(\theta)} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

on:

- v , és la velocitat lineal. En aquest cas la velocitat lineal, fa referència a la component tangencial de la velocitat de l'actuador (l'única que genera moviment rotacional al disc). $[m/s]$
- θ , és l'angle entre el radi i l'actuador.
- w , és la velocitat angular. Aquesta velocitat és una velocitat de rotació i indica les voltes en funció del temps que fa el disc. $[rad/s]$
- r , és el radi del disc $[m]$

L'angle d'incidència del pistó amb el disc no sempre serà al mateix, per tant la relació entre desplaçament de l'actuador lineal i la posició angular del disc patirà variacions en funció de la posició en que es trobi l'actuador respecte el disc, però no és important donat la variació del sinus de l'angle entre $90^\circ \pm 20^\circ$ es petit i a més es controla manualment.

5.2 Translació eix y

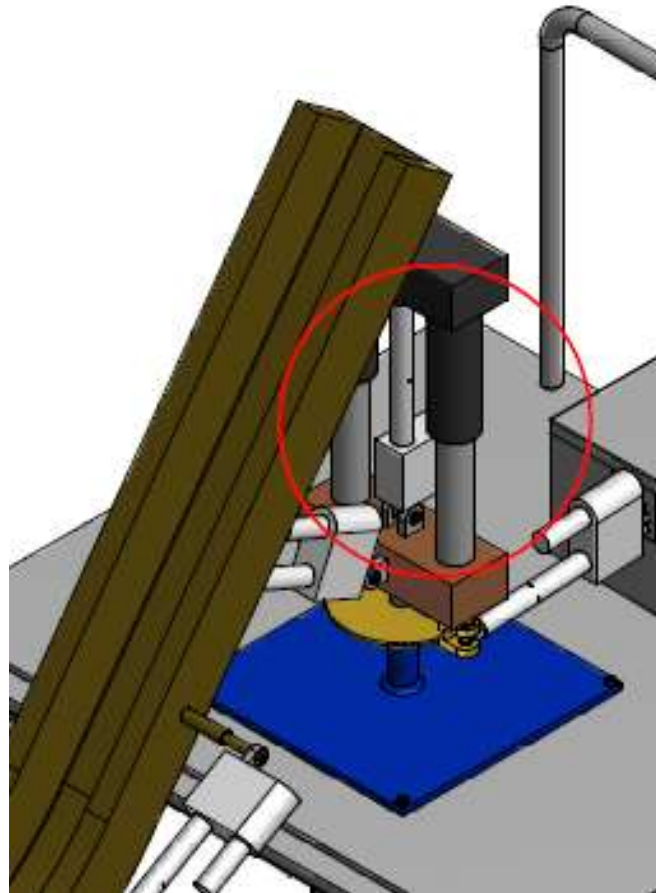


Figura 5.3. Mecanisme translació eix y.

El moviment de translació en l'eix y ens permet ajustar l'altura de la rampa en general. Com més altura li donem a la bola de boccia més energia potencial adquireix i per tant sortirà a més velocitat de la rampa i podrà recórrer més distància.

Cal tenir present que des de que es realitza el tir des de dalt la rampa fins que la bola s'atura, aquesta ha hagut de vèncer la força de fregament de la rampa, la del terra de la pista i la de l'aire.

La solució adoptada per aquest moviment consisteix en instal·lar sobre el disc vist en l'apartat anterior una guia de dos braços i un actuador lineal que desplaci les guies.

Al muntar les guies sobre el disc ens permet poder fer els dos moviments simultàniament. Les guies ens proporcionaran molta estabilitat i ens serviran per evitar que l'actuador treballi radialment, ja que només està preparat per treballar axialment. El mecanisme per realitzar aquest segon moviment anirà instal·lat a la part superior del disc i de l'actuador que ens permet ajustar la direcció de la rampa. Així aconseguim que tot el mecanisme que ens genera aquest segon moviment ens giri solidari quan volem realitzar el primer moviment.

No seria estrictament necessari que l'actuador que utilitzarem per realitzar aquest moviment sigui de doble efecte. Per elevar la rampa si que necessitem la força d'empenta del pistó, però per baixar-la la força ens la podria brindar la gravetat. Però per assegurar un correcte funcionament de tot el sistema, i que degut a fregaments originats per desgast o brutícia la rampa pugui baixar igualment, utilitzarem un actuador de doble efecte. Aquest anirà biarticulat com en el cas anterior. Un extrem de l'actuador anirà articulat a la part inferior de la guia superior, i l'altre extrem s'articula a la part superior de la guia inferior.

5.3 Rotació eix z

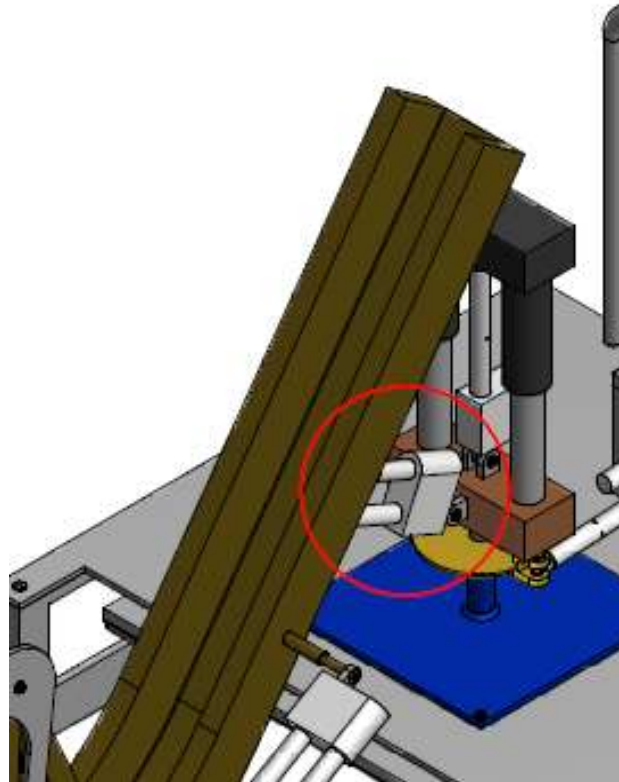


Figura 5.4. Mecanisme rotació eix z.

El moviment de rotació en l'eix z, ens permet ajustar la inclinació de la rampa de *boccia*. La inclinació s'ajusta per dos motius:

- Podrem triar si volem que l'extrem inferior de la rampa estigui en contacte amb el terra o no.
- Podrem ajustar també l'altura de la rampa, guanyant o perdent energia i consegüentment velocitat.

Per tant si el tir requereix que la rampa estigui en contacte amb el terra, el moviment de rotació en l'eix z, ens servirà per quan ja tinguem l'altura regulada segons ens convingui (apartat 4.1.3) poder anivellar l'extrem inferior de la rampa amb el terra.

La solució adoptada per aquest moviment serà instal·lar un altre actuador. Aquest podria ser de simple efecte, però per assegurar que podem arribar a totes les posicions possibles amb la velocitat adequada instal·larem un actuador de doble efecte.

Aquest actuador anirà instal·lat al subconjunt de la guia inferior, per tal de poder ajustar els altres dos moviments i que la posició del tercer actuador no es vegi afectada.

Per tant, aquest últim actuador anirà biarticulat d'un extrem al subconjunt de la guia inferior i de l'altre extrem a la part inferior de la base de la rampa.

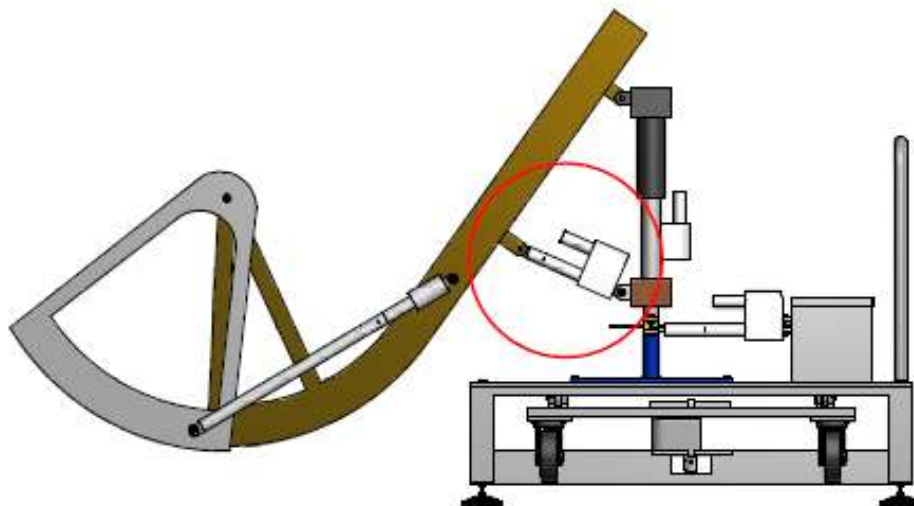


Figura 5.5. Perfil de la plataforma.

A nivell de disseny, les posicions on està articulats l'actuador han estat estudiades perquè aquest pugui donar el màxim rendiment. Hem trobat un equilibri entre aconseguir un bon braç de palanca i a la vegada evitar utilitzar un actuador massa llarg.

Expliquem aquests dos aspectes:

Un actuador massa llarg o el que seria el mateix, un braç de palanca massa llarg ens produiria inestabilitats i imprecisions. Aquestes alteracions serien degudes a que hauríem d'augmentar la velocitat del pistó per tal de que la rampa realitzes el gir en l'eix z amb una velocitat angular mínima. Un actuador massa llarg també ens proporcionaria un angle d'incidència entre actuador i rampa desfavorable, fet que provocaria inestabilitats.

Per altra banda, un braç de palanca massa petit no ens aniria bé perquè hauríem de fer molta més força amb l'actuador.

En el nostre cas el fulcre representa la part superior de la guia prismàtica on hi ha una articulació que permet el gir en l'eix z.

Per raons de disseny els braços de la rampa de *bocció* no són simètrics. Això implica que el pes propi del braç inferior generi més moment que el pes propi del braç superior. Independentment de la distància el braç inferior també pesa més ja que la sortida de la rampa està construïda amb més material que la resta. Per tant si deixem el sistema lliure, la rampa iniciarà un moviment de rotació en l'eix z horari, o sigui que la rampa guanyaria inclinació. Degut a la tendència que la rampa té en girar en sentit horari, amb un actuador de simple efecte ja podríem aconseguir el moviment desitjat. Fent servir l'actuador de simple efecte per realitzar la rotació anti-horaria i el moment resultant del pes propi per moure-la en sentit horari.

Però tal i com hem puntualitzat anteriorment, per assegurar una velocitat mínima en cada moviment instal·larem un actuador de doble efecte. Com és lògic aquest

actuador treballarà més o menys en funció del sentit de gir que es vulgui aplicar a la rampa.

A part dels moviments típics del boccia, en el nostre disseny hem afegit dos moviments per tal de millorar la precisió i l'experiència del participant.

5.4 Extensió de la rampa

Al final de la rampa li hem afegit una extensió per tal de poder llançar la bola i que aquesta segueixi una trajectòria en forma de paràbola fins que no entra en contacte amb el terra.



Figura 5.6. Extensió de la rampa.

També s'utilitza per poder tirar la bola just arran de terra sense necessitat de posicionar la rampa amb molta pendent.

El principi de funcionament és el mateix que en els moviments anteriors.

Un actuador lineal elèctric s'uneix a la rampa i a l'extensió d'aquesta.

Allargant o escurçant l'actuador aconseguim que l'extensió surti més o menys o quedi amagada per darrera la rampa.

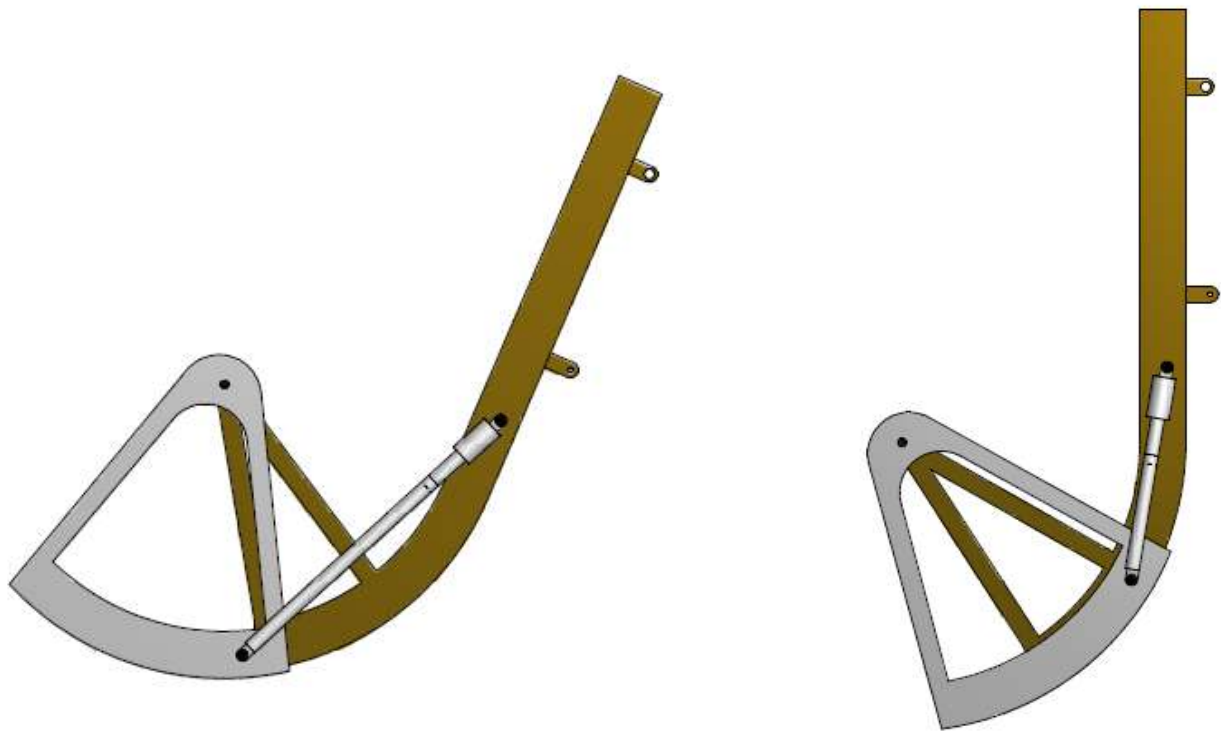


Figura 5.7. Extensió oberta i extensió recollida.

5.5 Abatiment rodes

Tal i com es mostra en aquest document amb anterioritat el primer disseny automàtic de rampa de bocca, ja incloïa un sistema de rodes.

En el disseny millorat de rampa per tal de millorar la precisió del tir provocada per petits moviments, vibracions o desestabilitzacions.

Les 4 rodes de la plataforma van unides amb un quadrilàter biarticulat per tal de poder ser plegades. Mentre pugen les rodes, els peus de nivell van entrant amb contacte amb el terra.

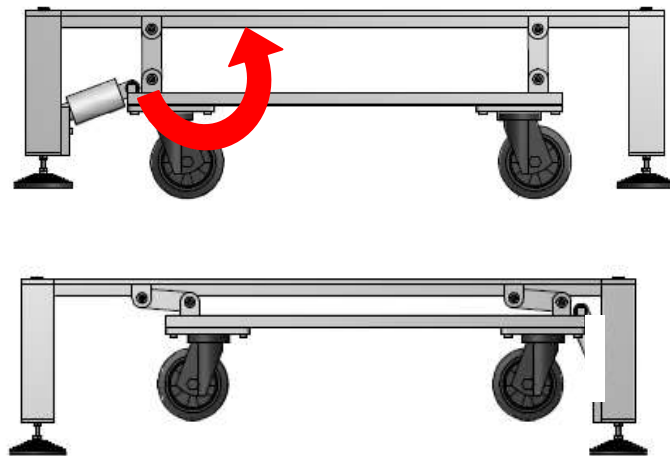


Figura 5.8. Rodes desplegades i rodes plegades.

Com tota la plataforma, el moviment és generat per un actuador lineal elèctric que està articulats a la bancada.

Així amb les rodes desplegadas ens trobem amb una plataforma molt fàcil de transportar. Però si busquem precisió, i amb les rodes plegades tenim una plataforma molt precisa ja que assegura el paral·lelisme amb el terra, gràcies a la regulació dels peus de nivell.

Per comprovar que hem anivellat bé els peus, la plataforma també incorpora un nivell sobre la seva base.

6 PRECISIÓ DE LA PLATAFORMA

Com ja hem comentat amb anterioritat la precisió és un aspecte molt important a tenir en compte en el disseny de la rampa. Qualsevol error en la plataforma o sortida de rampa es veu augmentat a mesura que la bola de boccia recorre metres fins arribar a la bola blanca objectiu.

El moviment més important és la posició de gir respecte l'eix vertical. La seva precisió depèn del joc entre unions, i l'error de l'actuador lineal i s'estudien a continuació.

La plataforma es mou entre 20° per un costat i 20° per l'altre costat.

6.1 Precisió en ajustos

Per tal d'assegurar una bona precisió de la rampa i perquè el tir del participant no es vegi afectat per cap desviament. Els ajustos de la rampa han estat fabricats amb unes toleràncies dimensionals per tal d'assegurar que el joc entre components no afecti el tir del participant.

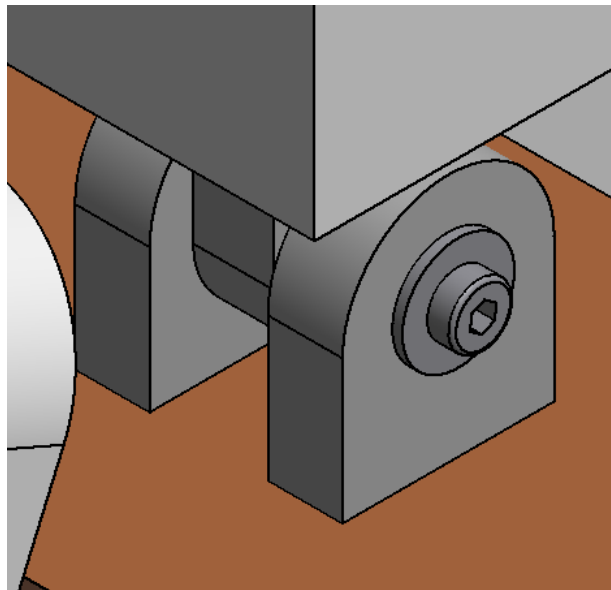


Figura 6.1. Ajust de buló i coixint.

Un cop fet els càlculs corresponents (ANNEX C) podem afirmar que en el cas més desfavorable: llançament a 20 metres, el màxim desviament horitzontal degut al joc entre articulacions seria de 5,2mm.

És un error molt petit, considerant que la bola fa 100 mm de diàmetre.

6.2 Precisió en actuadors

La precisió que té l'actuador també és molt important. Ja que ens afecta directament en l'angle de tir. Els actuadors utilitzats disposen d'una precisió mitjana. ± 0.25 mm.

Els càlculs ens mostren com aquest error lineal de l'actuador, en el cas més desfavorable (llançament de 20 metres) ens implicaria una desviació horitzontal de 44mm.

Com que la bola es de 100 mm de diàmetre, es pot considerar un desviament acceptable.

6.3 Millora de precisió

Tot i això, si es volgués augmentar la precisió en llançaments llargs el més adequat seria invertir en un actuador més precís. Lo ideal seria que no sobrepassés un error de 0.125 mm. La qual cosa ens provocaria un error màxim de 22 mm en el cas més desfavorable.

Un cop fets els càlculs corresponents, s'ha pogut comprovar que si substituïm el disc per una barra biarticulada el doble de llarga que el radi del disc, la precisió milloraria també el doble. Per tant en el cas més desfavorable la bola tindria un error de 2

7 MÈTODE D'UTILITZACIÓ DE LA PLATAFORMA

En aquest capítol expliquem quins són els procediments que es segueixen a la hora d'utilitzar la rampa automàtica:

En funció del lloc que disposem per transportar la rampa cap al camp de joc, la podem desmuntar per les unions cargolades per reduir l'espai que ocupa. Podrem desmuntar les rodes, i la base de la bancada.

A continuació si la rampa està muntada, es descarrega la rampa del mitjà de transport i es deixa a terra amb contacte amb les 4 rodes. Transportarem la rampa mitjançant les 4 rodes mòbils independents fins al camp de joc.

Al arribar al camp de joc, el jugador i l'auxiliar agafaran la seva posició i ja podran fixar la rampa, bloquejant les 4 rodes. Un cop tenen la rampa ben col·locada, si es vol es podrà connectar el mecanisme a la corrent. Si no es fa aquest s'alimentarà a través de la bateria.

Un cop és el torn de tir del jugador, aquest ajusta la rampa mitjançant els dos *joysticks* del panell de control. El primer és un *joystick* multidireccional que li permetrà ajustar la direcció i la inclinació de la rampa. El segon és un *joystick* unidireccional que permetrà únicament ajustar l'altura de la rampa. Si s'acciona el primer *joystick* cap amunt o cap avall l'actuador encarregat d'inclinar la rampa s'estirà o es contraurà. Al estirar-se la rampa guanyarà pendent i al contraure's en perdrà. Si s'acciona lateralment, treballarà l'actuador articulat al disc. A la dreta l'actuador es contraurà i a l'esquerra s'estirà.

Finalment si fem servir el segon *joystick* cap amunt l'actuador biarticulat a les guies s'estirà per proporcionar més altura a la rampa i cap avall l'actuador es contraurà, fent perdre altura a la rampa.

Un cop el jugador dona el vistiplau del correcte posicionament de la rampa a l'auxiliar, aquest posarà la bola de bocchia a dalt de la rampa i la deixarà anar perquè aquesta agafi velocitat a través de la gravetat.

Un cop acabat el joc, s'inverteix el procediment. Es desconnecta de la corrent si és el cas, es desbloquen les rodes i si cal es desmunta per les unions cargolades per facilitar el transport.

8 MILLORES DE LA PLATAFORMA AUTOMÀTICA RESPECTE LA MANUAL

- **Temps de realització de la jugada:** En les rampes manuals, considerant un temps mig de reposicionament de la rampa de 30s, per tant el temps total destinat en tirar una bola aproximadament seria de 60 segons. considerant la comunicació entre la persona discapacitada i l'auxiliar, desplaçaments de l'auxiliar, ajust de la rampa realitzat per l'auxiliar, col·locar i tirar la bola i finalment el temps que tarda la bola a aproximar-se a la bola diana.

Amb la rampa automàtica aconseguim reduir el temps de tir a 40 segons gràcies a l'ajust automàtic de la rampa. L'únic que haurà de fer l'auxiliar serà col·locar la bola a la posició superior de la rampa i deixar-la anar perquè segueixi la direcció que ha triat el participant.



Figura 8.1. Rampa de boccià manual.

- **Transport de la rampa:** A diferència de la majoria de rampes de boccia, la nostre rampa automàtica anirà equipada amb rodes independents una de l'altra per tal de poder facilitar el seu transport.

També hi ha la opció de desmuntar la bancada enretirant els cargols que uneixen la base del disc amb la bancada.

- **Moviment més precís:** Gràcies a l'automatització dels 3 moviments del boccia, aquests moviments són molt més ràpids, però també més precisos. En la rampa de boccia manual el participant ha d'estar comunicant-se amb l'auxiliar perquè aquest sàpiga si la posició de la rampa és correcta. Utilitzant aquesta via podem acumular error.

També hem de considerar l'error que s'acumula durant la inmovilització de la rampa. Un cop l'auxiliar rep el vistiplau del participant en quant a la posició de la rampa, aquest l'ha de inmovilitzar mitjançant tanques. Durant aquest procés d'immobilització també s'acumula un error.

Per tant, amb la rampa automàtica, el participant podrà moure la rampa a la posició que el desitgi i rectificar-ho si ho veu oportú amb més rapidesa i més precisió que en el manual.

Com que el nostre disseny està equipat amb un quadrilàter de rodes abatibles, un cop s'arriba al terreny de joc, les rodes es pleguen i tota la plataforma queda recolzada en 4 peus de nivell. Aquests permetran ajustar-se fins a tenir la rampa completament recta reduint així la possibilitat d'error.

- **Millora de l'experiència del participant:** La millora més important que presenta el mecanisme, és el protagonisme i la llibertat que guanya el participant durant la pràctica del boccia. Podent realitzar els moviments que

vulgui quan vulgui i sense l'ajuda de ningú. Com hem comentat abans l'únic que farà l'auxiliar serà posar la bola a la part superior de la rampa.

Gràcies a l'extensió de la rampa, el participant podrà experimentar una nova manera de jugar a la boccia, i augmentar així el seu ventall estratègic i la seva experiència en el joc.

9 CONSIDERACIONS DE LA RAMPA

9.1 Consideracions del panell de control

L'estudi de la part de control i connexió entre la màquina i el panell de control que manipularà l'usuari, el durem a terme mitjançant una empresa subcontractada especialitzada en aquest tipus de connexions.

Hem decidit subcontractar la part de control perquè ens surt molt més rentable que fer-la nosaltres mateixos.

L'abast de l'empresa subcontractada serà la connexió entre el panell de control i els actuadors. No podran fer cap mena de modificació del disseny de la màquina.

9.2 Consideracions estructurals

La rampa de boccia, és un mecanisme que realitza molt pocs cicles i a una velocitat molt reduïda.

Per tant no ens serà necessari calcular la possibilitat de trencament de cap element

9.3 Sistemes auxiliars

Tots els sistemes elèctric i de control els portarà una empresa subcontractada.

10 RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost total de tot el mecanisme i la seva instal·lació ascendeix fins als 5.972,67 € . Ens aquest preu tenim en compte tots els elements generals, les unions, la mà d'obra, les despeses auxiliars i les indirectes (tot amb el seu IVA corresponent).

Aquest preu és subjecte a variacions degut a les factures finals dels components i a l'aproximació de la mà d'obra.

11 CONCLUSIONS

Els requisits de funcionament exigits pel nostre client han quedat assolits.

La rampa i tots els seus mecanismes són viables des de un punt de vista mecànic, tal i com s'argumenta en els presents documents.

Al començar amb un disseny que automatitza els 3 moviments bàsics i acabar amb un disseny més complex i amb més possibilitats, el ventall del client objectiu és ampli.

Si el que es busca és lleugeresa i un producte econòmic el primer disseny és la millor elecció pel client. Però si en canvi, es busca controlar el màxim de paràmetres possibles dins el joc, sense importar el pes el segon disseny seria el més convenient.

12 RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte consta de la següent relació de documents:

DOCUMENT NÚM. 1. MEMÒRIA I ANNEXOS

ANNEX A: Evolució de la rampa de bocchia

ANNEX B: Actuadors

ANNEX C: Càlculs de precisió

DOCUMENT NÚM. 2. PLÀNOLS

DOCUMENT NUM. 3. PLEC DE CONDICIONS

DOCUMENT NUM. 4. ESTAT D'AMIDAMENTS

DOCUMENT NUM. 5. PRESSUPOST

ANNEX A: EVOLUCIÓ DE LA RAMPA DE BOCCIA

A.1 Rampa convencional



Figura A.1. Rampa de bocca manual.

Tal i com s'observa a la imatge anterior la rampa convencional és una estructura molt senzilla que no disposa d'una automatització íntegra dels tres moviments necessàries.

A.2 Primer disseny de rampa automatitzada

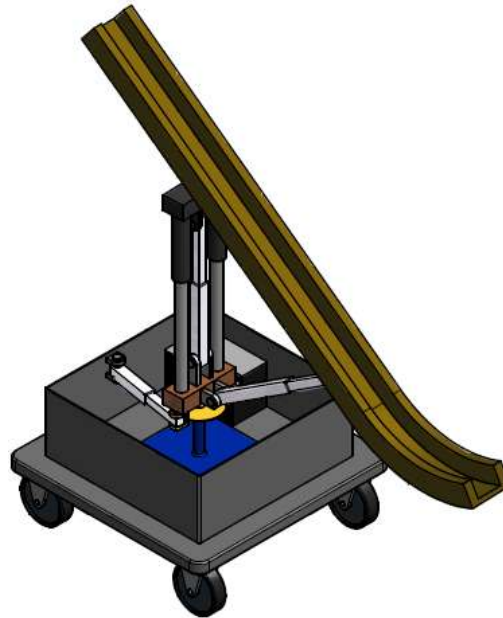


Figura A.2. Primer disseny de plataforma de boccia automatitzada.

Millores de la rampa automatitzada respecte la rampa convencional:

Temps de realització de la jugada: En les rampes manuals, considerant un temps mig de reposicionament de la rampa de 30s, per tant el temps total destinat en tirar una bola aproximadament seria de 60 segons. considerant la comunicació entre la persona discapacitada i l'auxiliar, desplaçaments de l'auxiliar, ajust de la rampa realitzat per l'auxiliar, col·locar i tirar la bola i finalment el temps que tarda la bola a aproximar-se a la bola diana.

Amb la rampa automàtica aconseguim reduir el temps de tir a 40 segons gràcies a l'ajust automàtic de la rampa. L'únic que haurà de fer l'auxiliar serà col·locar la bola a la posició superior de la rampa i deixar-la anar perquè segueixi la direcció que ha triat el participant.

Transport de la rampa: A diferència de la majoria de rampes de boccia, la nostre rampa automàtica anirà equipada amb rodes independents una de l'altra per tal de poder facilitar el seu transport.

També hi ha la opció de desmuntar la rampa per facilitar el seu transport.

Moviment més precís: Gràcies a l'automatització dels 3 moviments del boccia, aquests moviments són molt més ràpids, però també més precisos. En la rampa de boccia manual el participant ha d'estar comunicant-se amb l'auxiliar perquè aquest sàpiga si la posició de la rampa és correcta. Utilitzant aquesta via podem acumular error.

També hem de considerar l'error que s'acumula durant la immobilització de la rampa. Un cop l'auxiliar rep el vistiplau del participant en quant a la posició de la rampa, aquest l'ha de immobilitzar mitjançant tanques. Durant aquest procés d'immobilització també s'acumula un error.

Per tant, amb la rampa automàtica, el participant podrà moure la rampa a la posició que el desitgi i rectificar-ho si ho veu oportú amb més rapidesa i més precisió que en el manual.

Millora de l'experiència del participant: La millora més important que presenta el mecanisme, és el protagonisme i la llibertat que guanya el participant durant la pràctica

del boccia. Podent realitzar els moviments que vulgui quan vulgui i sense l'ajuda de ningú. Com hem comentat abans l'únic que farà l'auxiliar serà posar la bola a la part superior de la rampa.

A.3 Disseny definitiu rampa automatitzada

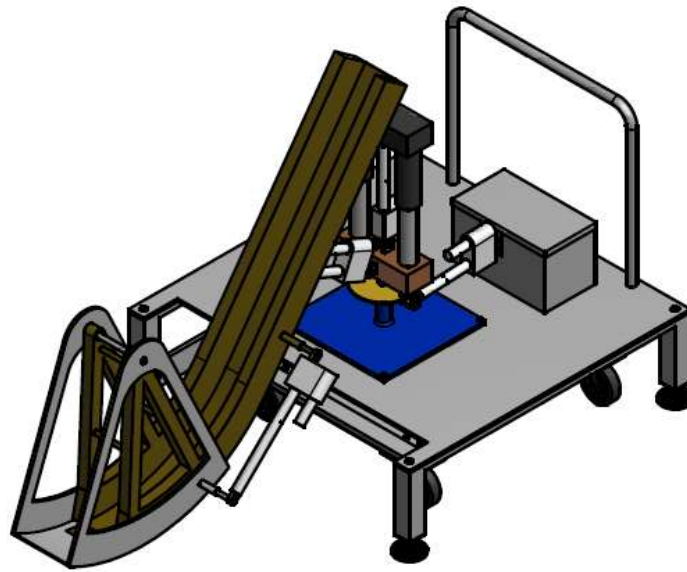


Figura A.3. Disseny final.

Aquest és el disseny definitiu a on s'han millorat i afegit certs components respecte el disseny posterior.

Extensió de la rampa: El jugador podrà experimentar noves formes de llançar la bola, fet que li permetrà tenir més recursos per acostar-se al màxim a la bola blanca objectiu.

Barra de transport: S'ha incorporat una barra per poder facilitar el transport amb les rodes.

Caixa per la bateria: Caixa que permet aïllar la bateria dels agents exteriors.

Augment de la distància entra recolzaments: Augment de la base per tal de millorar l'estabilitat i precisió del tir.

Peus de nivell i rodes abatibles: Gràcies al quadrilàter biarticulat podem abatre les rodes en la zona de tir, per tal de mantenir més estabilitat. Els peus de nivell ens permetran ajustar l'altura de les diferents potes, per tal d'assegurar un bon paral·lelisme amb el terra.

ANNEX B: ACTUADORS

En poques paraules, un actuador elèctric és un dispositiu que converteix el moviment de rotació d'un motor de corrent continua de baixa tensió en moviment lineal.

Hem elegit actuadors lineals elèctrics perquè són silenciosos, nets i ens proporcionen un moviment simple i segur amb un control de moviment precís i suau.



Figura B.1. Actuador lineal elèctric.

En comparació amb els sistemes hidràulics i pneumàtics, els actuadors elèctrics són molt més fàcils d'instal·lar. Necessitem menys espai ja que prescindim de mangueres i bombes. No requereixen d'un manteniment periòdic, no provoquen fugues i no requereixen lubricació (exceptuant casos molt extrems).

Un actuador lineal elèctric té una llarga vida útil amb un manteniment pràcticament nul. I per tant, això ens assegura un cost total d'operació molt baix en comparació als altres sistemes.

El nostre mecanisme es basa en generar els moviments necessaris pel boccia (ajust d'inclinació, altura i direcció). Aquest moviment com hem comentat l'aconsegurem mitjançant actuadors lineals elèctrics alimentats per bateries que donen corrent de 12V.

Els actuadors que utilitzarem en el nostre mecanisme seran de la companyia LINAK®.

Els quals consisteixen en un motor, un engranatge, un eix roscat i una femella.

La potència dels actuadors serà suficient per moure el mecanisme.

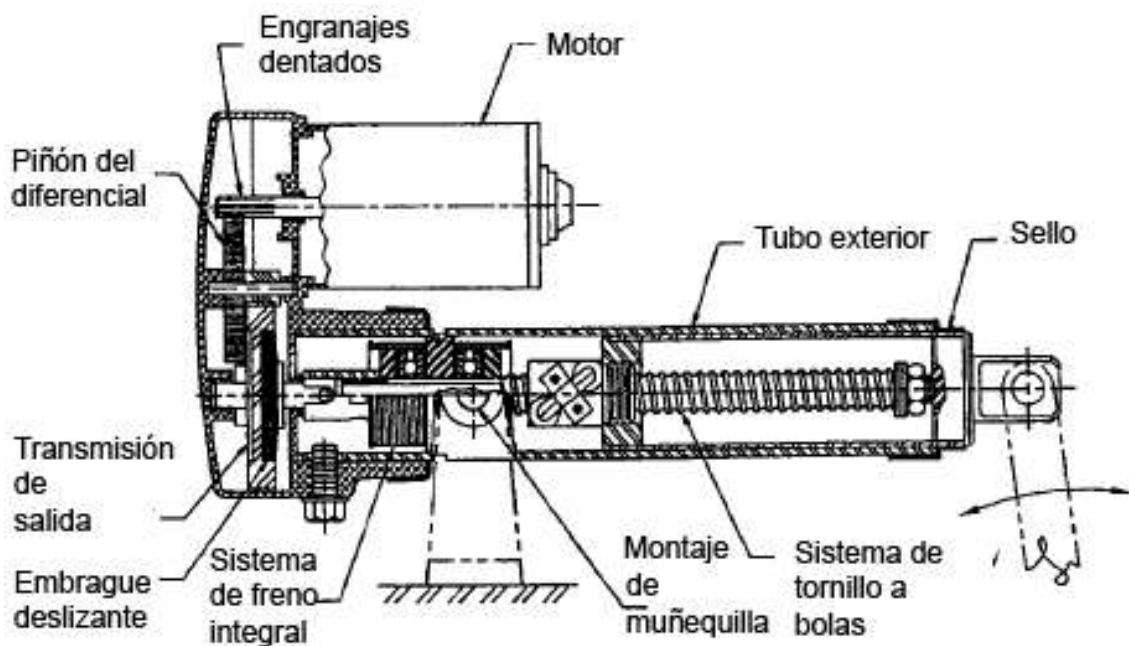


Figura B.2. Parts d'un actuator lineal elèctric.

B.1 Principi de funcionament de l'actuator

Un cop l'actuator rep la senyal elèctrica, fa girar el motor de corrent continu de 12/24V que té incorporat. Es redueix la velocitat del motor mitjançant un engranatge reductor. Aquest fa girar un eix roscat. Finalment, aquest eix, mitjançant la rosca, provoca el

moviment lineal de l'actuador. En funció del pas de l'eix roscat obtindrem una relació càrrega/velocitat diferent.

B.2 Característiques tècniques dels actuadors:

Com hem comentat amb anterioritat, un actuador proporcionarà el moviment vertical, l'altre ens ofereix la inclinació de la rampa i el tercer ens permet el gir de la rampa, el que ens permet escollir la direcció.

Aquests actuadors estaran alimentats per una bateria que es trobarà allotjada en el xassís de la rampa. Cada un d'aquests actuadors funcionarà amb 12 V.

La rotació en l'eix y l'aconseguim unint l'extrem de l'actuador amb un disc.

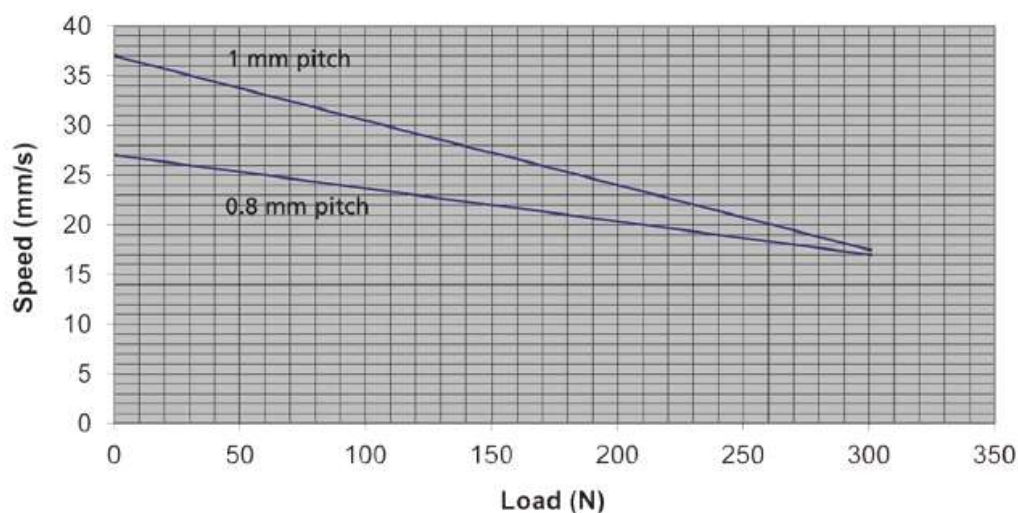


Figura B.3. Velocitat respecte càrrega de l'actuador.

El diàmetre del disc i la velocitat lineal de l'actuador de direcció són les variables que afecten la velocitat de rotació en l'eix y.

Per tal de conservar l'estabilitat de la rampa, el pistó i el disc els col·locarem el més avall possible per tal d'evitar vibracions.

La carrera de l'actuador, el diàmetre del disc i el seu punt d'ancoratge al xassís, són variables que hem de tenir en compte per aconseguir un gir mínim de 120 graus.

S'han escollit actuadors de 12 V perquè són suficients per la velocitat que necessitem.

Actuadors LA 23 , La velocitat màxima d'aquest actuador en funció de la càrrega depèn del pas que tingui l'eix roscat.

La velocitat en que es mourà l'actuador es veurà afectada pel pas de l'eix roscat i per la càrrega que hagi de suportar.

Elegim l'eix roscat amb el pas més petit, el de 0.8mm de pas, ja que és el que ens proporciona el rang de velocitats més petites.

La càrrega de la rampa és de 30 N, què representa en el diagrama adjunt, la velocitat amb què l'actuador de 12V serà 26 mm / s. Aquesta velocitat és massa ràpida per la precisió que necessitem. Haurem de canviar el voltatge. Amb la modulació d'amplària d'impuls (PWM), aconseguim obtenir un voltatge mig que ens permet obtenir una velocitat adequada.

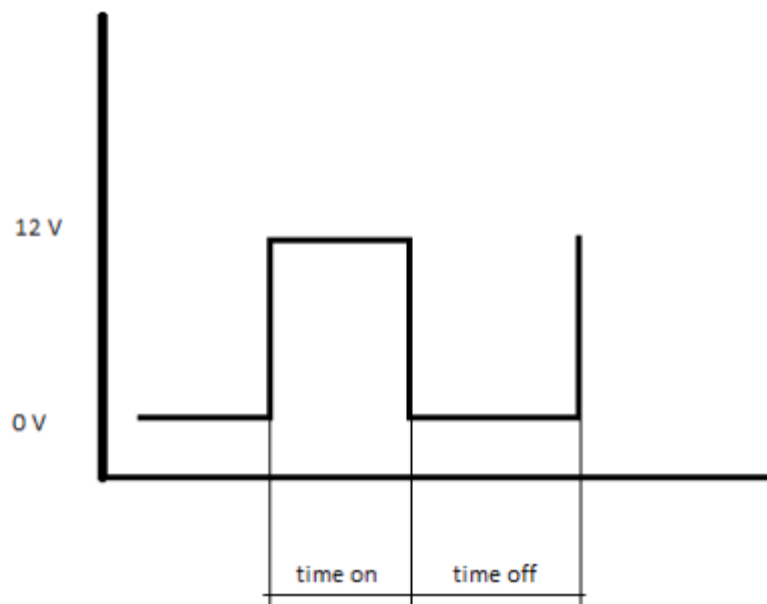


Figura B.6. Esquema representatiu de la modulació d'amplària d'impuls.

Si estem connectats sempre obtenim un voltatge de 12 V. Quan estem desconnectat sempre tenim 0 V per tant velocitat 0. Canviant el temps de off i de on podem obtenir un voltatge mig de 6 V. Conseqüentment, la velocitat en que es mourà l'actuador serà més petita (quina velocitat) i apropiada per la pràctica del bocca.

Es necessitaran 3 actuadors. Un d'ells serà el vertical i de doble efecte. La força per elevar la rampa és generada per l'actuador i per baixar-la seria suficient la força de la gravetat, però agafem l'actuador de doble efecte per tal d'assegurar el correcte funcionament.



Figura B.5. Actuador lineal elèctric LINAK.

Per els altres dos moviments també necessitem dos actuadors de doble efecte.

Les característiques de l'actuador LA28 són: 9.4mm/s de velocitat màxima i suporta una càrrega màxima de 2500 N.

Com es pot apreciar al diagrama de velocitat (carga), podem escollir 3 passos de l'eix roscat diferents per el mateix actuador. Per cada pas de rosca, tenim una relació càrrega/velocitat diferent. Elegint el pas de 6 mm de l'eix roscat obtenim una velocitat òptima de 5.8 mm/s, en funció de la càrrega del bocca que considerarem que és sempre la mateixa, 25 kg. Si estem parlant del moviment de gir en leix y la carrega de

l'actuador sera molt petita ja fa un moviment perpendicular a la força del pes. En els altres dos casos si que la càrrega que suportaran els actuadors serà més alta, ja que el moviment que realitzaran serà a la mateixa direcció que la força del pes.

ANNEX C: CÀLCULS

C.1 Càlculs de precisió de l'ajust de direcció

Hi ha una sèrie d'aspectes que hem de tenir en compte, si volem assegurar una bona precisió de llançament amb la nostre plataforma. El moviment més important és la posició de gir respecte l'eix vertical. La seva precisió depèn del joc entre unions, i l'error de l'actuador lineal i s'estudien a continuació.

Precisió per l'actuador

Actuadors $\Rightarrow \pm 0,25mm$ L'actuador de gir té aquest error que ens el transmet de manera angular a la nostre rampa. En funció a la distància del llançament, ens afecta més o menys aquest error angular. A continuació es calcula l'error angular provocat per l'error de l'actuador.

1) Quants graus afecta al disc l'error de l'actuador?

Com que l'angle d'incidència de l'actuador respecte al disc varia, farem el càlcul pel cas on ens trobarem nosaltres. Com que la rampa es pot moure 20° cap a les dos direccions, el ventall angular és de 40° . Tot i que la gran majoria de cops ens mourem amb un ventall de 30° . Per tant estudiarem la situació mitjana, que és quan l'actuador té un angle d'incidència de 90° respecte del disc.

$$\text{diàmetre de rotació} = 230 \quad \text{error lineal del pistó } 0,25mm$$

$$P = 2\pi r = 722,6mm$$

$$\frac{\text{error lineal}}{P} = \frac{0,25}{722,6} = 3,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{error angular} = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot 360^\circ = 0,125^\circ \text{ d'error}$$

2) Ara calculem el desviament que ens suposa aquest error a l'extrem de la rampa.

Utilitzarem una distància mitja ja que en funció de l'ajust la rampa tindrà més o menys distància respecte al centre del disc.

$$X \text{ mitjana de la rapa} = 1000\text{mm}$$

$$\sin \alpha = \frac{X}{1000}$$

$$\alpha = 0,125^\circ$$

$$x = 1000 \sin 0,125$$

$$x = 2,15\text{mm}$$

Aquest és el desviament que podem tenir a l'extrem de la rampa.

3) Finalment calculem la desviació total per un llançament de 10m i de 20m.

$$\text{Tir de 10m} \rightarrow \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{10}; \quad x = 10 \cdot \operatorname{tg} 0,125 = 0,022\text{m} = 22\text{mm}$$

Tir de 2 → 44mm

Una bola de boccia normalment fa 100mm de diàmetre. Per tant, si en el cas més desfavorable tindríem un desviament de 44mm.

Si el tir ha estat bo, no es deixa de tocar la bola per culpa del desviament de la rampa.

Per tant la solució adoptada és correcte però ens mostra que si volguéssim millorar més en precisió hauríem de posar un radi més gran. Un radi el doble de gran, ens provocaria un error de la meitat.

C.2 Càlculs de precisió per el joc entre unions.

Unió → Buló i forat de 10mm.

Toleràncies dimensionals:

- *Buló* $\Rightarrow 10h7 \Rightarrow 10(0,15\mu\text{m})$
- *Forat* $\Rightarrow 10h7 \Rightarrow 10(+15,0\mu\text{m})$

El cas més desfavorable seria una diferència de 30 μm de diàmetre.

- *Buló* $\Rightarrow 9,985\text{mm}$
- *Forat* $\Rightarrow 10,015\text{mm}$

Com ens afectaria aquest joc en la precisió de la direcció?

L'error màxim que podem acumular $\Rightarrow \pm 0,030\text{mm}$ a la punta de l'actuador del disc.

El cas més desfavorable és quan aquesta és perpendicular al disc.

$$\frac{0,030}{722,6} = 4,15 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \text{serra angular} = 4,15 \cdot 10^{-5} \cdot 360^\circ = 0,015^\circ$$

$$20\text{m} \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{20} \Rightarrow x = 20 \cdot \operatorname{tg} 0,015 = 0,0052\text{m} = 5,2\text{mm}$$

Bola diàmetre 100 $\Rightarrow$

En aquest cas veiem que la precisió es veu molt menys afectada per el joc entre unions que amb l'error lineal de l'actuador.

C.3 Conclusions

Si es volgués invertir per millorar la precisió de la rampa, lo adequat seria fer-ho en:

- Una opció seria agafar un actuador més precís. El cost final de la plataforma es veure afectat. Però guanyaríem en precisió.
- L'altre opció i potser més econòmica, seria canviar el disc per una barra que provoqués un radi el doble de llarg, per tal de reduir l'error a la meitat, sense la necessitat de pagar per un actuador més precís.

DIFERENCIAS SUPERIOR E INFERIOR PARA AGUJEROS

Díámetro nominal	6ª calidad						7ª calidad						8ª calidad						9ª calidad						10ª calidad				
en mm	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	s7	t7	u7	v7	w7	x8	y8	z8	a8	b8	c8	d8	e8	f8	g8	h8	i8	k8	l8	m8	n8	o8
hasta 3	-3	0	+6		+9	+13	+16	-14	-7	0	+7		+15	-20	-14	-7	0	+7	+14	-20	-14	0	+13	+25	-20	0	+20	+40	
	-10	-7	-1		+2	+6	+9	-23	-16	-9	-2		+6	-34	-28	-21	-14	-7	0	+6	-39	-25	-12	0	-80	-20	0	0	
más de 3 hasta 6	-4	0	7		+12	+16	+20	-20	-10	0	+9		+20	-30	-20	-10	0	+9	+18	-30	-20	0	+15	+30	-30	0	+24	+48	
	-12	-8	-1		+4	+6	+12	-32	-22	-12	-3		+9	-48	-36	-28	-18	0	+9	0	-80	-50	-30	+15	0	-78	-48	0	-24
más de 6 hasta 10	-5	0	+7	+10	+15	+19	+24	-25	-13	0	+10	+15	+21	+25	-40	-25	-13	0	+11	+22	-40	-25	0	+18	+36	-40	0	+39	+58
	-14	-9	-2	+1	+6	+10	+15	-40	-28	-15	-5	-1	+6	-60	-42	-35	-22	-11	0	-76	-61	-36	-18	0	-96	-58	-29	0	
más de 10 hasta 18	-6	0	+8	+12	+18	+23	+29	-35	-16	0	+12	+19	+25	+30	-50	-32	-15	0	+14	+27	-50	-32	0	+22	+43	-50	0	+56	+70
	-17	-11	-3	+1	+7	+12	+18	-50	-34	-19	-6	+1	+7	+12	-77	-50	-43	-27	+13	0	-83	-75	-43	-21	0	-120	-70	-35	0
más de 18 hasta 30	-7	0	+9	+15	+21	+28	+36	-40	-20	0	+13	+23	+29	+36	-65	-40	-20	0	+17	+33	-65	-40	0	+28	+52	-65	0	+42	+64
	-20	-13	-4	+2	+8	+15	+22	-61	-41	-21	-8	+2	+8	+15	-98	-73	-53	-33	+16	0	-117	-92	-52	-26	0	-149	-84	-42	0
más de 30 hasta 50	-9	0	+11	+18	+25	+33	+42	-50	-25	0	+15	+27	+34	+42	-80	-50	-25	0	+20	+39	-80	-50	0	+31	+62	-80	0	+50	+100
	-25	-16	-5	+2	+9	+17	+26	-75	-50	-25	-10	+2	+9	+17	-119	-89	-64	-39	+19	0	-142	-112	-62	-31	0	-180	-100	-50	0
más de 50 hasta 80	-10	0	+12	+21	+30	+39	+51	-60	-30	0	+18	+32	+41	+50	-100	-60	-30	0	+23	+46	-100	-60	0	+37	+74	-100	0	+60	+120
	-29	-19	-7	+2	+11	+20	+32	-90	-60	-30	-12	+2	+11	+20	-146	-106	-76	-46	+23	0	-174	-134	-74	-37	0	-220	-120	-60	0
más de 80 hasta 120	-12	0	+13	+25	+36	+46	+59	-72	-36	0	+20	+38	+48	+58	-120	-72	-36	0	+27	+54	-120	-72	0	+44	+87	-120	0	+70	+140
	-34	-22	-9	+3	+13	+23	+37	-107	-71	-35	-15	+3	+13	+23	-174	-125	-90	-54	+27	0	-207	-159	-87	-43	0	-260	-140	-70	0
más de 120 hasta 160	-14	0	+14	+28	+40	+52	+68	-83	-40	0	+22	+43	+55	+67	-145	-95	-43	0	+32	+63	-145	-95	0	+50	+100	-145	0	+80	+160
	-39	-25	-11	+3	+15	+27	+43	-125	-83	-40	-18	+3	+15	+27	-203	-148	-106	-63	+31	0	-243	-185	-100	-50	0	-305	-180	-80	0

Diámetro nominal en mm	5ª calidad						7ª calidad						8ª calidad						9ª calidad						10ª calidad						
	G6	H6	J6	K6	M6	N6	E7	F7	G7	H7	J7	K7	M7	N7	P7	D8	E8	F8	H8	J8	K8	M8	N8	D9	E9	H9	J9	K9	D10	N10	J10
hasta 3	+3	0	-4		-7	-11	+14	+7	3	0	-8		-9	-13	-16	+20	+14	+7	0	.7			-15	+20	+14	0	-13	+20	0	.20	
	+10	-7	-3	0	0	-4	+23	+16	+12	+9	+3	0	-4	-7	+34	+28	+21	+14	+7				-1	+46	+39	+26	+12	+60	+40	+20	
más de 3	+4	0	-4		-9	-13	+20	+10	+4	0	-7		-12	-16	-20	+30	+20	+10	0	.9			-20	+30	+20	0	-15	+30	0	.24	
hasta 6	+12	+6	+4		-1	-5	+32	+22	+16	+12	+5	0	-4	-8	+46	+36	+28	+18	+9				-2	+60	+50	+38	+16	+78	+48	+24	
más de 6	+5	0	-4	-7	-12	-16	+25	+13	+5	0	-7	-10	-15	-19	-24	+40	+25	+13	0	-10	-16	-21	-25	+40	+25	0	-18	+40	0	.29	
hasta 10	+14	+9	+5	+2	-3	-7	+40	+28	+20	+15	+6	+5	0	-4	-9	+62	+47	+35	+22	+12	+6	+1	-3	+75	+61	+38	+18	+88	+53	+29	
más de 10	+6	0	-5	-9	-15	-20	+32	+16	+6	0	-8	-12	-18	-23	-29	+50	+32	+16	0	-12	-19	-25	-30	+50	+32	0	-2	+50	0	.36	
hasta 18	+17	+11	+6	+2	-4	-9	+50	+34	+24	+18	+10	+6	0	-5	-11	+77	+59	+43	+27	+15	+8	+2	-3	+93	+75	+43	+21	+120	+79	+35	
más de 18	+7	0	-5	-11	-17	-24	+40	+20	+7	0	-9	-15	-21	-28	-35	+65	+40	+20	0	-13	-23	-29	-36	+65	+40	0	-26	+55	0	.42	
hasta 30	+20	+13	+8	+2	-4	-11	+61	+41	+28	+21	+12	+6	0	-7	-14	+66	+73	+52	+33	+20	+10	+4	-3	+117	+92	+52	+26	+146	+94	+42	
más de 30	+9	0	-6	-13	-20	-28	+50	+25	+9	0	-11	-18	-25	-33	-42	+80	+50	+25	0	-15	-27	-34	-42	+80	+50	0	-31	+80	0	.60	
hasta 50	+25	+16	+10	+3	-4	-12	+75	+50	+34	+25	+14	+7	0	-8	-17	+110	+89	+64	+39	+24	+12	+5	-3	+142	+112	+62	+31	+180	+100	+60	
más de 50	+10	0	-6	-15	-24	-33	+60	+30	+10	0	-12	-21	-30	-39	-51	+100	+60	+30	0	-18	-32	-41	-50	+100	+60	0	-37	+100	0	.60	
hasta 80	+29	+19	+13	+4	-5	-14	+90	+60	+40	+30	+19	+9	0	-9	-21	+126	+106	+76	+46	+28	+14	+5	-4	+174	+134	+74	+37	+220	+120	+80	
más de 80	+12	0	-6	-18	-28	-38	+72	+36	+12	0	-13	-25	-36	-46	-59	+120	+72	+36	0	-20	-38	-46	-56	+120	+72	0	-44	+120	0	.70	
hasta 120	+34	+22	+16	+4	-6	-16	+107	+71	+47	+35	+22	+10	0	-10	-24	+174	+126	+86	+54	+34	+18	+6	-4	+237	+159	+87	+43	+260	+140	+70	
más de 120	+14	0	-7	-21	-33	-46	+96	+48	+14	0	-14	-28	-40	-52	-68	+146	+96	+48	0	-22	-43	-55	-67	+146	+96	0	-50	+146	0	.80	
hasta 160	+39	+25	+18	+4	-8	-20	+125	+83	+51	+40	+25	+12	0	-12	-28	+168	+126	+96	+63	+41	+20	+8	-4	+246	+186	+105	+50	+260	+160	+80	