

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'un prototip d'una màquina recollidora i llançadora de pilotes de bàsquet

MEMÒRIA

Autors: Pol Escales Malgrat
Joan Serra Domínguez

Director: Dr. Emilio Angulo Navarro

Convocatòria: Gener 2022



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



RESUM

Aconseguir l'expertesa en qualsevol esport passa per repetir els moviments bàsics una vegada i una altra. En el món del bàsquet, amb el pas dels anys, el llançament a cistella ha anat guanyant protagonisme i dominar aquesta habilitat marca la diferència entre jugadors. Disposar d'una màquina que permeti eliminar el temps perdut per recuperar la pilota després de cada llançament i que a la vegada realitzi passades, permet augmentar considerablement el volum de tir al llarg de cada sessió d'entrenament.

En aquest document s'estudia l'estat de l'art i el funcionament bàsic d'aquesta classe de màquines amb l'objectiu de presentar posteriorment el dimensionament i el disseny mecànic detallat d'un primer prototip. Per fer-ho s'ha utilitzat programes com SolidWorks i MATLAB. Addicionalment, es presenta, una primera proposta de disseny conceptual de l'entorn de control.

El resultat obtingut, a diferència de la immensa majoria de màquines llançadores de pilotes disponibles al mercat, ofereix un alt nivell de personalització aconseguint una passada de qualitat equiparable a la d'una situació real de joc que, a més, s'adapta a l'alçada i distància de recepció definides per l'usuari gràcies al mecanisme de propulsió de la pilota constituït per dos discs.

SUMARI

RESUM	3
SUMARI	4
1. INTRODUCCIÓ	7
1.1. Objectiu	7
1.2. Abast del projecte	7
1.2.1. Aspectes considerats	7
1.2.2. Aspectes no considerats	8
1.3. Justificació	9
1.3.1. Justificació industrial	9
1.3.2. Motivacions personals	9
2. ESTAT DE L'ART	11
2.1. Funcionament bàsic	11
2.2. Productes similars i prestacions	12
2.3. Segmentació	18
2.4. Visita a Next MVP	21
2.5. Estudi tecnològic	22
3. ESPECIFICACIONS	27
4. DISSENY CONCEPTUAL	29
4.1. Descomposició funcional	29
4.2. Elecció disseny mecànic	30
4.2.1. Sistema de captació de pilotes	30
4.2.2. Llançadora	34
4.2.3. Dosificador	35
4.2.4. Base de la màquina	37
5. DISSENY MECÀNIC DETALLAT	38
5.1. Sistema de captació de pilotes	40
5.2. Llançadora	43
5.2.1. Xassís	44
5.2.2. Tram final de la conducció	45
5.2.3. Sistema de propulsió de la pilota	45
5.3. Unió sistema de captació amb la llançadora	51
5.3.1. Rodes	51

5.3.2.	Eix vertical.....	52
5.3.3.	Guia radial.....	54
5.3.4.	Sistema d'accionament de la rotació vertical.....	56
5.4.	Tram inicial de la conducció	58
5.5.	Dosificador.....	59
6.	CÀLCULS PEL DISSENY MECÀNIC	61
6.1.	Dimensionament sistema de captació	61
6.2.	Anàlisi de l'angle de llançament.....	63
6.3.	Dimensionament dels discs i els motors	67
6.4.	Dimensionament dels eixos del sistema de propulsió	71
6.5.	Dimensionament dels coixinets.....	76
6.6.	Accionament de la rotació de la llançadora	79
6.7.	Selecció del solenoide	83
7.	ANÀLISI DE BOLCADA.....	85
8.	ENTORN DE CONTROL.....	89
8.1.	Diagrama de blocs	90
8.2.	Entrades.....	91
8.2.1.	Encoder.....	91
8.2.2.	Sensor cistella	93
8.2.3.	Panell de control.....	93
8.3.	Sortides.....	94
8.3.1.	Driver	94
8.3.2.	Solenoide lineal	95
8.3.3.	Pantalla	96
8.4.	PLC escollit.....	96
9.	PRESSUPOST.....	98
9.1.	Cost d'enginyeria	98
10.	IMPACTE AMBIENTAL	99
11.	PLANIFICACIÓ	100
	CONCLUSIONS	101
	ESTUDIS FUTURS	103
	AGRAÏMENTS	104
	BIBLIOGRAFIA.....	105

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Objectiu

L'objectiu d'aquest Treball Final de Grau consisteix a dissenyar un primer prototip d'una màquina llançadora i recollidora de pilotes de bàsquet. La màquina a dissenyar tindrà la finalitat principal de millorar la qualitat d'entrenament de bàsquet tant en l'àmbit individual com en l'àmbit col·lectiu.

A part d'això, es vol crear un prototip de màquina que inclogui innovacions que afegixin un avantatge competitiu respecte la resta de màquines ja existents en aquest mercat com:

- Un sistema de llançament i entorn de control que s'adapti a cada usuari durant l'entrenament.
- Crear una màquina fàcil de guardar un cop utilitzada oferint un fàcil transport i que en disposició plegada pugui passar a través d'una porta estàndard i així poder-la emmagatzemar d'una forma senzilla.
- Facilitat en el muntatge.

Finalment, es vol dissenyar un primer prototip que, després d'un seguit de proves i remodelacions, pugui ser la base d'un producte que s'arribi a comercialitzar i ser utilitzat de forma segura.

1.2. Abast del projecte

A mesura que s'ha anat avançant en la realització del treball, s'ha pogut determinar de forma més concreta el seu abast. En un principi es volia aprofundir en molts aspectes i dissenyar un prototip de màquina gairebé llest per ser posada al mercat, però tenint en compte la càrrega lectiva del TFG i la dificultat que implica dissenyar una màquina d'aquest estil partint de zero, s'ha arribat a un primer disseny mecànic avançat, però no complet, i una introducció al disseny de l'entorn de control.

1.2.1. Aspectes considerats

- Proposta de segmentació per categories dels diferents tipus de màquines semblants que hi ha al mercat.
- Estudi de les principals tecnologies utilitzades, tant a nivell mecànic com electrònic, de les màquines relacionades amb el projecte que es poden trobar al mercat.

- Definició de les necessitats bàsiques a satisfer d'un potencial client, de les funcions bàsiques que ha de realitzar la màquina i de les especificacions bàsiques que ha de complir.
- Estudi cinemàtic del llançament de la pilota.
- Disseny dels elements estructurals que conformen la màquina. Es realitza el disseny detallat dels sistemes encarregats de recollir les pilotes, de llançar-les i el que suporta tota la màquina.
- Dimensionament dels components clau que conformen la màquina i elecció d'aquests a catàlegs existents al mercat.
- Disseny i dimensionament dels elements mecànics encarregats d'orientar la passada.
- Disseny mecànic en 3D mitjançant *SolidWorks* del conjunt recollidora, llançadora, base i carcassa.
- Anàlisi d'estabilitat de la màquina per garantir les normatives de seguretat.
- Disseny conceptual i proposta d'implementació del sistema de control de la màquina.
- Realització del pressupost comptabilitzant únicament les hores i recursos invertits per a la realització del projecte.
- Estudi de l'impacte ambiental que comportaria la fabricació i utilització d'aquesta màquina en un futur.

1.2.2. Aspectes no considerats

- Verificació de la integritat estructural d'alguns dels components mitjançant càlculs o el mètode dels elements finits.
- Disseny de les unions de soldadura entre els components soldats.
- Dimensionament de les unions on s'utilitzen cargols.
- Procés de selecció exhaustiu dels materials que s'han emprat. Es necessitaria realitzar una comparació i posterior elecció del que més s'adequa segons les sol·licitacions de cada component.
- Disseny complet de l'entorn de control, dels diferents components elèctrics de la màquina, de l'alimentació elèctrica i del cablejat.
- Disseny del panell de control i l'aplicació que permetria la interacció de l'usuari amb la màquina.

1.3. Justificació

1.3.1. Justificació industrial

Facilitar els entrenaments en qualsevol esport és l'objectiu de la gran majoria d'entrenadors. En el cas del bàsquet, els darrers anys s'ha popularitzat molt als Estats Units la utilització de màquines que recullen les pilotes quan es tira a cistella i les passen a l'usuari, de tal manera que no es necessita personal extra per recollir i passar la pilota al jugador.

Cada cop els models que surten al mercat són més sofisticats i tenen més funcionalitats, amb l'objectiu comú de facilitar l'entrenament als jugadors. Ara bé, les màquines actuals no inclouen certes característiques que suposarien una millora considerable del producte. Per exemple, les màquines actuals no tenen la capacitat d'adaptar-se completament a l'usuari causant que no es pugui rebre les passades en les millors condicions. Les dimensions de la màquina quan està plegada són un altre aspecte que molts models no tenen compte. En general, tenen unes dimensions considerables i requereixen grans espais per a poder-la guardar quan no s'utilitza.

En definitiva, millorar en aquests aspectes comentats i en altres que poden sorgir més endavant, són una gran motivació per poder facilitar encara més els entrenaments dels jugadors de bàsquet.

És important comentar, també, que aquestes màquines són molt més comunes als Estats Units i que els fabricants o bé són americans o bé de la Xina. Per tant, seria interessant que a Europa existís una empresa que fabricués i distribuís aquest tipus de màquines, facilitant així la compra i les reparacions als països europeus. Més que res, perquè podria ser una molt bona oportunitat de negoci, sempre i quan hi hagi mercat.

1.3.2. Motivacions personals

Cada autor té les seves motivacions personals, però allà on es coincideix és en el fet de treball en equip per tal d'arribar a un disseny més avançat de la màquina i complementar els coneixements.

- **Pol Escalas:** Dissenyar un producte des de la seva base i amb experiència nul·la en aquest terreny de l'enginyeria de projectes és un gran repte. Se li suma el fet de poder aplicar conceptes de diferents àmbits apresos durant els quatre anys de Grau amb l'objectiu de fer un prototip d'una màquina. A la vegada, la possibilitat de treballar en equip per un objectiu comú, com quan s'està al món laboral, permet aprofundir més en certs aspectes del disseny i així obtenir millors resultats.

- **Joan Serra:** Amb ganes de començar a orientar la carrera professional, el disseny mecànic és el que crida més l'atenció. A més, genera especial motivació realitzar un projecte que engloba altres disciplines com el vessant d'accionament del prototip. Crear una màquina que ajudi a millorar les habilitats relacionades amb l'esport que porto entrenant tota la vida és el que finalment ha encès la guspira per iniciar aquest projecte.

2. ESTAT DE L'ART

2.1. Funcionament bàsic

Una màquina llançadora i recollidora de pilotes de bàsquet és un aparell que recull i emmagatzema les pilotes procedents de la cistella i les llança a una posició i amb una freqüència definides.

Pel que fa a la posada a punt de la màquina, el primer que ha de fer l'usuari és situar-la al lloc adequat, en la gran majoria de casos, sota la cistella. El més habitual és que la màquina es guardi en un magatzem d'equipament esportiu o quelcom semblant, per tant, aquestes màquines solen disposar d'unes rodes a la base de la màquina per a facilitar el seu transport.

Un cop la màquina és sota la cistella, el següent pas és preparar el sistema de captació de pilotes. El sistema de captació de la gran majoria de màquines presenten la possibilitat de ser plegat i desplegat a fi d'ocupar poc espai quan aquesta no s'utilitza i dotar d'una àrea de captació de pilotes el més gran possible durant l'entrenament. Normalment, es tracta d'un conjunt de quatre barres telescòpiques i una xarxa que en disposició desplegada formen una cistella.

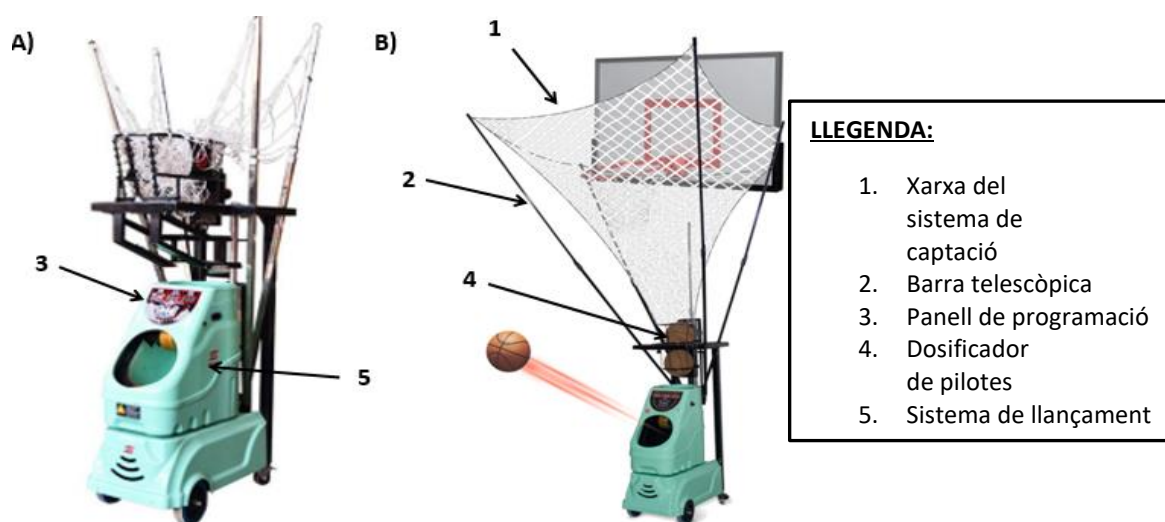


Figura 2.1-1. A) Màquina plegada; B) Màquina desplegada

(Font: www.siboasiballmachine.com)

Un cop la màquina està ben muntada, només s'ha de connectar a la font d'alimentació, ja sigui a través d'un endoll o d'una bateria. A partir d'aquí, a través del panell de programació (3) l'usuari escull quin tipus d'entrenament vol fer, és a dir, des de quines zones vol tirar a cistella, quantes vegades ho vol fer i a quina altura vol rebre la pilota, entre d'altres.

Pel que fa al funcionament estàndard de la màquina es pot afirmar que és bastant simple. A través de la xarxa es capten i s'emmagatzemen les pilotes que l'usuari tira a cistella. Quan la màquina ha de passar una pilota, en funció de l'entrenament i la freqüència de tir definits per l'usuari, el dosificador (4) en deixa passar una cap a la part de la màquina encarregada d'impulsar les pilotes.

Les pilotes, com ja s'explicarà més endavant, són impulsades en funció de la distància desitjada mitjançant diferents sistemes mecànics. Si durant l'entrenament la màquina ha de canviar la direcció de la passada, el sistema encarregat de propulsar-la (5) s'orienta a la direcció adequada respectant en tot moment la freqüència de passada.

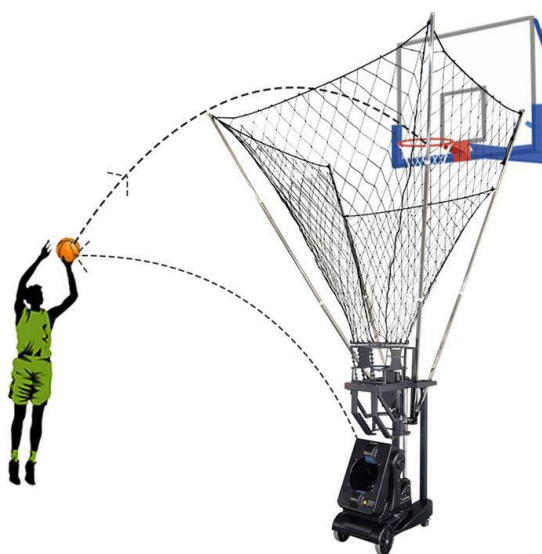


Figura 2.1-2. Esquema del funcionament bàsic.

(Font: www.siboasiballmachine.com)

2.2. Productes similars i prestacions

Per a poder fer una correcta anàlisi dels diferents models que existeixen actualment, tenint en compte les prestacions de cada una i les tecnologies que utilitzen, es defineix un conjunt de paràmetres a partir dels quals es realitza l'anàlisi dels diferents models. Aquests paràmetres van des de les característiques més senzilles de les màquines fins a les tecnologies més innovadores que empren. Els aspectes que s'han definit es descriuen a continuació.

- **Tipus d'interfície.** S'entén com el tipus d'interfície a la unitat o l'element que permet interactuar amb la màquina. De les marques i models seleccionats per l'anàlisi s'han trobat els següents tipus:

- **Palanca mecànica (PM)**

S'utilitza a la màquina més senzilla i a través d'una palanca es posiciona la màquina en la direcció de llançament que l'usuari desitja. No es pot controlar la freqüència de passada, ja que només passa la pilota quan detecta que n'hi ha una.

- **Panell de programació (PP)**

És un sistema que està format per botons, LED i en alguns casos alguna petita pantalla. Cada botó permet seleccionar les diferents funcions de la màquina. Comparant-la amb una pantalla tàctil té una varietat d'opcions molt més reduïda.

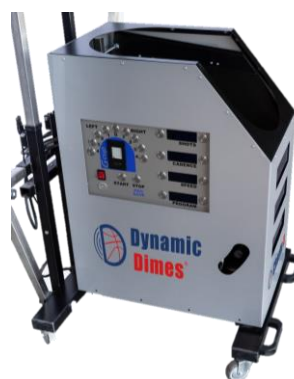


Figura 2.2-1. Panell de programació de la marca Dynamic Dimes.

(Font: www.dynamicdimes.com)

- **Comandament a distància (CD)**

En aquest cas, la màquina només es pot controlar a distància a través d'un comandament de raigs infrarojos. Les funcions són limitades. És el cas homòleg al "Panell de programació" però amb la diferència que l'usuari no ha d'anar fins a la màquina per manipular-la.



Figura 2.2-2. Comandament a distància del model S6829-2 de Siboasi.

(Font: www.siboasi.com)

- **Pantalla tàctil (PT)**

La pantalla permet una gran varietat de funcions en funció del model. Hi ha models que només permeten definir la passada a la posició desitjada, canviar d'entrenament i la freqüència de passada. Altres sistemes més innovadors permeten dissenyar l'entrenament dins de l'aplicació i veure a temps real les estadístiques dels llançaments, entre d'altres. Incloure o no la pantalla tàctil acostuma a fer la diferència, ja que ofereix un gran ventall de funcionalitats extres.



Figura 2.2-3. Menú de la pantalla tàctil del model The Gun 12k.

(Font: www.shootaway.com)

- **Aplicació (App):** Sense dubte és el tipus més modern. A través del mòbil o tauleta, sigui per Bluetooth o Wi-Fi, es pot controlar la màquina. Les funcionalitats que s'inclouen en una aplicació són molt semblants a les que pot tenir la pantalla tàctil però amb l'avantatge de poder manejar la màquina de forma remota.



Figura 2.2-4. Captura de pantalla de l'aplicació de Dr. Dish.

(Font: www.drdishbasketball.com)

- **Rotació respecte a l'eix vertical.**

- **Rotació manual (RM):**

La màquina no rota per si sola, sinó que l'ha de fer rotar l'usuari mitjançant l'acció d'algun mecanisme manual. Doncs, s'ha d'interrompre l'entrenament per canviar l'orientació de la passada.

- **Rotació automàtica (RA):**

La màquina pot orientar la passada en diferents localitzacions del camp sense haver d'interrompre l'entrenament.

Cal precisar que s'entén com a entrenament una seqüència de passades amb freqüència i posicionament definides abans de començar l'exercici. que s'entén com a entrenament una seqüència de passades amb freqüència i posicionament definits abans de començar l'exercici. Els entrenaments poden ser tan individuals com en equip.

- **Entrenaments predeterminats.** Els models dels últims anys la tendència és que la màquina disposi d'entrenaments dissenyats per entrenadors professionals. Si la màquina disposa d'aquesta funció aquests entrenaments s'expliquen en un manual o bé, si la màquina disposa de pantalla, en alguns casos s'expliquen a través d'un vídeo.

- **Personalització i emmagatzematge d'entrenaments.**

- **Nivell 1 (N1):**

S'hi inclouen aquells models tals que és possible fer alguna modificació d'algun entrenament ja definit o dissenyar un nou entrenament. L'objectiu és adaptar-se millor a les necessitats de l'entrenador definint situacions d'entrenament específiques.

- **Nivell 2 (N2):**

A part d'incloure les funcionalitats del Nivell 1, en aquest nivell la màquina és també capaç de guardar la configuració dels entrenaments personalitzats.

- **Tractament estadístic de les dades de l'usuari.** Aquesta característica és una de les prestacions més valorades pels professionals.

- **Nivell 1 (N1):**

S'hi inclouen les màquines que generen estadístiques durant una única sessió d'entrenament.

- **Nivell 2 (N2):** Conjunt de màquines que emmagatzemen les dades per poder fer un històric de l'evolució del jugador. Es pot, doncs a manera d'exemple, analitzar l'evolució del jugador en un mateix exercici o també l'evolució general dels tirs efectuats des d'una certa posició.



Figura 2.2-5. Estadístiques que mostren les marques Dr. Dish i The Gun, respectivament.

(Fonts: www.drdishbasketball.com; www.shootaway.com)

- **Definició d'usuari (jugador).** La màquina té noció de qui l'està utilitzant. Habitualment aquesta característica s'inclou a les màquines del Nivell 2 del punt anterior. L'usuari pot crear el seu perfil a la màquina, així doncs, s'aconsegueix que es puguin guardar les estadístiques de cada usuari i fer un històric de l'evolució en l'àmbit personal.
- **Velocitat de passada regulable.** Aquest paràmetre es refereix la possibilitat de regular la velocitat de sortida de la pilota. Variar la velocitat ofereix la possibilitat que per una mateixa posició de recepció, l'usuari pugui rebre la pilota en alçades diferents. Dit d'una altra manera, variant aquest paràmetre s'aconsegueix passar la pilota més o menys lluny. Hi ha màquines que únicament disposen de fins a cinc posicions de regulació de la velocitat. Per contra, hi ha màquines que ofereixen una regulació més acurada de la velocitat (veure Figura 2.2-6).

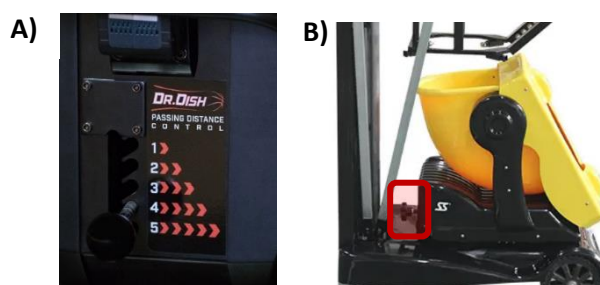


Figura 2.2-6. Mecanisme de regulació de la potència passada utilitzat per: A) Dr. Dish; B) Siboasi.

(Fonts: www.drdishbasketball.com; www.siboasiballmachine.com)

- **Mida d'emmagatzematge.** Espai que ocupa la màquina quan no s'està utilitzant. Interessa no ocupar molt espai, ja que logísticament pot ser un inconvenient per l'usuari.
- **Freqüència de passada.** Quantitat de passades per unitat de temps. Paràmetre important que interessa que sigui elevat, perquè el domini del tir de bàsquet requereix molta repetició.
 - **Freqüència variable (V):**
Possibilitat de variar la freqüència en un rang establert. No totes les marques especifiquen aquest rang.
 - **Freqüència no variable (NV)**
- **Col·locació de la màquina en diferents localitzacions.** Pels models més recents s'està popularitzant l'opció de poder col·locar la màquina en una altra localització de la pista que no sigui sota de la cistella. És a dir, la màquina només realitza l'acció de passar la pilota, i així es pot aconseguir realitzar altres tipus d'entrenaments, podent simular passades des d'un altre lloc de la pista.
- **Tipus d'alimentació.** La gran majoria de màquines s'endollen a la xarxa. Ara bé, en alguns casos les màquines també disposen de la possibilitat d'utilitzar una bateria per si en alguna ocasió no es disposés d'un endoll.
 - **Bateria**
 - **Endoll:**
Connexió directa a la xarxa. Implica restricció d'ús. En totes les màquines el tipus d'endoll emprat és el Schuko.
- **Preu**
- **Pes**
- **Any del model**

2.3. Segmentació

Un cop explicats els paràmetres escollits per a classificar i analitzar els diferents tipus de màquines que hi ha el mercat, es pot dur a terme la segmentació d'aquests.

Per fer-ho, s'ha decidit definir tres segments:

- **A+**: Màquines amb rotació automàtica programables i que disposen d'una aplicació per a mòbils o tauletes per controlar la màquina o, també, per veure les estadístiques de l'usuari.
- **A**: Màquines amb rotació automàtica programables, però que no disposen d'una aplicació per a mòbils.
- **B**: Màquines amb rotació manual.

A la següent taula es pot observar els diferents models que hi ha actualment en el mercat i el segment on se situen:

Marca	Model de la màquina	Segment
<i>Dr. Dish</i>	<i>CT</i>	A+
	<i>ALL-STAR+</i>	A+
	<i>REBEL+</i>	A+
<i>The Gun</i>	<i>6k</i>	A
	<i>8k</i>	A
	<i>10k</i>	A+
	<i>12k</i>	A+
<i>Dynamic Dimes</i>	<i>Charlie II</i>	A
	<i>Charlie III</i>	A+
<i>Siboasi</i>	<i>S6829</i>	A
	<i>S6829-2</i>	A
	<i>S6839</i>	A
<i>Ballistech</i>	<i>HotShot</i>	A
<i>Grind</i>	<i>The Grind machine</i>	B

Taula 2.3-1 Segmentació dels models de màquines que hi ha al mercat

A la següent taula es pot veure les característiques principals de cada model de forma detallada, tenint en compte els paràmetres descrits a l'apartat anterior.

Segment	A+						A							B
Marca	Dr. Dish			The Gun		Dynamic Dimes	Dynamic Dimes	Siboasi			The Gun		Ballistech	GRIND
Model	CT	ALL-STAR+	REBEL+	10K	12K	CHARLIE III	CHARLIE II	S6829	S6829-2	S6839	6K	8K	HotShot	The GRIND Machine
Tipus d'interfície	PT (15.6") i App	PT (8") i App	PT (8") i App	PT (7") i App	PT (10") i App	PP i App	PP i CD	PP i CD	CD	PP	IP	PP i CD	PP i CD	PM
Rotació respecte l'eix vertical	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RA	RM
Entrenaments predefinits	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	No
Definició de l'usuari	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Personalització + Emmagatzematge d'entrenaments	N2	N2	N2	N1	N2	N2	N2	No	N1	N1	No	N1	N2	No
Tractament + Emmagatzematge de dades	Sí	Sí	No	Sí	Sí	N2	N1	No	No	No	No	No	N2	No
Pilota visible al llançar	Sí	Sí	Sí	No	No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Si
Velocitat de passada regulable	Sí DP	Sí DP	Sí DP	Sí M	Sí M	Si DP	Si DP	Si P	Si P	Si DP	Sí M	Sí M	Si DP	No (7.5 m)
Dimensions [cm]	198,1 H 86,4 W 124,5 L	198,1 H 76,2 W 101,6 L	198,1 H 76,2 W 101,6 L	198,1 H 71,1 W 132,08 L	198,1 H 71,1 W 132,08 L	194 H 70 W 120 L	194 H 70 W 120 L	170 H 70 W 90 L	185 H 94 W 68 L	105 H 80 W 185 L	NE NE	NE NE	198,1 H 182,4 W 137,2 L	61 H 45,7 W 122 L
Freq. de passada [passades/min]	V	V	V	V	V	V	V	V (10-26)	V (24-30)	V (13.3-23)	V(màx. 30)	V (màx. 30)	V	NV (8.3)
Localitzacions diferents	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Alimentació	Endoll	Endoll + Bateria	Endoll + Bateria	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll	Endoll
Preu [€]	9000	7500	6500	8900	10500	5990	5490	2800	3330	10400	4600	5800	9500	1550
Pes [Kg]	132.9	124.73	124.73	162.39	165.56	110	110	120	127	123	162.39	162.39	170	56.7
Any del model	2019	2021	2021	2017	2021	-	-	2019	2019	2019	1999	2008	2017	2020

Taula 2.3-2. Característiques dels diferents models organitzats en segments.

En la taula anterior es pot observar que hi ha molta diferència entre els segments **A+** i **A** amb el segment **B**, tant a nivell de funcionalitats com a nivell de preu. Les màquines més sofisticades són el model *CT* de la marca *Dr. Dish* i el model *12k* de la marca *The Gun*.

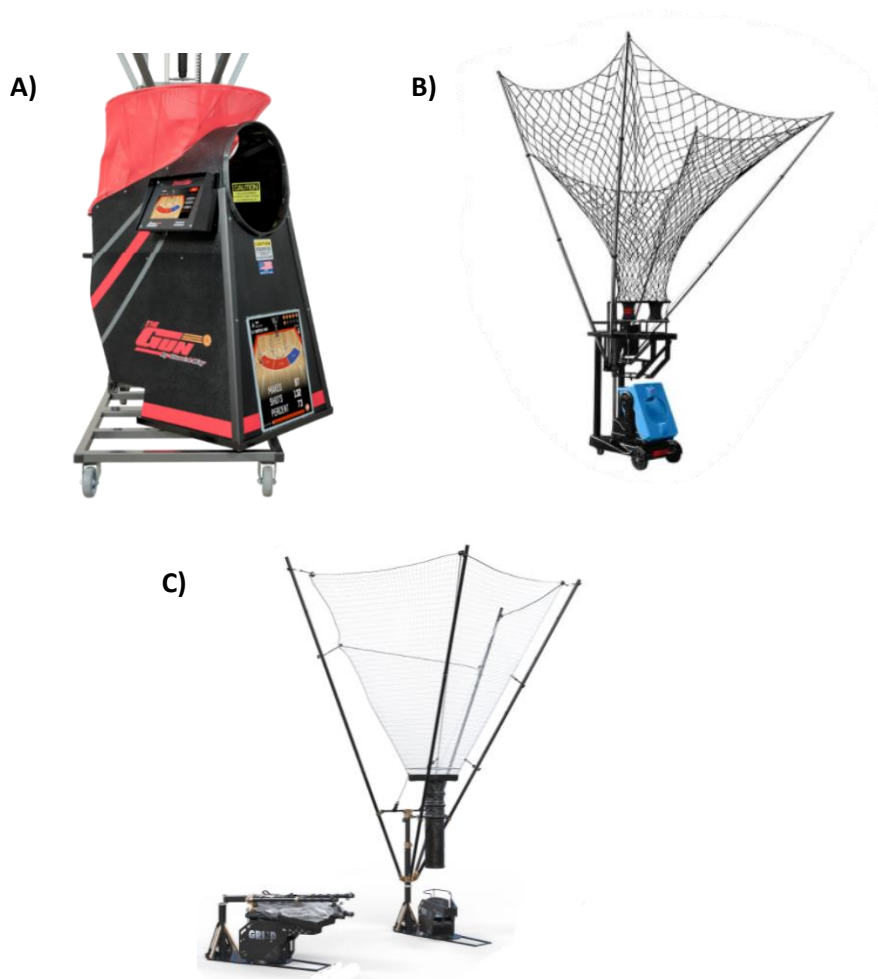


Figura 2.3-1. A) *The Gun 12k* (segment A+); B) *Siboasi S6829-2* (Segment A); C) *The Grind Machine* (segment B).

(Fonts: www.shootaway.com; www.siboasi.com; www.thegrindmachine.com)

A l'anterior figura es pot observar un model de cada segment. El primer destaca per les seves funcionalitats relacionades amb la interfície, es pot veure com disposa de dues pantalles, la pantalla superior permet programar els entrenaments i la situada a la part inferior per a poder consultar les estadístiques durant l'entrenament. El segon model ja és més senzill, ja que només disposa d'un panell de programació de funcionalitats limitades on es pot modificar la freqüència o potència de passada. Finalment, el tercer, destaca per ser la màquina més senzilla que hi ha al mercat, la qual no disposa ni de rotació automàtica. Tot i això, destaca per les seves dimensions quan està plegat permetent ser transportada de manera molt còmoda.

2.4. Visita a Next MVP

Per concloure un bon estudi de mercat, s'ha decidit visitar el centre de tecnificació de bàsquet Next MVP situat a Badalona on utilitzen un model de la marca *The Gun*, el model *The Gun 10k* pertanyent al segment A+ definit anteriorment. Com es pot observar, es tracta d'un model dels que s'han analitzat a l'estudi de mercat. Per veure les característiques d'aquest model es pot consultar la *Taula 2.3-2*.

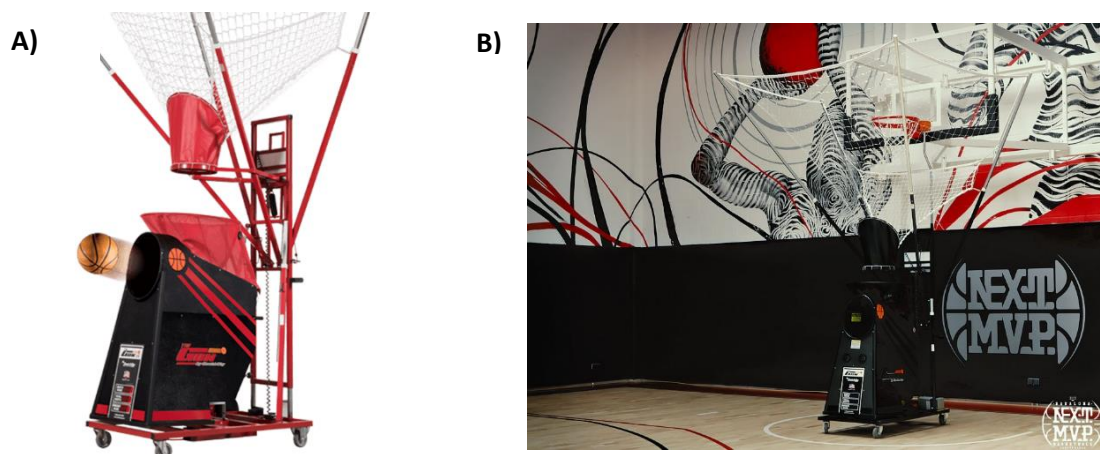


Figura 2.4-1. A) Model The Gun 10k. B) Centre de tecnificació MVP Badalona.

L'objectiu de la visita ha estat veure, provar la màquina i parlar amb el responsable del centre per tal d'extreure conclusions de la màquina que utilitzen, és a dir, factors positius, factors negatius i elements que es podrien arribar a millorar.

Conclusions de l'entrevista:

1. Des del punt de vista del responsable del centre, el model *The Gun 10k* oferia una qualitat de passada superior a la resta de màquines del mercat en el seu any de sortida (2017) i que, a més a més, la seva interfície es caracteritza pel grau de senzillesa d'utilització.
2. Els clubs de bàsquet d'alt nivell no fan servir aquest tipus de màquines, ja que tenen personal suficient per poder recollir i passar pilotes durant un entrenament de tir.
3. Els jugadors joves són els que ho utilitzen més perquè necessiten un gran volum de tir per tal de millorar.
4. Les màquines actuals són de grans dimensions i això dificulta el seu emmagatzematge. Algunes d'elles no passen per les portes.

5. Les màquines que empren un sistema de discs per llançar la pilota trontollen molt en el moment de realitzar la passada.
6. Una gran millora seria que la màquina fos capaç de variar la distància de passada en un mateix entrenament.
7. Variar la distància de passada no és del tot còmode pel fet que es tracta d'un sistema accionat manualment a través d'una biela, cosa que comporta que sigui lent i feixuc.
8. A nivell europeu no hi ha cap fabricant de gran renom i, consegüentment, és molt complex poder reparar la màquina si aquesta s'avaria. És per aquest motiu que seria de gran valor que la màquina estigués composta de diferents mòduls i amb peces estàndard per tal de poder obtenir recanvis fàcilment.
9. El mecanisme utilitzat a les màquines de *Dr. Dish* colpeja la pilota i a la llarga les fa malbé.

A la *Figura 2.4-2* es pot observar la pista de joc del centre de tecnificació Next MVP Badalona. Al fons, s'hi poden veure les màquines que, per culpa a les grans dimensions, no poden ser guardes en un magatzem d'equipament esportiu.



Figura 2.4-2. Centre de tecnificació MVP Badalona.

2.5. Estudi tecnològic

En aquest capítol es realitza un estudi des del punt de vista mecànic del sistema més complex existent en aquest tipus de màquines, el sistema de propulsió de pilotes.

Principalment, existeixen tres sistemes diferents per llançar la pilota. En tots tres actua un motor com a força motriu. Ara bé, cada sistema té un mecanisme diferent per transmetre la força del

motor cap a la pilota. A continuació, es presenten tres de les patents estudiades per realitzar l'estudi tecnològic.

A l'*Annex G* es poden trobar les tres patents que es presenten en aquest capítol.

- **Patent 1.**

Títol: *Basketball training system*

Número: US 9808696 B2

Empresa: Airborne Athletics Inc.

País: Estats Units d'Amèrica

Any: 2017

L'empresa d'aquesta patent s'encarrega de dissenyar els models de la marca *Dr. Dish*. La característica principal d'aquest mecanisme és que el llançament de la pilota es produeix gràcies a un cop a la pilota. El mecanisme de propulsió consta de quatre elements (veure *Figura 2.5-1*):

1. Element ressaltat en vermell: element que colpeja la pilota. Es troba articulat entre un punt entremig de la seva longitud i un punt fix del xassís de la llançadora.
2. Element ressaltat en blau: ganxo. Element accionat indirectament pel motor.
3. Element ressaltat en groc: molla. Té un extrem fixat a l'extrem inferior de l'element **1** i l'altre és fix al xassís.
4. Element ressaltat en verd: element que permet unir l'extrem de l'element **1** amb el ganxo **2**.

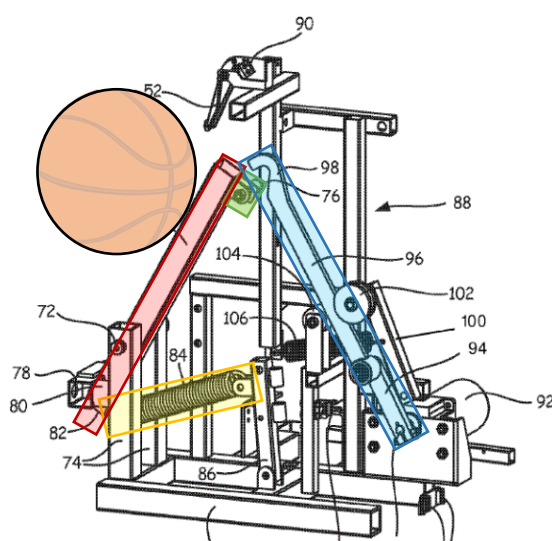


Figura 2.5-1. Mecanisme de propulsió de *Dr.Dish*.

(Font: Patent número US 9808696 B2)

La noció principal del principi de funcionament del mecanisme és que l'element **1** a l'estar fixat a la molla **3** té tendència a estar en disposició vertical. És a dir, si l'element **1** es fa rotar en sentit horari, la molla s'elonga. D'aquesta manera, com més es faci rotar en sentit horari l'element **1**, més elongació de la molla **3** i, per tant, amb més velocitat angular en sentit antihorari rotarà l'element **1** quan es deixi anar. Doncs bé, l'element **2**, el ganxo, és l'encarregat de fer rotar horàriament l'element **1**. El ganxo és accionat amb el seu respectiu mecanisme de barres mitjançant un motor.

A la *Figura 2.5-2* s'hi representa el cicle de funcionament. És interessant ja que es veu com el ganxo descrit anteriorment acciona l'element **1**. Per simplicitat i claredat la molla descrita anteriorment no surt representada.

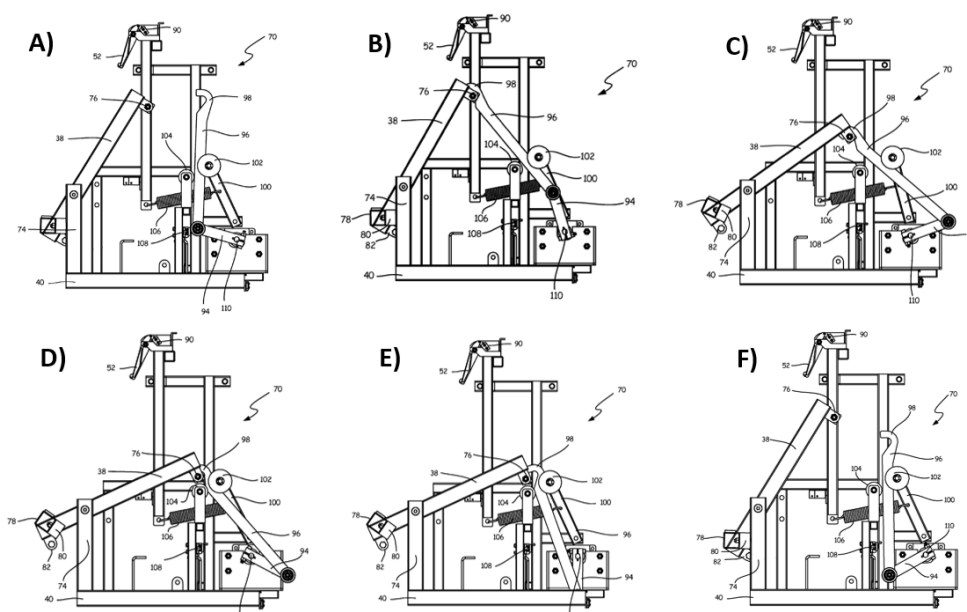


Figura 2.5-2. Cicle de funcionament del mecanisme de molla.

- **Patent 2.**

Títol: *Portable basketball retrieval and return device*

Número: US 6224503 B1

Inventor: John Gibson Joseph

País: Estats Units d'Amèrica

Any: 2001

El mecanisme d'aquesta patent és l'utilitzat per a les màquines de l'empresa *The Gun*. El principi de funcionament d'aquest nou mecanisme és semblant al descrit anteriorment. Tot i així, es

diferencien en què en aquest cas la pilota no és colpejada, sinó que és un braç que acompanya la pilota fins a llançar-la. Es podria arribar a fer la comparació amb una espècie de catapulta per tal d'entendre el concepte.

El mecanisme de llançament d'aquesta patent consta de:

1. Element ressaltat en blau: element que propulsa la pilota. Es troba articulat entre un punt entremig de la seva longitud i un punt fix del xassís de la llançadora.
2. Element ressaltat en vermell: lleva i palpador. La lleva és solidaria a l'eix del motor. El palpador és solidari a l'element 1.
3. Element ressaltat en groc: molla, té un extrem fixat a l'element 1 i l'altre al xassís de la llançadora.

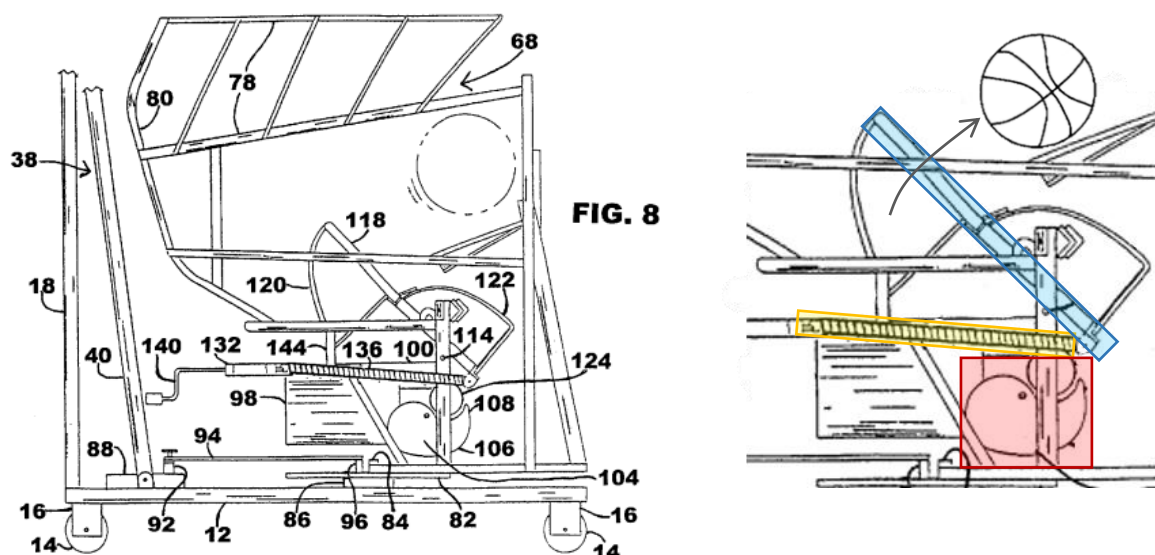


Figura 2.5-3. Mecanisme de la Patent 2.

(Font: Patent número US 6224503 B1)

Així doncs, al mateix extrem de l'element 1 hi ha unit el palpador i la molla. A la vegada, l'element 1 es troba articulat en un punt entremig de la seva longitud. En aquesta disposició, a mesura que la lleva rota, la distància entre el punt de contacte entre la lleva i el palpador canvia, causant doncs, per una banda, l'elongació de la molla i per altra banda la inclinació de l'element 1. Observant la figura anterior, quan més gran és la distància entre el punt de contacte de la lleva i el palpador, més gran és l'elongació de la molla. Així doncs, el llançament es produeix just després de superar el radi màxim de la lleva, on hi ha un canvi sobtat del radi que causa un desplaçament ràpid a causa de la tensió acumulada de la molla.

- **Patent 3.**

Títol: *Basketball collection, passing and shot analysis system*

Número: 5776018

Inventor: SoloPractice, Inc.

País: Estats Units d'Amèrica

Any: 1998

Aquest mecanisme es basa en un sistema de discs. Els discs giren cada un de forma independent i amb velocitat de gir amb sentit contrari. Com a conseqüència, si es fa passar una pilota entremig d'aquests dos discs, la pilota surt disparada. L'angle de sortida de la pilota es pot controlar fàcilment canviant la inclinació de la línia imaginària que uneix el centre dels dos discs.

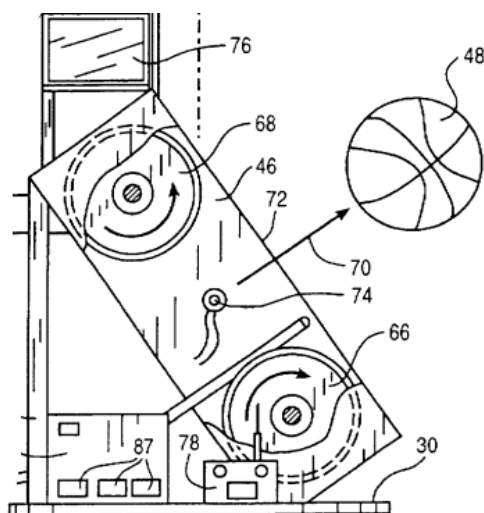


Figura 2.5-4. Mecanisme de discos.

3. ESPECIFICACIONS

A fi d'arribar a la solució òptima, es considera clau determinar quines necessitats espera satisfer el client o usuari gràcies al sistema en qüestió. D'aquesta manera, s'aconsegueix no cenyir-se directament a una de les moltes possibles solucions que podria no ser la més adequada. Per tant, aquest capítol pretén definir i conèixer el "què" (objectiu) per després poder treballar sobre el "com".

Amb tota la informació recopilada, especialment al capítol 2.5. Estudi tecnològic, s'ha pogut detectar les principals necessitats a tenir en compte per aquest projecte.

Ref.	La màquina ha de...
N01	Passar la pilota al jugador en un instant de temps desitjat.
N02	Adaptar-se a la posició del jugador.
N03	Adaptar-se a l'alçada desitjada de rebuda de la passada.
N04	Comptar els tirs tirats i ficats del jugador.
N05	Poder-se transportar fàcil a la posició desitjada d'entrenament.
N06	Ser segura durant l'entrenament i el seu transport.
N07	Poder plegar-se per facilitar el transport i guardar la màquina quan no s'utilitza.
N08	Recollir les pilotes després de cada tir.
N09	Tenir la possibilitat d'incloure més d'una pilota en el cicle de funcionament.
N10	Tenir un sistema de configuració d'entrenament fàcil i senzill.
N11	Donar la sensació al jugador de rebre una passada real.
N12	Poder posicionar-se en altres posicions de la pista de joc a part de sota la cistella.
N13	Ha de poder ser utilitzat per un ampli rang d'edats.
N14	Ser robusta i segura

Taula 2.5-1. Necessitats que ha de satisfer el sistema

A partir de les necessitats establertes es procedeix a crear un llistat d'especificacions. L'objectiu és començar a determinar les funcions i propietats que s'esperen del sistema i restriccions que s'han de tenir en compte al llarg del projecte.

Mencionar que les especificacions que es formulen a continuació són coherents amb l'abast del projecte, és a dir, només es plantegen aquelles especificacions relacionades amb el disseny i dimensionament que es duu a terme en aquest treball. També, tot i que més endavant es farà la modelització amb eines CAD, caldria verificar amb el prototip el correcte compliment de les especificacions.

A la següent taula es poden observar les especificacions:

N ° ESP	Paràmetre	Unitat	Nivell
01	Freqüència de passada	s/passada	[2 , 10]
02	Rang azimutal de passada	°	[0 , 180]
03	Distància de passada	m	[4 , 12]
04	Alçada de recepció	m	$Y \pm 0.15$ ¹
05	Velocitat de recepció	m/s	[8 , 15] ²
06	Superació de graons	cm	5
07	Superació de canvis de pendents	°	20
08	Fixació un cop muntada	-	SÍ
09	Capacitat de ser transportada muntada i desmuntada	-	SÍ
10	Dimensions (per a poder passar per una porta estàndard, segons UNE 56801:2008)	m	0.725x2.03
11	Col·locació en qualsevol punt del camp	-	SÍ
12	Alçada recepció de la pilota	m	[1.5 , 2.2]
13	Precisió en la detecció de tirs ficats	%	≥ 98
14	Captació de pilotes que l'usuari llança	%	≥ 90
15	Precisió en el comptatge de passades	%	100
16	Quantitat de pilotes per funcionar correctament	nº pilotes	≥ 3
17	Interfície per crear entrenaments	-	Pantalla
18	Robustesa i estabilitat segons UNE-EN 1270:2006	-	SÍ
19	Tensió elèctrica	V	230
20	Diàmetres de pilota utilitzable	cm	[23 , 24] ³

Taula 2.5-2. Especificacions.

¹ Alçada especificada pel jugador.

² Aquest rang de velocitats ha sigut determinat gràcies a de diferents assajos de camp realitzats pels autors. Veure per la justificació a l'*Annex C*.

³ Rang dels possibles diàmetres de les pilotes oficials de bàsquet a nivell masculí i femení.

4. DISSENY CONCEPTUAL

4.1. Descomposició funcional

El principal objectiu d'aquest capítol és determinar les funcions principals que ha de realitzar la màquina sense anar al detall de com seran implementades. Així doncs, i per tal de desenvolupar una correcta descomposició funcional, s'ha utilitzat la metodologia Arcadia. Es tracta d'una metodologia emprada sobretot en l'enginyeria de sistemes, que posa especial èmfasi a la diferència entre les necessitats expressades per les parts interessades al sistema i les possibles solucions que es poden arribar a plantejar. Arcadia permet arribar de manera progressiva a aquella solució que més s'adequa des de diferents punts de vista, tot començant des d'un nivell de detall molt simple.

En la següent figura es pot veure les conclusions de la metodologia implantada, és a dir, les funcions que ha de dur a terme cada un dels subsistemes de la màquina.

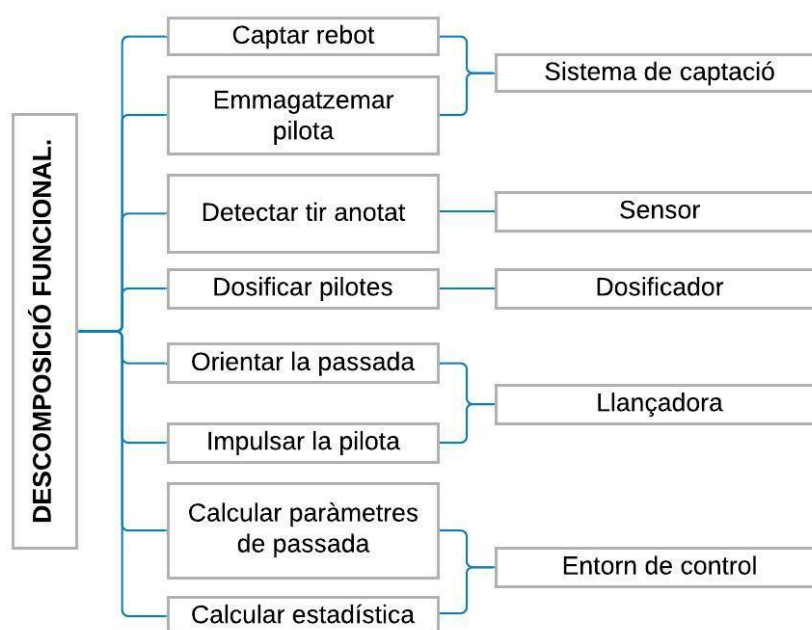


Figura 4.1-1. Descomposició funcional a través de la implementació de la metodologia Arcadia.

Aquest estudi junt amb el llistat d'especificacions facilitarà doncs l'elecció de la implementació dels subsistemes. És possible que un cop escollit el principi de funcionament del mètode d'implementació escollit, s'hagi de fer un refinament de les funcions principals presentades a la *Figura 4.1-1.*

Per tal de veure com s'ha arribat al resultat anterior, es pot consultar a l'[Annex A](#) on s'explica, pas a pas, com s'ha implementat la metodologia Arcadia.

4.2. Elecció disseny mecànic

En aquest capítol es presenta el disseny conceptual mecànic dels subsistemes recollidora, llançadora i dosificador. Comentar que s'ha afegit el subsistema base. Per a cada un d'ells, es presenten les especificacions relacionades a complir i una explicació a mode de justificació del disseny.

4.2.1. Sistema de captació de pilotes

Especificacions relacionades: *ESP09/ESP10/ESP11/ESP12/ESP16/ESP18/ESP20*

Per fer el disseny conceptual del sistema de captació de pilotes s'ha fet primer una anàlisi qualitativa dels sistemes de captació de pilotes existents al mercat i, posteriorment, s'ha fet el disseny.

Cal destacar que el principal repte d'aquest disseny és aconseguir una àrea de captació el més gran possible sense interferir el llançament a cistella de l'usuari i a la vegada aconseguir un sistema compacte en disposició plegat. El principi de funcionament de tots els sistemes de captació de pilotes de les màquines que s'han pogut estudiar són molt similars.

Tots comparteixen l'ús de quatre barres telescòpiques, amb la possibilitat de fixar el moviment relatiu entre elles mitjançant pins de fixació a dues disposicions estàndards, plegades i desplegadas. A fi de mantenir-les verticals, la immensa majoria de models de màquines disposen d'un recolzament per a cada una de les barres. A fi de mantenir les barres verticals, la immensa majoria de models de màquines disposen d'un recolzament per a cada una de les barres.

És important comentar que la xarxa, l'encarregada de captar i emmagatzemar les pilotes està unida a les quatre barres telescòpiques.

Per guanyar encara més alçada, les màquines disposen d'un mecanisme d'elevació de les barres. Aquest mecanisme és la principal diferència entre les diferents empreses. A continuació es descriuen les principals característiques de dos sistemes de captació de pilotes que utilitzen dues de les marques estudiades.

- **Mecanisme Dr. Dish.**

Aquesta empresa aposta per utilitzar un sistema de palanca per elevar una plataforma on s'hi troben articulats els extrems de quatre barres telescòpiques. Per mantenir les barres telescòpiques inclinades, disposen d'un recolzament fix a la bancada per a cada una.



Figura 4.2-1. Màquina Dr.Dish.

(Font: www.drdish.com)

Per estudiar en més profunditat el sistema d'elevació es realitza l'esquema de barres d'aquest. A continuació es representa únicament la maneta que ha d'accionar l'usuari per elevar el sistema de captació i una de les barres telescòpiques.

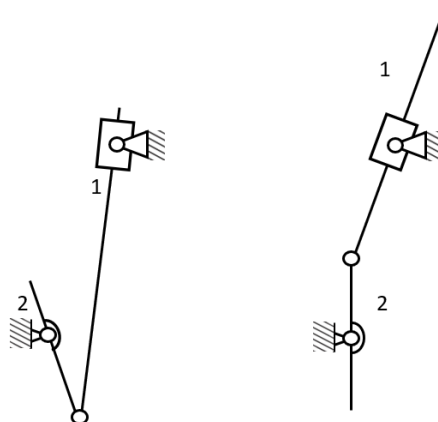


Figura 4.2-2. Esquema de barres del mecanisme d'elevació del sistema de captació de pilotes de Dr.Dish.

Com es pot veure a la figura anterior, el mecanisme consisteix a situar una articulació enmig de la barra **2** (la maneta, palanca) que a través d'un correcte dimensionament disminueix l'esforç que ha de realitzar l'usuari a l'hora d'aixecar la barra **1** (barra telescòpica). El recolzament de les barres telescòpiques s'ha modelitzat amb la corredora articulada.

- **Mecanisme *TheGrindMachine*.**

Aquesta màquina és la que es diferencia més de la resta. És una màquina creada per a ser transportada a qualsevol lloc amb facilitat. És la màquina més compacta que es pot trobar al mercat. El sistema de captació està format també per quatre barres telescòpiques, però a diferència de la resta, aquestes s'eleven mitjançant un sistema guia-corredora en disposició vertical. Per entendre el funcionament es pot comparar amb el mecanisme de plegar i desplegar d'un trípod per a càmeres.

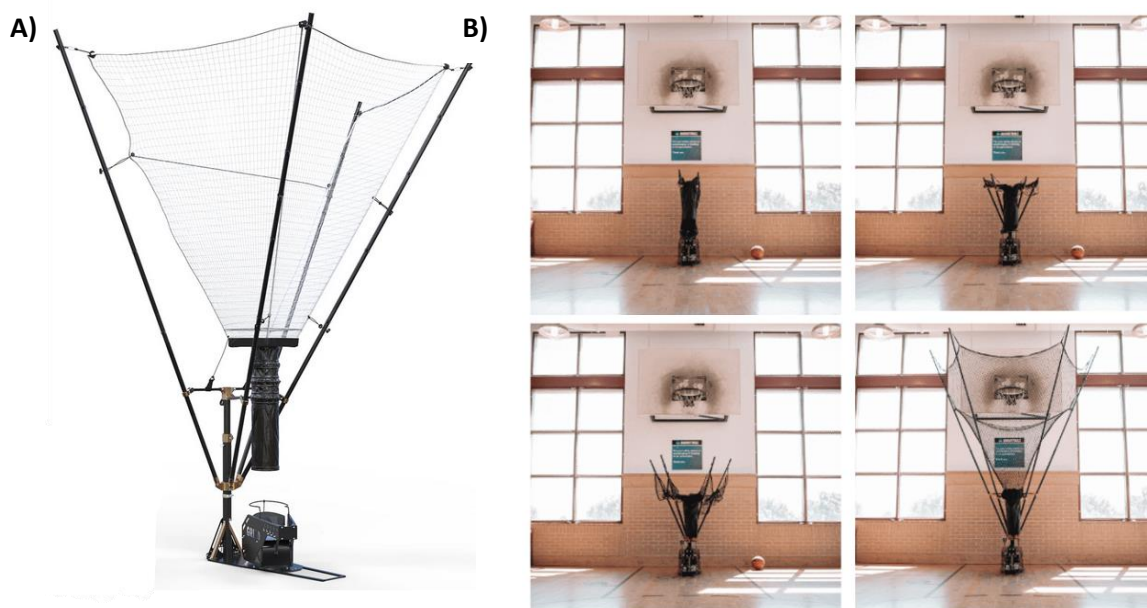


Figura 4.2-3. A) Màquina TheGrindMachine; B) Desplegament del sistema de captació de pilotes d'aquesta màquina.

(Font: www.thegrindmachine.com)

A continuació es fa la representació d'una de les barres telescòpiques del mecanisme d'elevació d'aquesta empresa.

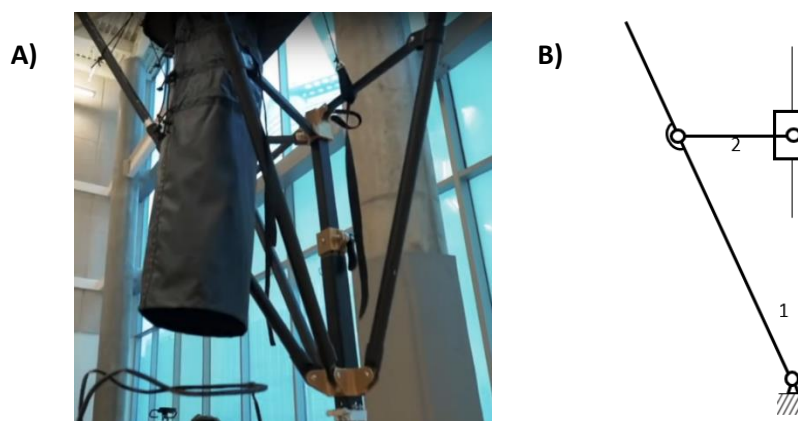


Figura 4.2-4. A) Mecanisme d'elevació del sistema de captació de pilotes de TheGrindMachine. ;
B) Esquema de barres del mecanisme d'elevació del sistema de captació de pilotes de TheGrindMachine.

(Font: <https://youtube.com/c/GRINDBasketball>).

Dels mecanismes estudiats, s'han agafat els punts forts de cada un tenint en compte les especificacions en tot moment. Dels sistemes analitzats s'han extret les següents idees:

1. Ús de barres telescòpiques i pins de fixació.
2. Corredora en disposició vertical per guanyar alçada.
3. Recolzament fix per mantenir les barres en el seu grau d'inclinació.
4. Ús d'una xarxa per recollir les pilotes.

Finalment, es decideix per aquest projecte que la recollidora estarà composta d'una corredora amb guia vertical que permet elevar a l'alçada desitjada les quatre barres telescòpiques. A més, cada barra disposa d'un recolzament fix a l'estructura.

Amb un correcte dimensionament és possible aconseguir una bona àrea de captació de pilotes. A més de ser un sistema notablement simple i de fàcil implementació, ofereix una disposició compacta quan està plegat.

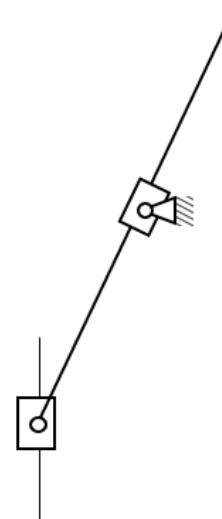


Figura 4.2-5. Esquema de barres: disseny conceptual de la recollidora. Només s'hi representa una sola barra de les quatre que la formen.

4.2.2. Llançadora

Especificacions relacionades: *ESP01/ ESP02/ ESP03/ ESP04/ ESP05/ ESP10/ ESP11/ ESP16/ ESP18/ ESP20*

Es tracta del subsistema més complex de la màquina llançadora de pilotes. Rere l'estudi tecnològic es van plantejar bastants alternatives per tal de complir amb tots els requisits. Finalment, s'ha escollit un sistema de propulsió mitjançant discs prenent com a referència la Patent 3 ja expirada (descrita en el capítol 2.5. Estudi tecnològic).

La implementació dels discs per a la llançadora, si es dimensiona adequadament, permet tenir un fàcil control de molts dels paràmetres del llançament, sigui l'angle, la velocitat o l'alçada de sortida de la pilota. També, a diferència dels altres mecanismes, el rang de valors de regulació és continu i no discret com passa amb els mecanismes de la Patent 1 i de la Patent 2 presentats en capítols anteriors. A més, aquest mecanisme no tanca les portes a la possibilitat de donar rotació a la pilota. Per tant, el nivell de personalització de la passada en funció de l'usuari és molt alt amb aquesta alternativa.

Aquest mecanisme també té l'avantatge de no donar cops a la pilota, aspecte valorat molt positivament després de la visita a Next MVP, ja que les pilotes no es malmeten i no es molesta, a nivell auditiu, als usuaris.

Un altre aspecte molt important que ha influenciat notablement a la tria del principi de funcionament d'aquest subsistema és que, tenint en compte el termini de temps disponible per realitzar el dimensionament de tota la màquina, aquest mecanisme és menys complex i facilita de manera considerable la feina a realitzar.

A conseqüència de les limitacions de l'abast del projecte, aquest sistema de discs també presenta alguns inconvenients que cal mencionar. Per exemple, caldria construir el prototip a fi de determinar correctament la distància idònia entre els discs (ESP20), el nivell de soroll quan la màquina està en funcionament, el material de la superfície de contacte dels discs amb la pilota o el perfil de revolució dels discs, entre d'altres.

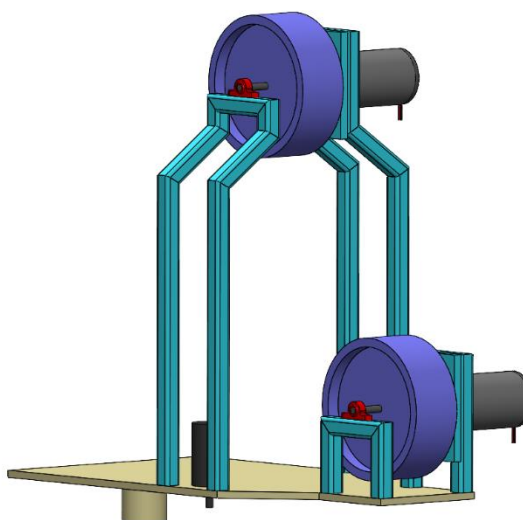


Figura 4.2-6. Disseny conceptual de la llançadora.

En aquest treball, s'han aproximat i modelitzat alguns d'aquests paràmetres al capítol 5. DISSENY MECÀNIC DETALLAT.

A la *Figura 4.2-6* es mostra el que va ser un dels primers dissenys conceptuals de la llançadora. Es pot observar que des d'un primer moment ja es va pensar en afegir un motor per a cada disc, dos coixinets pels eixos dels discs a fi d'assegurar la robustesa del sistema, un motor en disposició vertical i un eix de diàmetre notablement gran per poder orientar la passada. Aquest disseny és un esquema on encara no s'havien tingut en compte detalls com estabilitat i dimensions dels components. Tot i així, aquesta figura il·lustra una de les moltes iteracions que va permetre encaminar el disseny cap al disseny definitiu.

4.2.3. Dosificador

Especificacions relacionades: *ESP01/ESP016*

Cada màquina té el seu propi mecanisme per controlar el pas de les pilotes cap a la zona de propulsió. Les màquines que permeten incloure més d'una pilota durant un mateix entrenament, requereixen d'un sistema que posicioni una sola pilota a la zona de propulsió.

- **Dosificador de *The Gun***

Es controla el pas de les pilotes gràcies al mateix mecanisme de propulsió. És el mateix braç de palanca que ha sigut dissenyat per bloquejar el pas de les següents pilotes a llençar. D'aquesta manera, una pilota no pot posicionar-se per llençar fins que el braç de palanca no retorna a la posició de recàrrega (veure patent del capítol 2.5 Estudi tecnològic).

- **Dosificador de *Dr. Dish***

Doten d'un sistema molt més simple de dosificació arran del principi de funcionament per cops. Una pilota només pot avançar a la zona de propulsió si la pilota que està per davant no ha sigut passada. És a dir, és la mateixa pilota que està preparada per ser passada que bloqueja la següent, es recolzen entre elles. Quan el sistema de propulsió, colpeja la pilota, aquesta dona lloc a la següent pilota.

- **Dosificador de *Siboasi***

Disposen d'un sistema més complex. Consisteix a canalitzar les pilotes fins a una zona determinada on no poden avançar més, un sistema de molles bloqueja el pas. Aleshores, una pilota només pot superar aquesta zona si, i només si, és empesa per un pistó.

Destacar el dosificador en forma de creu esquematitzat a la *Figura 4.2-7*. Col·locant correctament aquest mecanisme enmig de la conducció, una sola pilota queda atrapada entre dues de les quatre aspes. A mesura que la creu gira sobre ella mateixa, la pilota atrapada i avança per la conducció. A continuació, la següent pilota, que no podia avançar bloquejada per una aspa, que queda atrapada entre dues aspes i repeteix el cicle de la pilota anterior. Controlant adequadament la creu, fent-la rotar intermitentment o a diferents velocitats, es pot dosificar el pas de pilotes per la conducció.

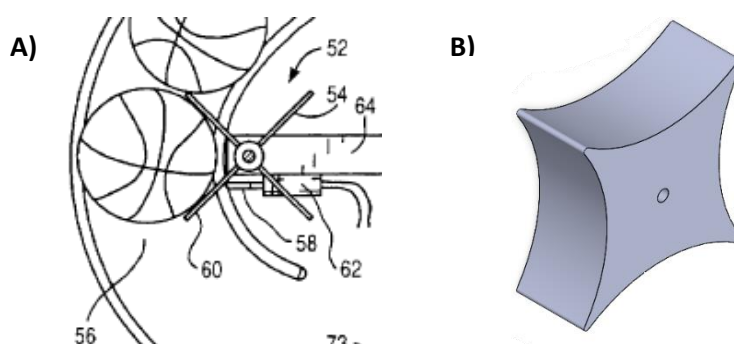


Figura 4.2-7. A) Dosificador en forma de creu; B) Model CAD del primer disseny del dosificador

La decisió del dosificador està totalment relacionada amb el mecanisme escollit de la llançadora. Per exemple, mecanismes de dosificació com els de les màquines *Dr. Dish* i de *The Gun* són de difícil implementació si la llançadora funciona amb discs. És per aquest motiu, que en un primer temps es va plantejar un sistema similar al dosificador en forma de creu. Tot i això, es va constatar que els components per implementar aquest dosificador eren massa voluminosos i de muntatge complex. A la *Figura 4.2-7* es pot veure el disseny conceptual proposat del dosificador en forma de creu.

Finalment, s'ha optat dosificar les pilotes mitjançant un accionament electromagnètic lineal, un solenoide lineal. Aquests es caracteritzen per tenir respostes molt ràpides i ser molt compactes. Es pretén des d'un inici col·locar el solenoide lineal de tal manera que interfereixi el pas de les pilotes quan aquestes circulin per la conducció encarregada de canalitzar les pilotes des de la recollidora fins a la llançadora.



Figura 4.2-8. Solenoide lineal.

Font: (<https://eu.mouser.com/>)

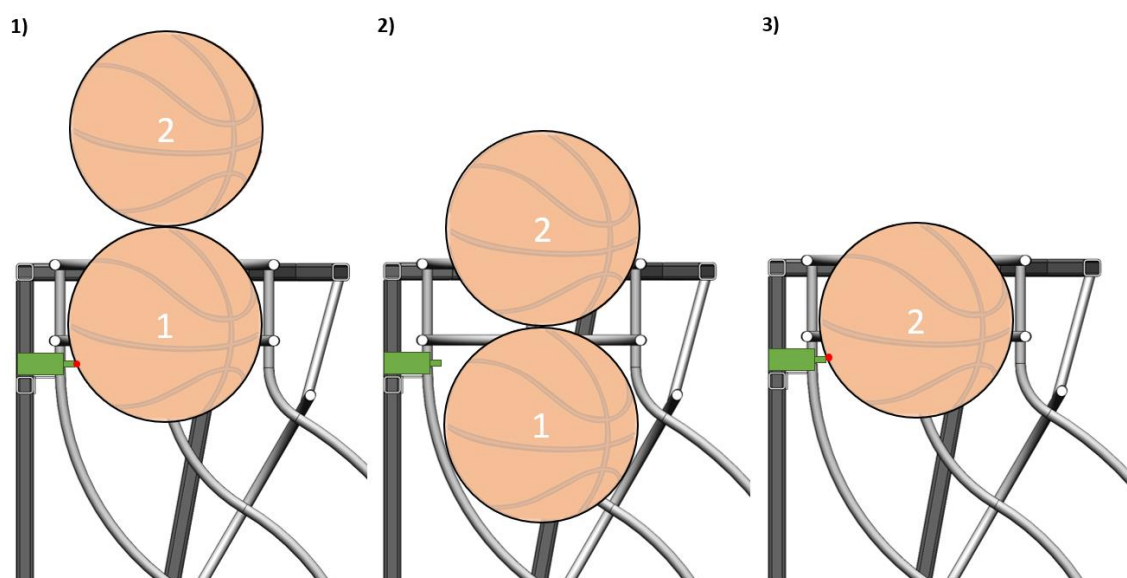


Figura 4.2-9. Cicle de funcionament del sistema de dosificació mitjançant el solenoide lineal.

4.2.4. Base de la màquina

Especificacions relacionades: ESP02/ ESP06/ ESP07/ ESP08/ ESP09/ ES010/ ESP11/ ESP12/ ES018

S'ha considerat oportú afegir en aquest capítol com es pretén agrupar totes les parts mencionades anteriorment. El disseny conceptual d'aquest ha d'acoblar tots els subsistemes descrits anteriorment sense que interfereixin entre ells tot complint les especificacions preestablertes.

A mode d'esquema, com es pot observar a la figura següent, s'ha afegit una plataforma on s'hi recolzaran tots els subsistemes. S'hi ha esquematitzat l'estructura amb els recolzaments de les barres telescòpiques (1), la guia per elevar-les (2) i finalment l'eix en direcció vertical que possibilitarà la rotació de la llançadora respecte la base (3).

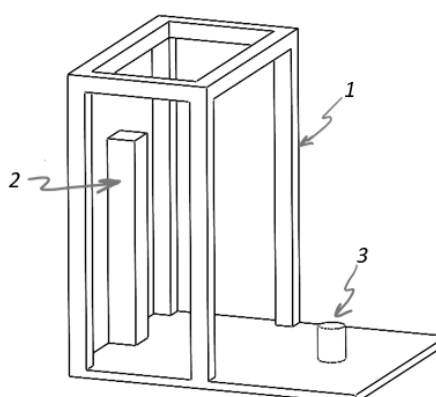


Figura 4.2-10. Disseny conceptual: base de la màquina.

5. DISSENY MECÀNIC DETALLAT

Analitzades les diferents alternatives i presa la decisió sobre la solució que es vol adoptar, es passa al dimensionament i disseny mecànic detallat dels components que conformen la màquina.

Cal insistir que per fer el disseny i dimensionament de cada un dels subsistemes s'han tingut en compte en tot moment les especificacions relacionades amb el subsistema, aquelles especificades als subapartats del disseny conceptual, i totes les informacions recopilades fins al moment. En moments concrets d'aquest capítol es mencionen aquelles especificacions que han compromès més el disseny.

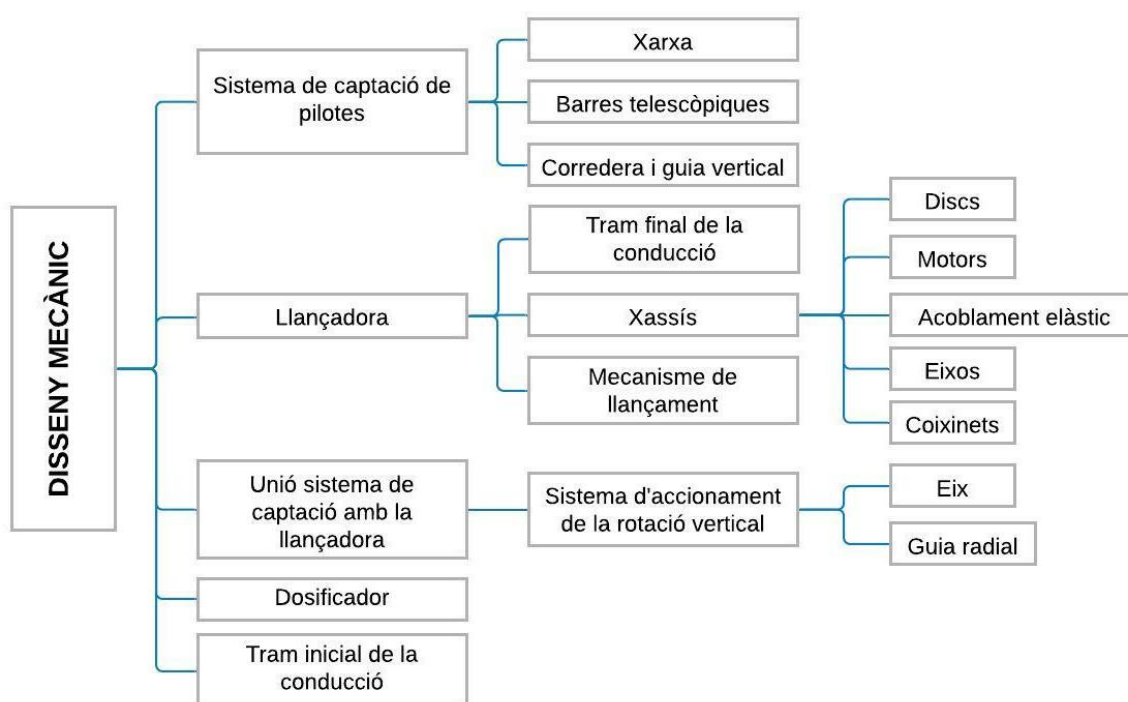


Figura 4.2-1. Estructura del disseny mecànic.

En aquest capítol es fa únicament la descripció del disseny mecànic de la solució final adoptada. La justificació numèrica de tots els components que es presenten a continuació es pot trobar al capítol de 6. CÀLCULS PEL DISSENY MECÀNIC.

A més, a l'Annex H es pot consultar la fitxa tècnica d'especificacions de cada un dels components utilitzats. Tot i això, per la majoria de casos es presenten les especificacions clau a manera de justificació de la selecció.

Tota la modalització que es presenta en aquest treball (fitxer eDrawings i SolidWorks) està disponible en aquest [ENLLAC](#).

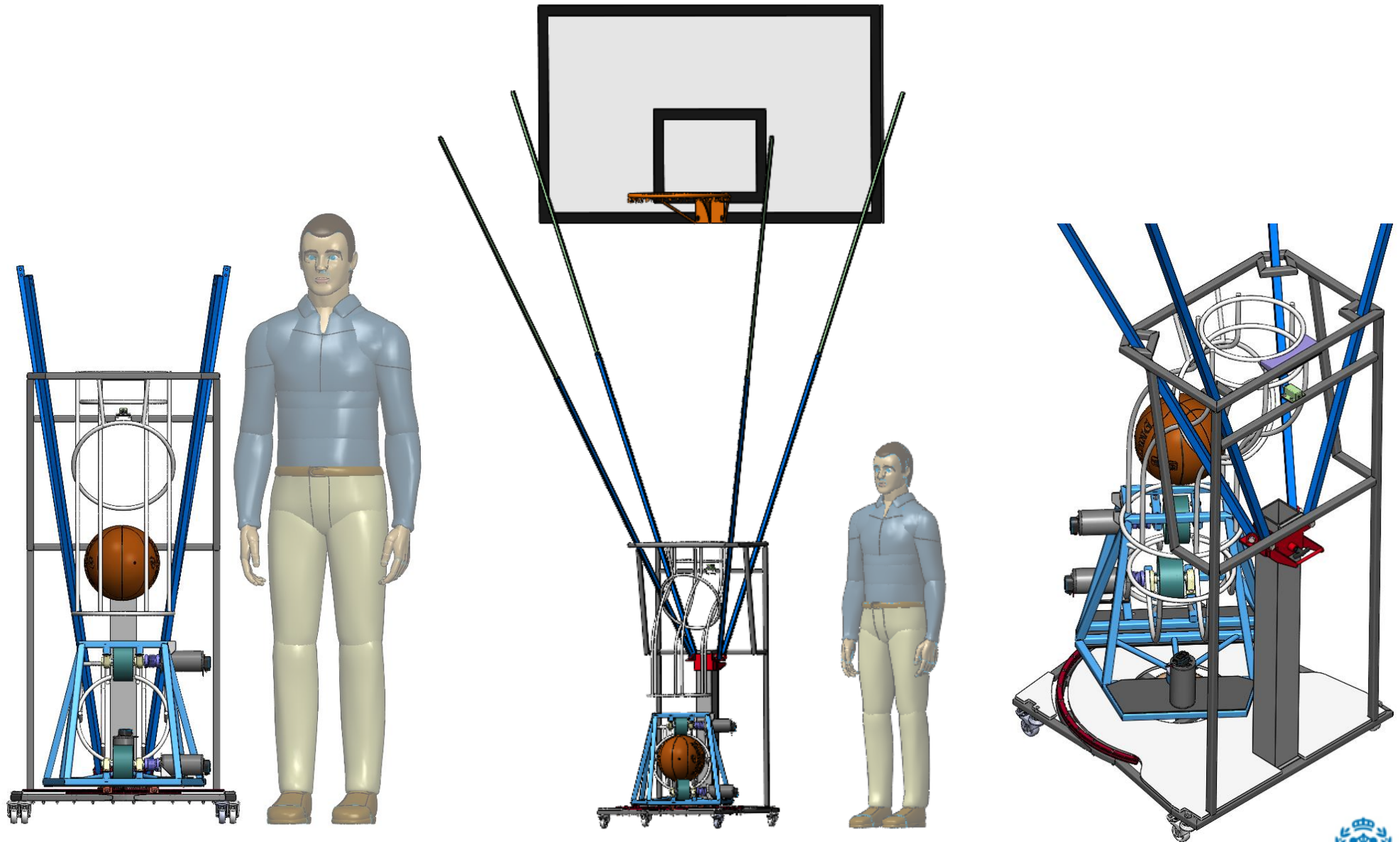


Figura 5-1. Diferents perspectives del disseny final. Comentar que tant la cistella com la persona estan a escala real. Es pot observar la màquina plegada i desplegada.

5.1. Sistema de captació de pilotes

El sistema de captació de pilotes està compost per:

1. Les barres davanteres: dues barres telescòpiques que es mouen per un pla paral·lel al taulell de la cistella.
2. Les barres posteriors: dues barres telescòpiques que es mouen cada una per un pla que forma 55° amb el pla del taulell.
3. Un recolzament per cada barra telescòpica per a mantenir les barres inclinades.
4. Una corredora amb guia vertical.
5. Xarxa: atenció, no s'ha modelitzat en disseny 3D.

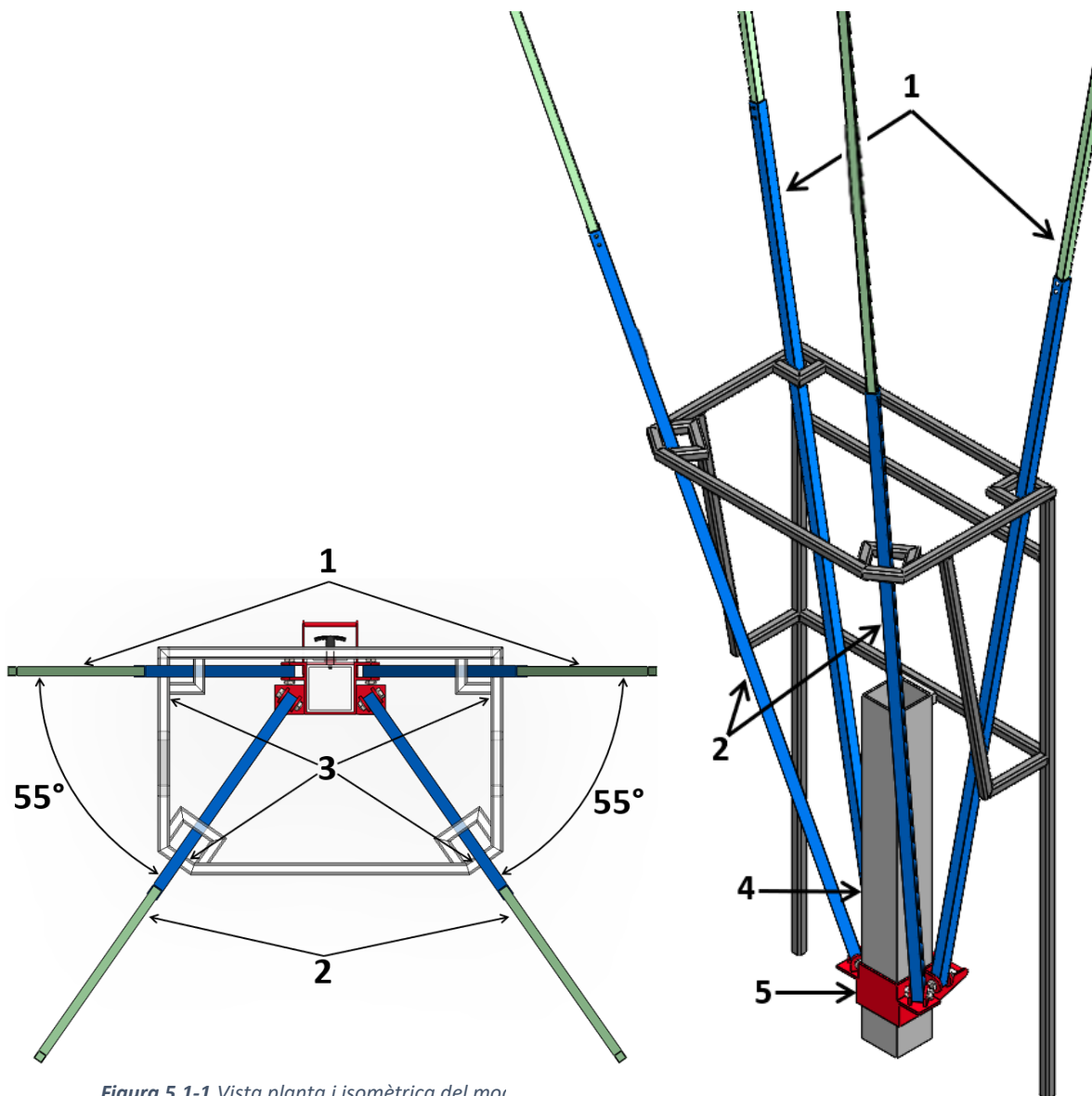


Figura 5.1-1. Vista planta i isomètrica del mecanisme

Per les barres telescòpiques s'ha escollit els tubs d'alumini 6060 de perfil quadrat de dimensions:

		Longitud [cm]	Perfil [mm]
Barres davanteres	Exteriors	157	20 x 20 x 2
	Interiors	157	16 x 16 x 1,5
Barres posteriors	Exteriors	180	20 x 20 x 2
	Interiors	180	16 x 16 x 1,5

Taula 5.1-1. Dimensions dels tubs del sistema de captació.

A fi de bloquejar el moviment relatiu entre les barres telescòpiques en disposició desplegat, s'utilitzen els posicionadors de pressió GN 614.4-NI.

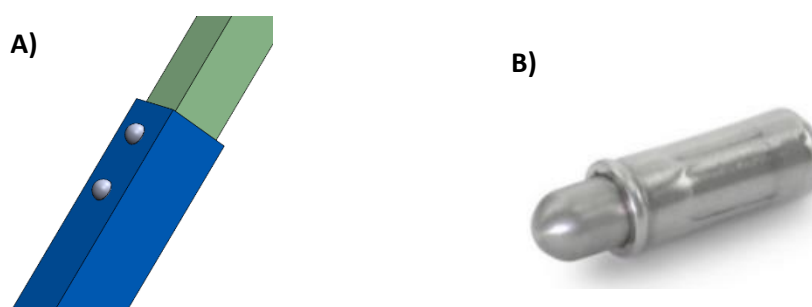


Figura 5.1-2. A) Implementació del posicionadors de pressió; B) Posicionador de pressió GN 614.4-NI de les barres telescòpiques.

Recordar que les especificacions ESP10 (relacionada amb les dimensions de les portes) i ESP14 (relacionada amb l'àrea de captació) condicionen de manera important la disposició de les barres del sistema de captació de pilotes. Tal com es pot observar a la *Figura 5.1-1*, són les barres anteriors (1) les que es veuen més afectades per aquestes restriccions. És per aquest motiu que el dimensionament del sistema de captació de pilotes s'ha focalitzat en aquestes (consultar capítol 6.1. Dimensionament sistema de captació).

L'angle de 55 [°] escollit per a les barres telescòpiques posteriors (2) ha estat escollit per tal de pertorbar el mínim possible el tir cap a cistella de l'usuari des de les posicions de tir més freqüentades.

A la *Figura 5.1-1* es pot apreciar l'estructura que fa la funció de recolzaments de les barres telescòpiques. Aquesta estructura és de tubs d'acer S275 de perfil 20x20x2 [mm] soldats. Aquest acer és molt utilitzat en l'àmbit estructural i admet molt bé la soldadura sense haver de fer un preescalfament ni un tractament tèrmic posterior al tub. A la vegada, aquesta estructura està soldada a la guia vertical de la corredora i a la base de la màquina.

Els punts de recolzament de les barres posteriors estan situats a una alçada de 136 [cm] respecte al terra i separats 54 [cm]. D'igual manera estan disposades les barres davanteres entre elles. La separació entre els recolzaments d'un mateix costat és de 36,6 [cm].

Per tal d'evitar grans oscil·lacions de la barres telescòpiques quan les pilotes xoquen amb el conjunt del sistema de captació, s'ha afegit un topall a la cara oposada de la cara de recolzament de cada barra telescòpica.

La corredora s'ha dimensionat a partir d'un tub d'acer de perfil quadrat de dimensions 88x88x4 [mm]. La guia vertical per la qual es mou és un tub d'acer de perfil quadrat de 80x80x4 [mm]. D'aquesta manera la corredora només es pot moure axialment per la guia vertical.

Per crear l'articulació amb les barres prismàtiques, es solden al tub de la corredora unes extensions de xapa d'acer de 5 [mm]. Pel cas de les barres posteriors, se solda un perfil d'acer en forma de L de 10x10 x5 [mm] per habilitar l'enllaç de les barres davanteres.

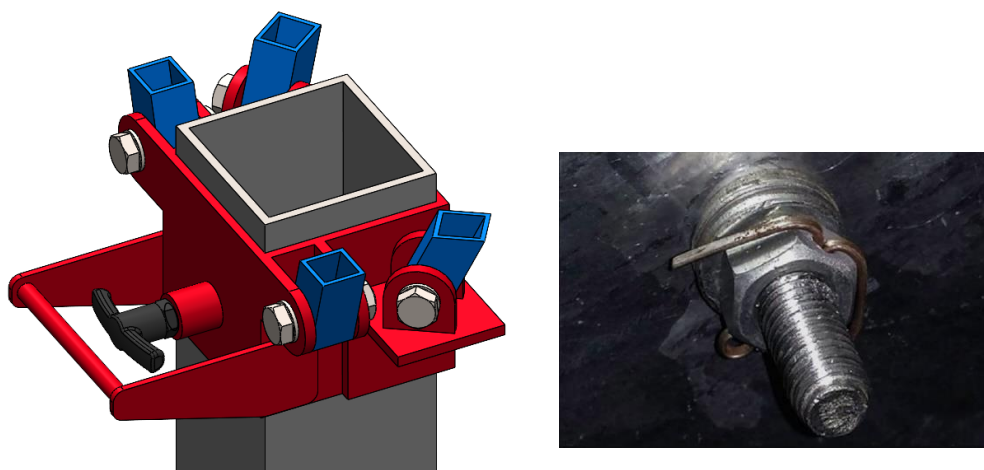


Figura 5.1-3. A) Corredora i guia vertical. B) Exemple de torca amb passador

(Font: B) www.forotransportistas.es)

Finalment, l'articulació s'ha completat mitjançant un cargol de M10x40, dues volanderes i una femella amb passador per articulació. En model CAD de la *Figura 5.1-3* la femella amb passador surt representada com una femella normal. Amb una femella normal, l'articulació estaria bloquejada i les barres no podrien rotar. Per tal de permetre la rotació s'ha decidit utilitzar una femella amb passador. Aquest tipus de femella permet, per una banda, definir el nivell d'estrenyiment necessari perquè les barres rotin, i per l'altra evitar que la femella es pugui afloixar gràcies al passador.

Per fixar la corredora a la guia a la posició de plegat i desplegat s'ha afegit el posicionador de molla en forma de T GN 817.4-6-9-B. Aquest s'ha col·locat de tal manera que, conjuntament amb la maneta habilitada de secció circular, l'usuari pugui pujar la corredora de manera fàcil i ergonòmica.

5.2. Llançadora

Com ja s'ha comentat en apartats anteriors, la llançadora és l'encarregada de llançar la pilota cap al jugador. La llançadora es pot descompondre en les següents parts:

1. Xassís.
2. Sistema de propulsió: motors, eixos, acoblaments elàstics, discs i coixinets.
3. Tram final de la conducció .

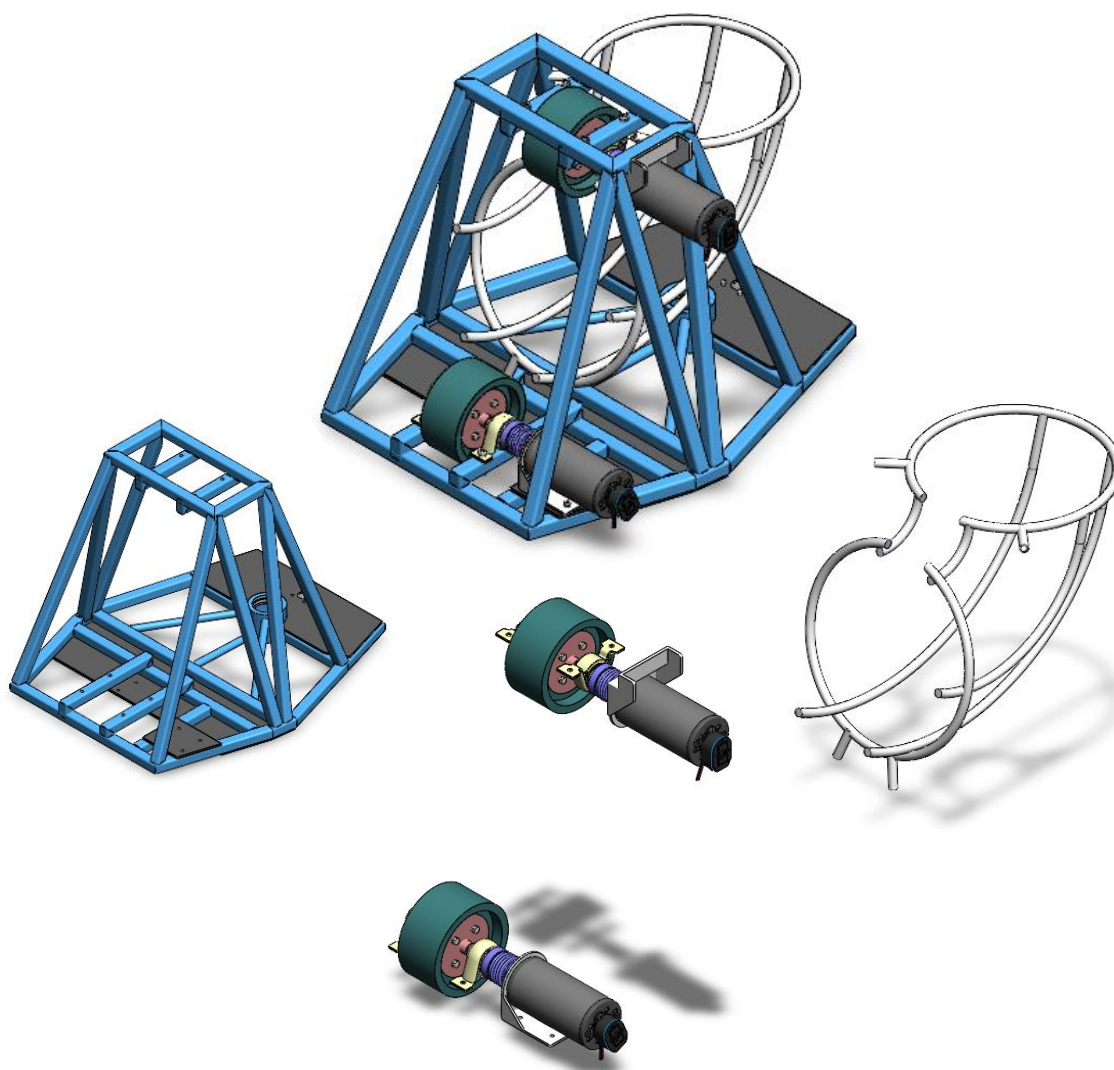


Figura 5.2-1. Disseny de la llançadora i les seves parts principals.

5.2.1. Xassís

Es tracta d'una estructura tipus gàbia conformada a partir de perfils tubulars d'acer S275 de secció quadrada de 20x20x2 [mm]. Tal com es pot observar a la *Figura 5.2-2*, s'ha creat una estructura reticulada aconseguint així una estructura rígida i resistent.

El xassís té una amplada de 488.69 [mm], una alçada de 437.86 [mm] i una llargada de 585.24 [mm].

A més a més, és important destacar els següents elements que conformen xassís:

1. Forat de la unió llançadora-base de diàmetre exterior 68 [mm] i gruix variable. Unit al xassís mitjançant tres tubs d'acer S275 de perfil circular de diàmetre 14 [mm] i gruix de 3 [mm] i dos tubs de perfil quadrat igual que els del xassís.
2. Conjunt de tubs per a fixar els dos coixinets necessaris per a l'eix del disc inferior. Mateixos tubs que els utilitzats per la resta del xassís.
3. Conjunt de tubs per a fixar els dos coixinets necessaris per al disc superior. Mateixos tubs que els fets servir per la resta del xassís.
4. Conjunt de tubs de perfil quadrat en disposició transversal necessaris per fixar la xapa d'acer on estan fixades les dues corredores de la guia radial (justificació al capítol 5.3. Unió sistema de captació amb la llançadora).
5. Conjunt de tubs de perfil quadrat necessaris per soldar la xapa de suport del motor de rotació vertical (justificació al capítol 5.3. Unió sistema de captació amb la llançadora).

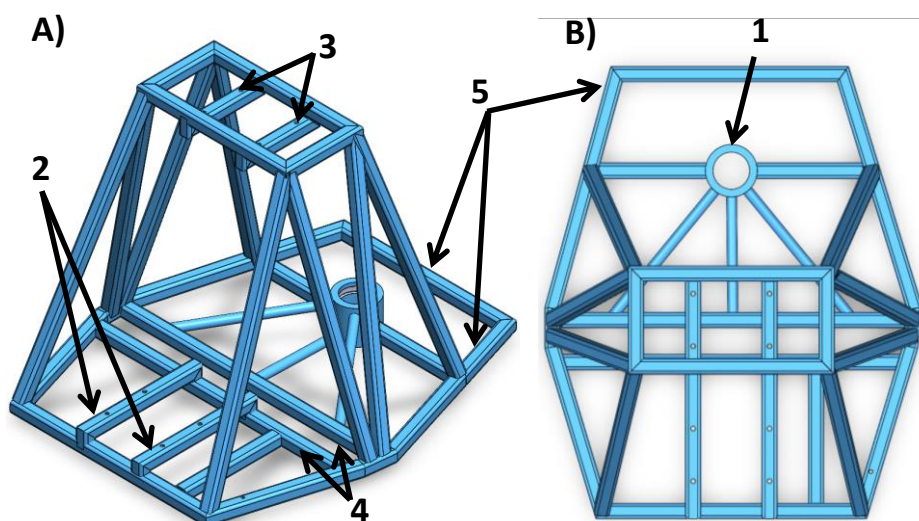


Figura 5.2-2. A) Vista isomètrica del xassís; B) Vista en planta del xassís.

5.2.2. Tram final de la conducció

A la part posterior del xassís, hi ha soldat el tram final de la conducció encarregat de fer arribar les pilotes tangencialment als discs, aconseguint d'aquesta manera propulsar la pilota amb l'angle escollit.

Aquesta part està dissenyada amb barres d'acer S355 de secció circular massissa de diàmetre 12 [mm] i formen conjuntament una canalització de secció circular de diàmetre variable que acaba amb secció de 240 [mm], suficient per deixar passar la pilota.

A més, s'afegeixen quatre extensions de les mateixes barres utilitzades per a la conducció, que mitjançant un cordó de soldadura, s'uneixen als tubs del xassís.

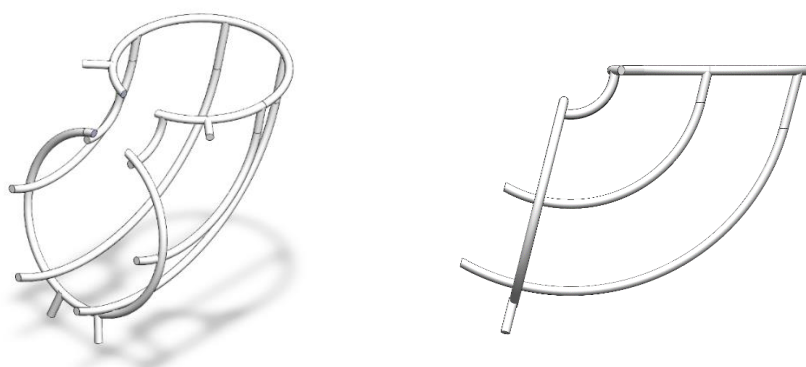


Figura 5.2-3. Vista isomètrica i vista perfil del model CAD del tram final de la conducció.

5.2.3. Sistema de propulsió de la pilota

5.2.3.1. Accionament dels discs

El sistema de propulsió està format per dos grups iguals formats cada un pel llistat de components següent:

1. Disc.
2. Unió del disc amb l'eix.
3. Motor.
4. Acoblament elàstic.
5. Eix.

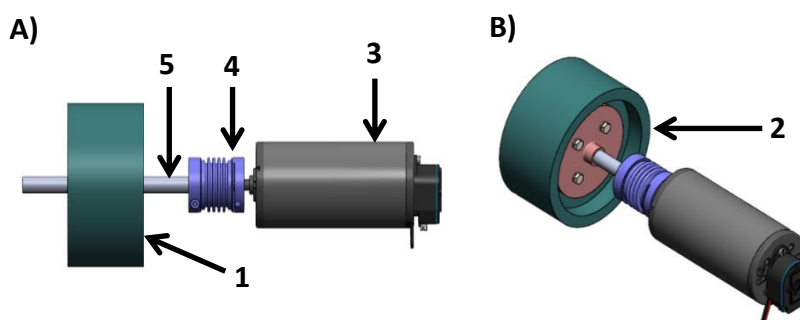


Figura 5.2-4. Sistema de propulsió de la pilota: A) Vista frontal; B) Vista isomètrica.

Els discs són elements clau de la llançadora, un correcte dimensionament dels discs és crucial pel simple fet que són els elements que entren amb contacte amb la pilota per propulsar-la.

En aquest projecte s'ha dimensionat el disc tenint en compte els factors principals considerats com a necessaris i suficients per realitzar una primera proposta (aquests es presenten al capítol 6.3. Dimensionament dels discs i els motors). Tot i així, és evident que existeixen moltes variables que afecten el seu disseny, per exemple, la variabilitat de la mida de la pilota o el material de la superfície d'aquestes. Per tant, caldria validar el correcte funcionament d'aquest primer disseny i posteriorment optimitzar-lo.

Finalment, el disc escollit és d'acer el qual caldria recobrir únicament la superfície que entra en contacte amb la pilota amb una pel·lícula de goma per millorar l'adherència i no malmetre greument les pilotes.

Les característiques principals dels discs utilitzats són:

DISC

Diàmetre exterior [mm]	120
Diàmetre de l'eix [mm]	12
Massa [kg]	3.45
Inèrcia en l'eix de gir [kg·mm ²]	7275.9

Taula 5.2-1. Característiques principals del disc.

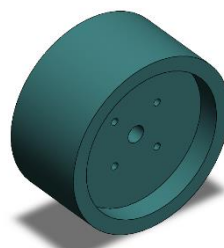


Figura 5.2-5. Vista isomètrica del disc.

Per tal que el disc quedi totalment solidari a la posició desitjada en el seu eix, s'ha dissenyat la fixació que es mostra a la Figura 5.2-6. Es tracta d'una planxa d'acer tallada en forma circular de 80 [mm] de diàmetre. Concèntricament, té un tub soldat, també d'acer, de diàmetre interior de 12 [mm], gruix 2.6 [mm] i llargada de 17.2 [mm]. Per una banda, aquest component s'uneix a l'eix del disc mitjançant un cordó de soldadura i, per altra banda, s'uneix al disc amb quatre cargols de mètric M5x40, vuit volanderes i quatre femelles a través dels forats mecanitzats a cada un dels components.

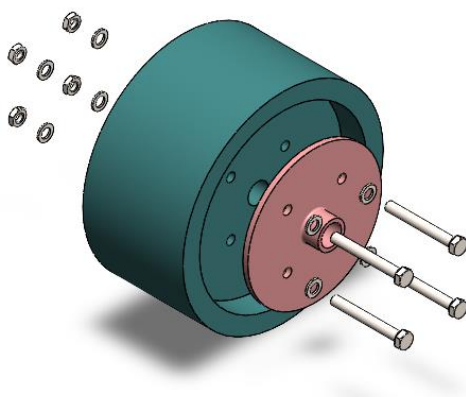


Figura 5.2-6. Fixació al disc de la unió de la eix-disc

Per accionar ambdós discs s'ha escollit el motor de corrent continu síncron *GR 63x55* del fabricant *Dunkermotoren*. Tenint en compte als càlculs realitzats al capítol de 6.3. Dimensionament dels discs i els motors, s'ha escollit la variant del model amb tensió d'alimentació nominal de 40 [V] ja que reuneix les característiques requerides pel que fa a potència i parell. D'aquest es destaquen les següents especificacions:

GR 63x55

Corrent nominal [A]	2.95
Velocitat nominal [rpm]	3450
Parell nominal [Nm]	0.27
Potència nominal [W]	97.5
Diàmetre de l'eix [mm]	8

Taula 5.2-2. Característiques principals del motor GRx55.

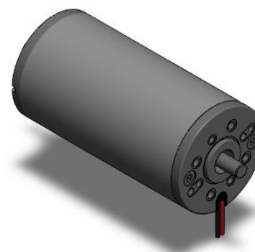


Figura 5.2-7. Vista isomètrica del motor GR 63x55.

Ja per acabar de descriure l'últim dels elements que conformen el sistema de propulsió, s'utilitza un acoblament elàstic per unir l'eix del disc i l'eix del motor. Aquest tipus d'unió destaca per ser una solució molt estable i econòmica capaç d'absorbir i esmorteir les discontinuïtats en el parell que es presenten en el sistema en qüestió en règim de funcionament normal.

A més, l'acoblament elàstic accepta desalineacions entre els dos eixos que es munta. Per tant, si no fos per la seva presència, apareixerien altes tensions al conjunt que eventualment derivarien a un mal funcionament, a l'aparició de vibracions i la fatiga dels components.

L'ús d'aquest component garanteix un correcte funcionament del conjunt ja que tot el sistema de propulsió s'uneix a un xassís amb angles complicats i soldadures complexes que poden derivar a imprecisions de muntatge.

L'acoblament elàstic que s'ha utilitzat és el model *BKL 10 44* de l'empresa *R+W* que es caracteritza per tenir un parell nominal de 10 [Nm], ben superior al parell màxim calculat al capítol de dimensionament. A més, permet una desalineació angular de 2 [°], considerat més que suficient per aquesta aplicació. Per unir-lo als respectius eixos, disposa d'un cargol de subjecció en disposició radial per cada forat.

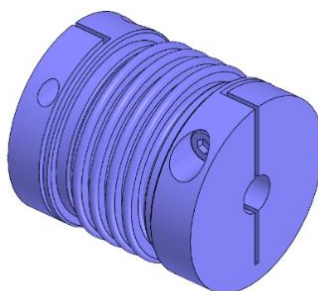


Figura 5.2-8. Vista isomètrica de l'acoblament elàstic BKL 1044.

5.2.3.2. Muntatge de l'accionament dels discs al xassís

Tot l'assemblatge de components descrits anteriorment s'ha d'unir al xassís. Concretament, s'han unit de tal manera que la pilota surt disparada amb un angle de 29° . Tenint en compte que, aproximadament, el diàmetre d'una pilota de bàsquet oficial a nivell masculí és de 23.8 [cm] i a nivell femení de 23 [cm], s'ha escollit que la distància entre els dos discs sigui 240 [mm] (consultar ESP20 de la *Taula 2.5-2*).

Com es pot observar, la distància entre els discs és més gran que el diàmetre de la pilota, però s'ha de tenir en compte que els discs s'han de recobrir d'una pel·lícula de goma per garantir adherència amb les pilotes. D'aquesta manera, la pilota s'aixafarà i sortirà propulsada.

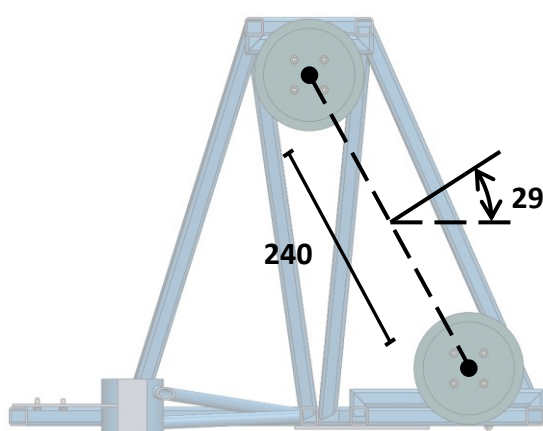


Figura 5.2-9. Esquema de la disposició dels discs.

Per muntar els dos discs en la disposició descrita anteriorment i aconseguir assegurar un correcte funcionament del sistema de propulsió, es munten els dos assemblatges al xassís tal com es mostra a la *Figura 5.2-10*.

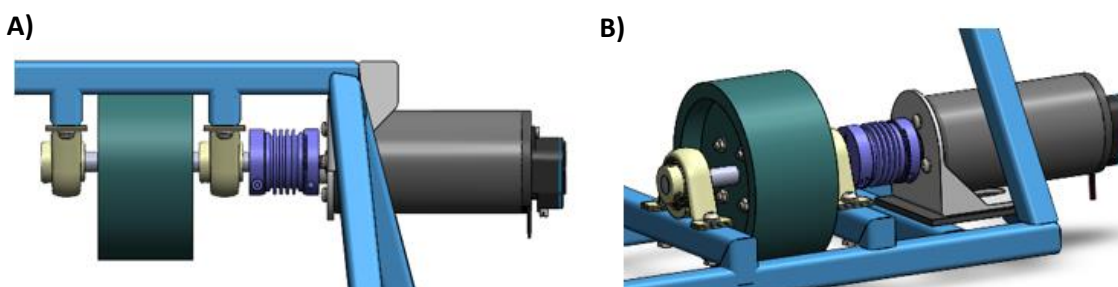


Figura 5.2-10. Vista general de l'assemblatge del sistema de propulsió al xassís.

El principal objectiu és crear un disseny robust que minimitzi les deformacions dels eixos que poden arribar a comprometre el funcionament esperat. Com es pot apreciar a les figures anteriors, els motors estan muntats al xassís amb un suport especial per a cada un. Aquests suports són de xapa d'acer de 4 [mm] de gruix.

Per una banda, el suport del motor superior està soldat a dues cares del perfil tubular quadrat xassís. Per l'altra banda, el suport inferior està fixat amb tres cargols de cap hexagonal de mètric M4x12, un de M4x35 (ja que aquest també ha de travessar el xassís), i vuit volanderes i femelles a una planxa d'acer de 4 [mm] de gruix, la qual està soldada al xassís.

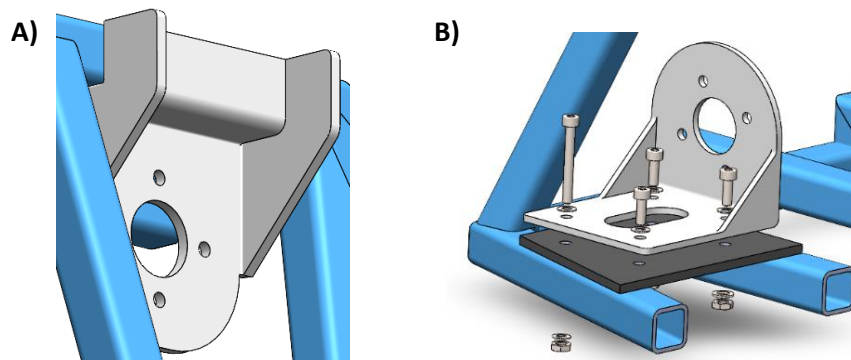


Figura 5.2-11. A) Suport del motor superior fixat al xassís. B) Suport del motor inferior fixat al xassís.

Els dos motors estan fixats de la mateixa manera al seu respectiu suport amb quatre cargols de cap hexagonal semiesfèric de mètric M5x10 i quatre volanderes tal i com es mostra *Figura 5.2-12*.

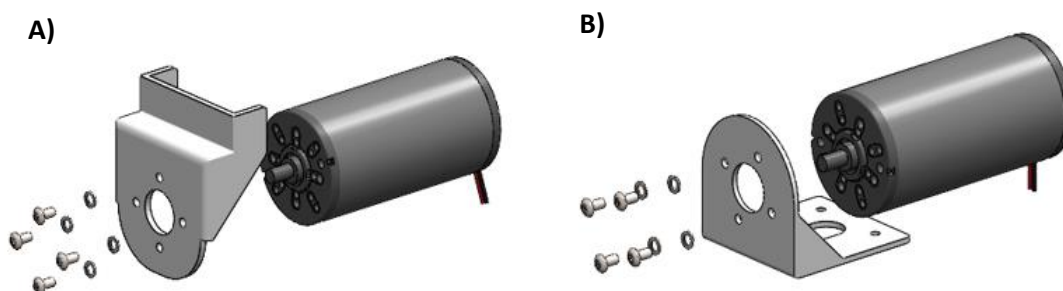


Figura 5.2-12. Fixació dels motors als seus respectius suports: A) Superior; B) Inferior.

A la següent figura es pot observar el suport superior de manera detallada.

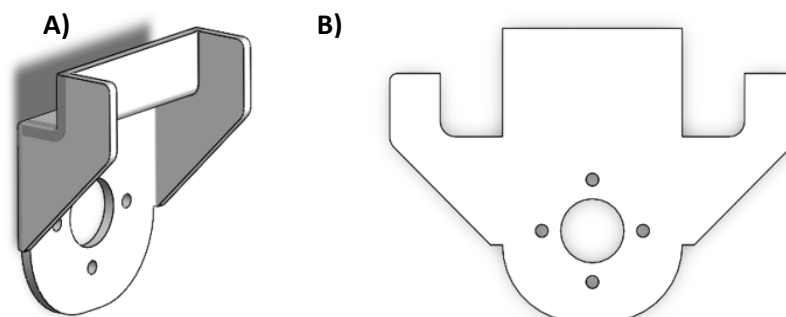


Figura 5.2-13. A) Suport del motor superior; B) Desplegament del suport del motor superior.

Finalment, per reduir al màxim les deformacions dels eixos dels discs causades per la pressió exercida per les pilotes al ser llançades, s'escull el conjunt coixinet més suport *P 12 TF* de la marca *SKF*. Es tracta d'un coixinet rígid de boles d'una sola filera i un suport de peu d'acer premsat que facilita un fàcil assemblatge al xassís mitjançant dos cargols M6x30, les seves corresponents volanderes estàndard i dues femelles.

Mitjançant un cargol de fixació en disposició radial al coixinet, és possible fixar l'eix de 12 [mm] de forma ràpida i senzilla al coixinet.

Les principals característiques del rodament i del suport són respectivament:

YAR 203/12-2F

Capacitat de carga dinàmica bàsica (C) [kN]	9.56
Capacitat de carga estàtica bàsica (C ₀) [kN]	4.75
Diàmetre de l'eix [mm]	12

Taula 5.2-3. Característiques principals del coixinet YAR 203/12-2F.

P 40

Càrrega radial admissible [kN]	1.25
Massa [Kg]	0.06

Taula 5.2-4. Característiques principals del suport de coixinet P 40.

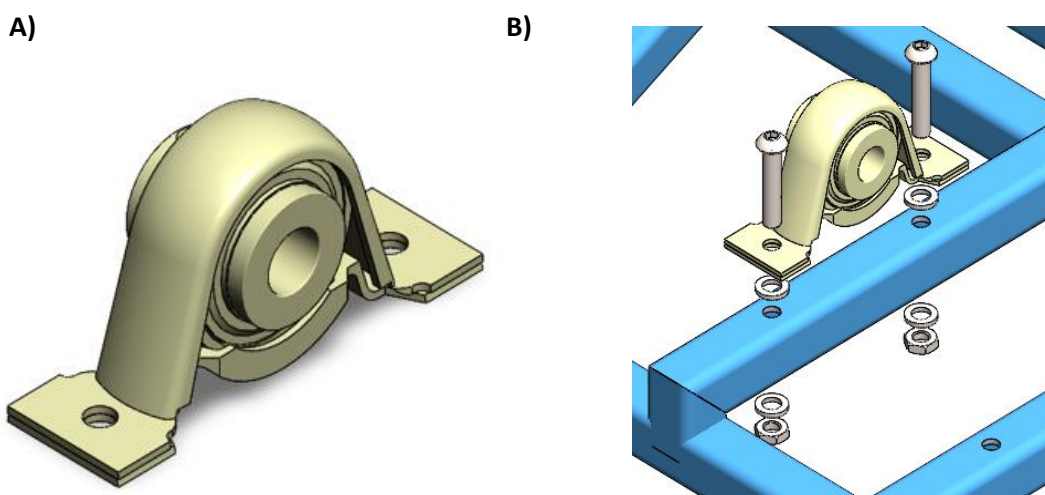


Figura 5.2-14. A) Vista isomètrica del conjunt coixinet i suport P 12 TF; B) Fixació d'un coixinet al xassís.

5.3. Unió sistema de captació amb la llançadora

Aquesta unió es pot interpretar com la base de la màquina, ja que serveix de suport i unió entre el sistema de captació de pilotes i la llançadora.

A més, ha de permetre un fàcil transport del conjunt d'un lloc l'altre garantint en tot moment una bona estabilitat i evitar perills de bolcada. En tractar-se d'una base tubular s'ha afegit una xapa d'acer de 8 [mm] a la cara superior dels tubs. Es tracta d'una altra mesura preventiva de potencials accidents per tal d'evitar que l'usuari, o qualsevol persona que estigui al voltant, col·loqui alguna de les seves extremitats a través de la malla de tubs que a causa del moviment continu de la llançadora en una situació normal d'ús pot causar lesions greus.

La base té una amplada de 685.00 [mm] i una llargada de 718 [mm] i està dissenyada a partir de tubs d'acer S275 i de perfil quadrat de dimensions 20x20x2 [mm].

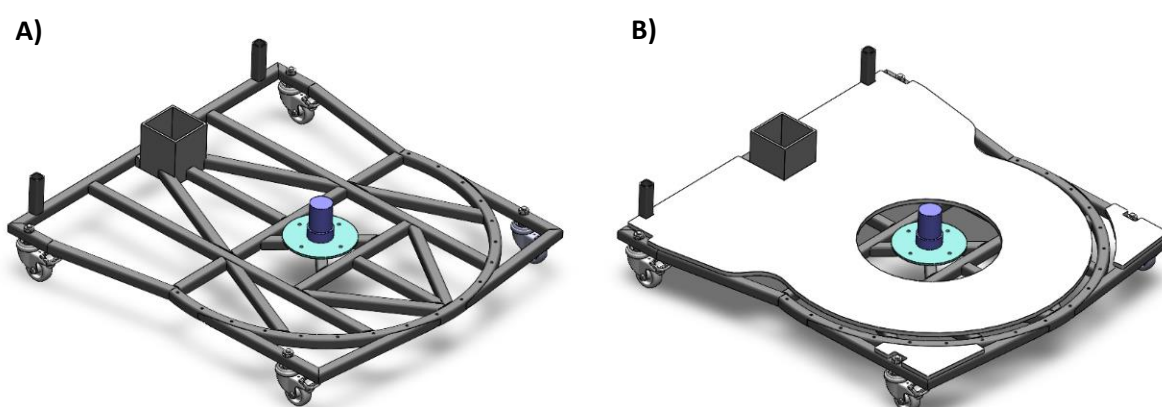


Figura 5.3-1. A) Base de la màquina sense xapa de protecció. B) Base de la màquina mb xapa de protecció.

5.3.1. Rodes

Per l'elecció de les rodes s'ha tingut en compte:

1. La càrrega suportada per les rodes tan en estàtic com en moviment. Pels dos casos, han de tenir la capacitat de suportar tot el pes de la màquina.
2. Incloure un sistema de frenada per bloquejar la màquina quan està en funcionament.

Tenint en compte això, les rodes que s'han seleccionat són el model *LRA-TPA 50G-FI-ELS-GS10* de la marca *Blickle*, un model industrial estàndard que incorpora un sistema de frenada. En estàtic suporten una càrrega de 2940 [N] entre les quatre, i en moviment suporten 1176 [N] a 3 [km/h].

Tal com es mostra a la *Figura 5.3-2*, per unir les rodes a la base es mecanitzen quatre forats a l'estructura de perfils quadrats i es fixen les rodes amb quatre volanderes i quatre femelles de mètric del cargol de les rodes, M10.

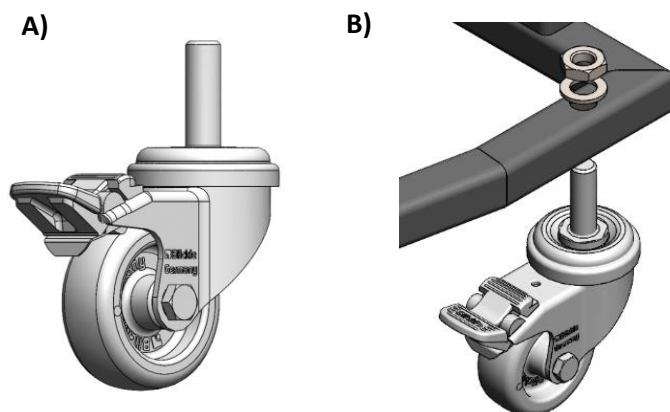


Figura 5.3-2. A) Vista isomètrica del model CAD de les rodes; B) Unió de la roda-base.

5.3.2. Eix vertical

És l'element que, junt amb el sistema de guia-corredora, uneix llançadora i la base. És també en aquest on es troba el mecanisme de transmissió reductor.

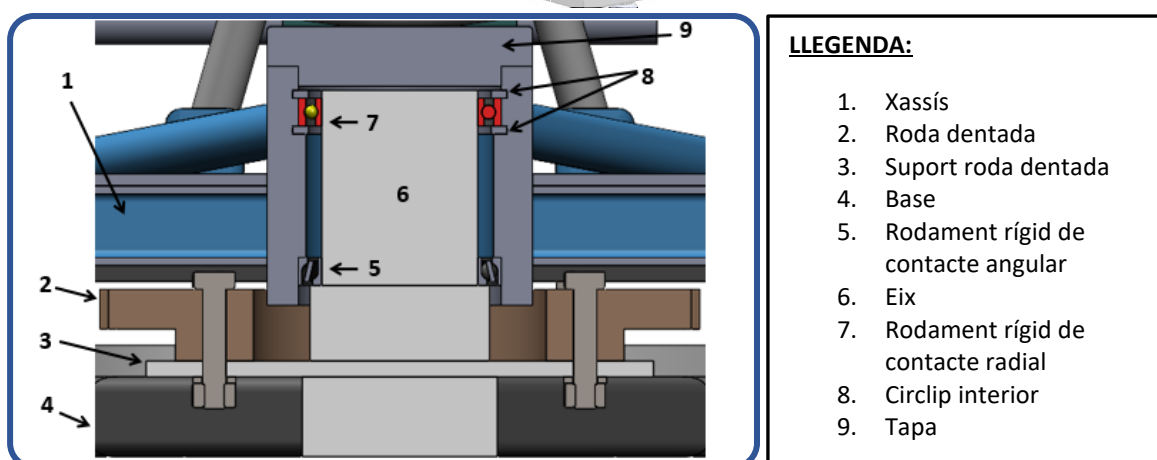


Figura 5.3-3. Vista en secció de la unió.

Com es pot veure a la *Figura 5.3-3* l'eix és massís de diàmetre variable (6) i es troba soldat als tubs de perfil quadrat de la base (4). D'aquesta manera, l'eix queda totalment fixat en disposició vertical.

Per permetre el moviment relatiu entre l'eix i el forat del xassís, s'hi munten dos rodaments. S'ha de tenir en compte que a l'eix hi actuen principalment dos tipus d'esforços, un esforç de compressió i moments flectors degut a la distància entre el centre de gravetat de la llançadora i l'eix de rotació.

Per tant, es munta un rodament de boles d'una filera de contacte angular (5), rodament 71808-TN de la marca *Schaeffler* de diàmetre interior de 40 [mm] i l'exterior de 52 [mm], capaç de suportar part del pes de la llançadora i a la vegada contrarestar esforços radials.

Aquest rodament, per tal que quedi fixat a la seva posició, es recolza a les ranures mecanitzades tant a l'eix com al forat que tenen les dimensions especificades a la fitxa tècnica d'aquest component.

Per completar la unió, es munta un coixinet rígid de boles d'una sola filera (7), model 61808 de la marca *SKF*, de diàmetre interior i exterior igual que el rodament de contacte angular (5). Aquest rodament és imprescindible per mantenir la llançadora estable en girar i llançar la pilota. Aquest últim rodament es fixa mitjançant dos *circlips* seguint la norma DIN 472 d'acer per a perforacions de muntatge axial de la marca *Beneri*.

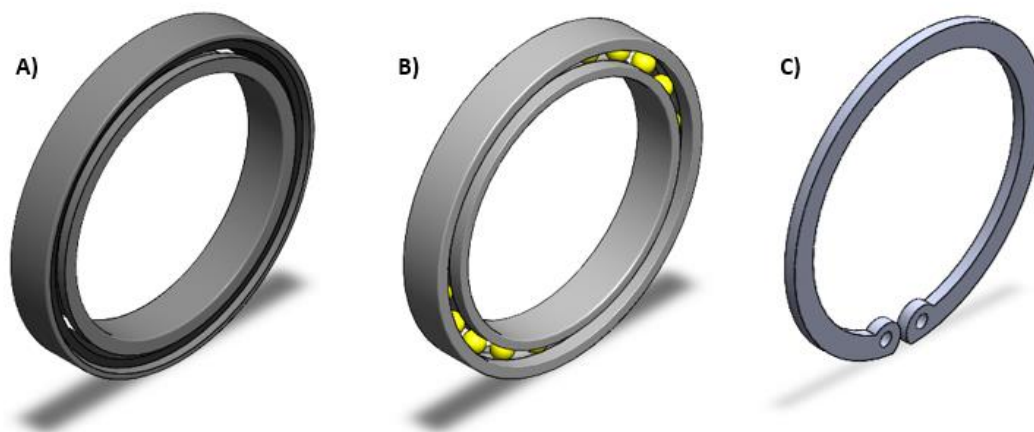


Figura 5.3-4. Models CAD de: A) Rodament de contacte angular; B) Rodament radial; C) Circlip

5.3.3. Guia radial

L'altre element d'unió entre llançadora i la base és la guia radial. El motiu d'utilitzar aquest element és reduir l'esforç tant axial com radial que en la seva absència hauria de suportar únicament els elements de l'eix vertical. A la *Figura 5.3-5* es mostra el diagrama de forces en absència de la guia radial.

Analitzant la disposició de la llançadora i el seu eix de rotació vertical, es pot observar que com més allunyada es troba la guia respecte a l'eix de rotació, més gran és la compensació del moment causat per la distància entre el centre de gravetat de la llançadora i l'eix de rotació vertical d'aquesta.

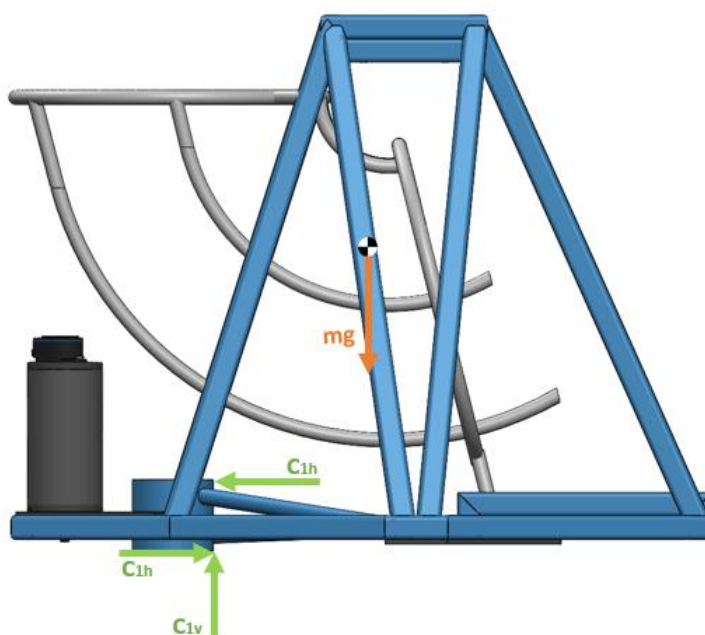


Figura 5.3-5. Esquemàtic de les reaccions que actuen sobre la llançadora en absència de la guia radial.

S'ha escollit el model HMG 35A de l'empresa *Nanjing Technical Equipment Manufacture CO., LTD.* Aquesta empresa disposa de diferents diàmetres de guia en el seu catàleg, per tant, s'ha escollit el diàmetre més gran possible que respecta totes les condicions de disseny, concretament la guia seleccionada és de diàmetre 600 [mm].

La guia està unida a la base mitjançant 17 cargols de mètric M5x40 amb les seves respectives volanderes i femelles. En la *Figura 5.3-6* es pot observar com s'uneix el model CAD de la guia a la base.

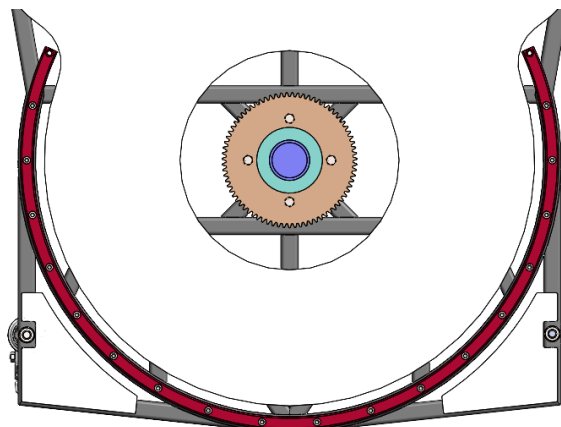


Figura 5.3-6. Assemblatge de la guia radial a la base de la màquina.

Per aquesta guia hi llisquen dues corredores, les quals estan fixades a una xapa d'acer de 4 [mm] (soldada al xassís) mitjançant dos cargols de mètric M4x16 i dues volanderes.

Una corredora és insuficient ja que les acceleracions angulars de la llançadora quan s'orienta causen moments no desitjats entre la corredora i la guia. Per tant, amb dues corredores s'aconsegueix eliminar aquest factor. Les corredores s'han col·locat de tal manera que cadascuna suporta els mateixos esforços, és a dir, les dues formen un angle de 13° entre la línia imaginària que passa per la projecció al pla horitzontal del centre de gravetat de la llançadora i el centre de rotació de la llançadora amb la línia que uneix la corredora i el centre de rotació de la llançadora. Es recomana veure la *Figura 5.3-7* per una millor comprensió de la disposició d'aquests dos elements.

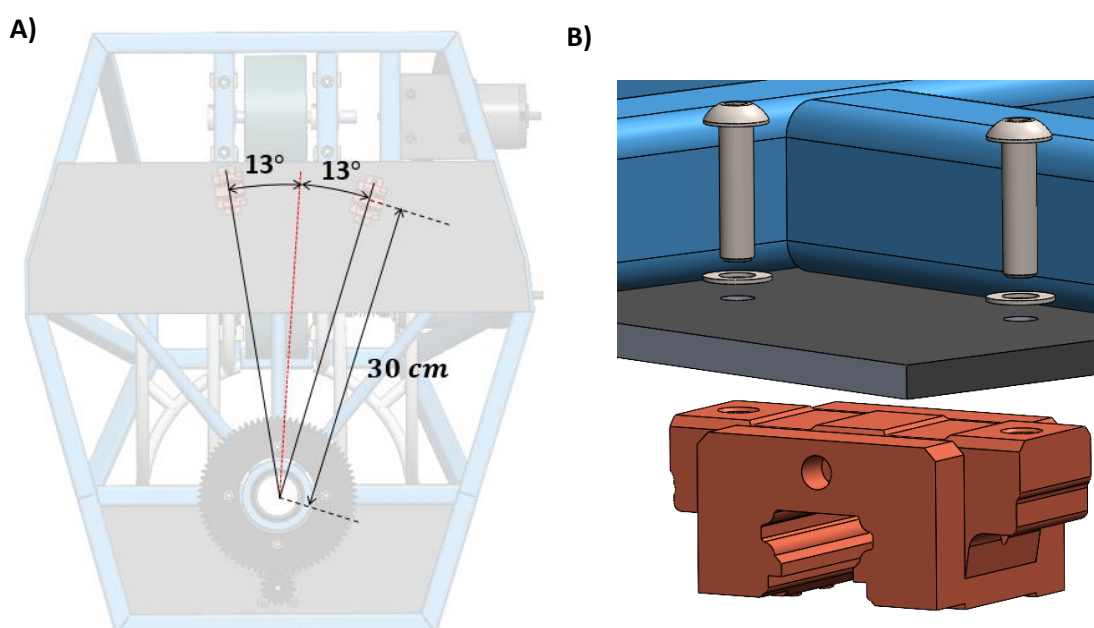


Figura 5.3-7. A) Disposició corredores al xassís; B) Vista explosionada de l'assemblatge de la corredora.

5.3.4. Sistema d'accionament de la rotació vertical

Per tal que la llançadora pugui rotar per ella mateixa durant un entrenament s'ha dissenyat un mecanisme d'accionament per a la rotació vertical. Es decideix des d'un primer instant utilitzar el mateix model de motor utilitzat pels discs (model GR 63x55 de *Dunkermotoren*) per accionar la rotació vertical. És per aquest motiu que es dissenya un sistema de transmissió reductor compost per dues rodes dentades. Així doncs, es redueix el parell màxim necessari per accionar la rotació de la llançadora, sent aquest inferior que el parell màxim que pot facilitar el motor.

La relació de la transmissió reductora és de $r = 5$.

La roda dentada gran està fixada, mitjançant quatre cargols M6x30 i les seves corresponents volanderes i femelles, a una xapa de 4 [mm] soldada als tubs quadrats estructurals de la base.

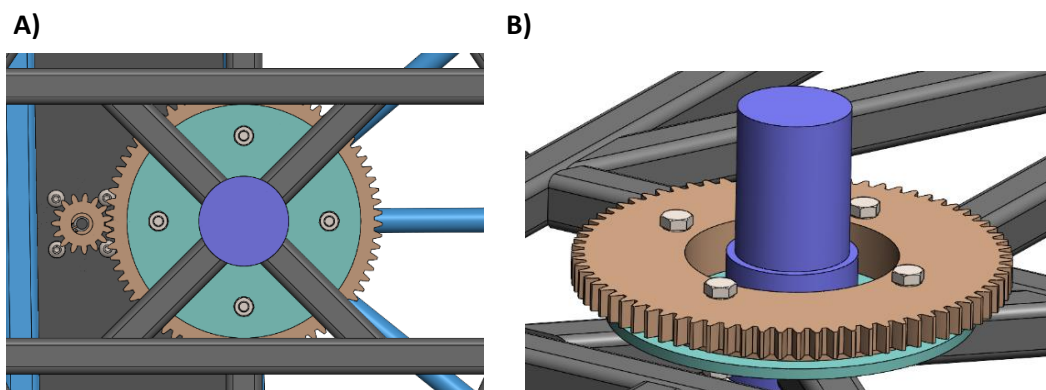


Figura 5.3-8. A) Mecanisme reductor; B) Vista isomètrica de la roda dentada gran muntada a la base de la màquina.

La roda dentada petita és solidària a l'eix del motor encarregat d'accionar el conjunt. El motor es munta en disposició vertical i fix a la plataforma de xapa de 3 [mm] habilitada a la llançadora mitjançant quatre cargols de mètric M5x10 i quatre volanderes.

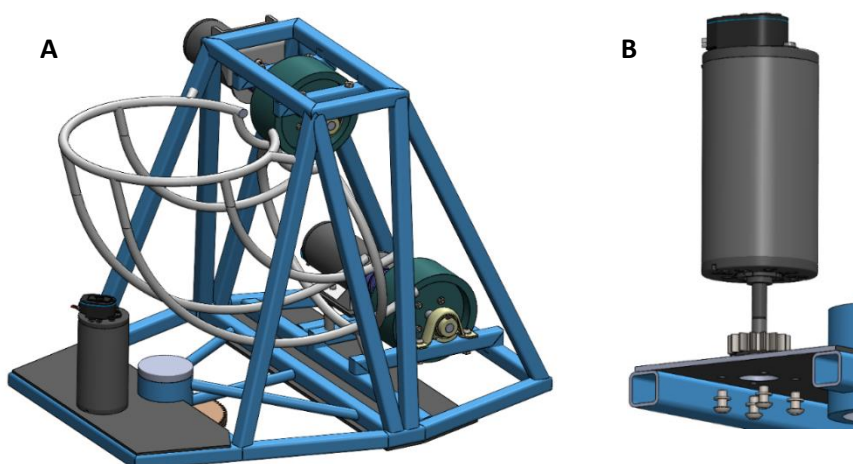


Figura 5.3-9. A) Vista general de la llançadora. B) Assemblatge del motor al xassís de la llançadora.

La unió de la roda dentada petita és més complexa que l'anterior. La roda dentada petita ha de quedar totalment fixada a l'eix del motor. Per fixar-la axialment es dissenya un eix de diàmetre variable i una ranura pel circlip. A més, es mecanitza una xaveta per poder transmetre el parell del motor cap a la roda dentada.

1. Eix de diàmetre variable de 8 [mm] i 6 [mm].
2. Xaveta paral·lela DIN 6885.
3. Ranura pel circlip de diàmetre 5,7 [mm].
4. Roda dentada petita.
5. Circlip de *Beneri* per eixos de 6 [mm] (seguint DIN 471).

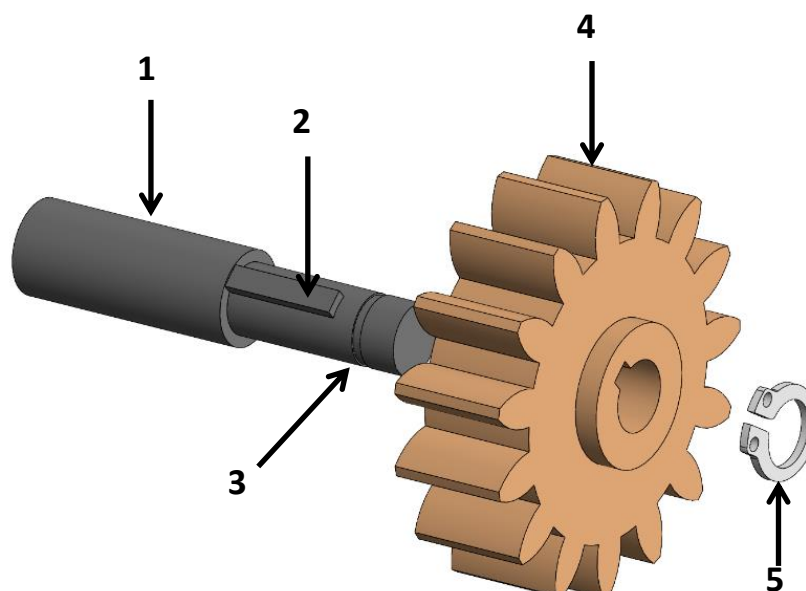


Figura 5.3-10. Vista explosionada de l'assemblatge de la roda dentada petita al l'eix.

Per concloure, a continuació es mostren les característiques més importants de les rodes dentades utilitzades.

	Roda dentada gran	Roda dentada petita
Mòdul	2	2
Número de dents	75	15
Radi [mm]	75	15
Gruix [mm]	10	10

Taula 5.3-1. Característiques generals de les rodes dentades.

5.4. Tram inicial de la conducció

La conducció és un element molt simple que ha de canalitzar les pilotes que arriben de la xarxa de la recollidora fins a la llançadora. La conducció consta de dos trams, el tram inicial, que es descriu en aquest apartat, i el tram final ja descrit al capítol [5.2. Llançadora](#).

Tenint en compte que aquests dos trams estan separats i que a més el tram final és solidari a la llançadora, l'última secció del tram inicial de la conducció ha de ser concèntrica a l'eix vertical de rotació de la llançadora. D'aquesta manera, la pilota sempre pot ser canalitzada d'un tram a l'altre.

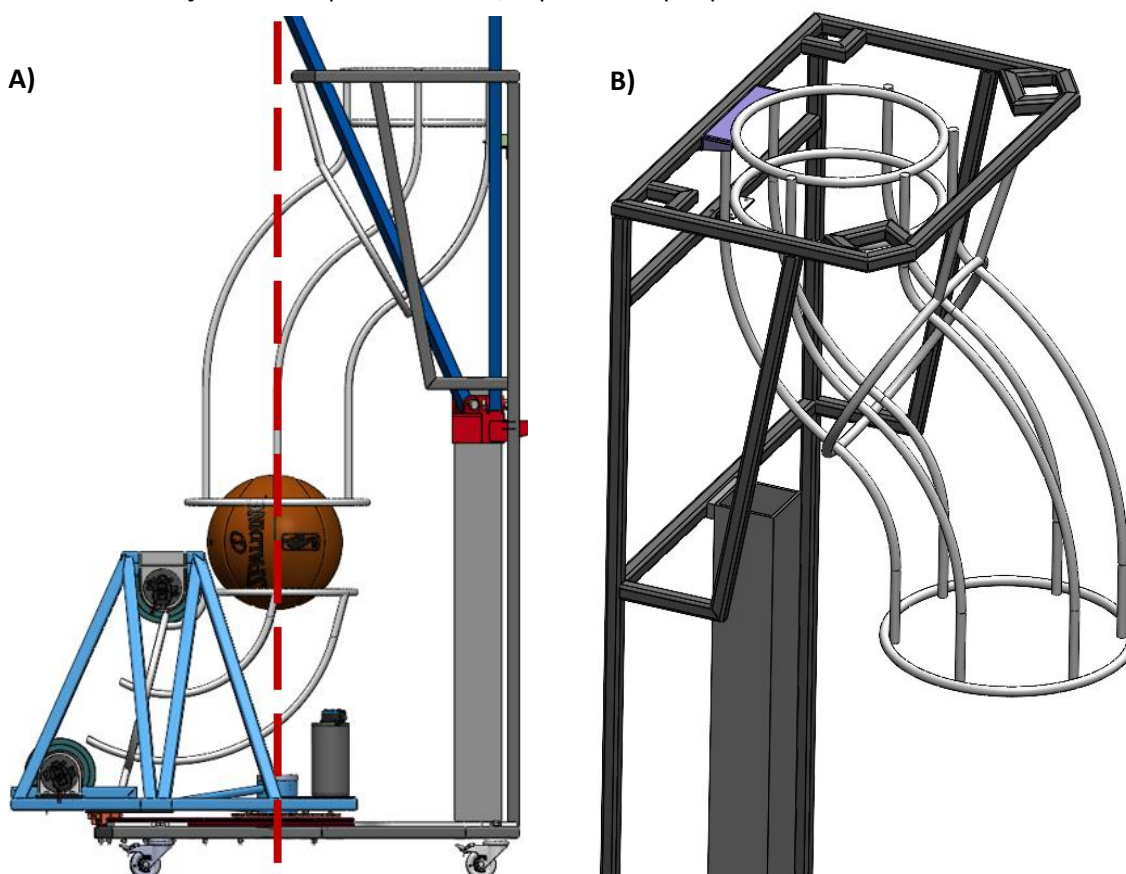


Figura 5.4-1. A) Disseny CAD del prototip on s'hi representa amb la línia discontinua de color granat l'eix de rotació de la llançadora. B) Vista isomètrica de la conducció assemblada als recolzaments;

També, un dels reptes de disseny d'aquest component ha estat fer-lo el màxim compacte possible. És per aquest motiu que s'ha dissenyat de tal manera que s'ha fet passar la conducció a través de l'estructura ja dimensionada de recolzaments, sense en cap moment interferir el correcte funcionament de la recollidora.

De la mateixa manera que s'ha fet al tram de la llançadora, aquest tram inicial de la conducció és de barres d'acer AISI 1015 de secció circular massissa de diàmetre 12 [mm]. El conjunt de tubs

conformen sempre una conducció de secció circular constants de diàmetre 243 [mm], suficient per deixar la pilota i assegurar una correcta dosificació tal i com es justifica més endavant.

La conducció està unida a per dos punts a l'estructura utilitzada per a recolzar les barres telescòpiques per assegurar una bona rigidesa.

Primerament, s'ha creat una peça de xapa d'acer AISI 1015 de 3 [mm] que uneix el primer anell de la conducció amb el tub de secció quadrada de l'estructura de recolzaments.

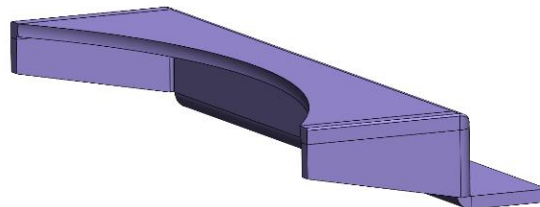


Figura 5.4-2. Peça de xapa per unir la conducció a l'estructura de recolzaments.

En segon lloc s'ha afegit segments de barra massissa, iguals que els de la conducció, que uneixen el segon anell de la conducció amb la part davantera de l'estructura de recolzaments.

5.5. Dosificador

Per dosificar les pilotes s'escull el dosificador 195202-230 de l'empresa *Ledex*. Es munta de tal manera que la tija de l'actuador bloqueja la pilota que intenta avançar per la conducció. Quan s'acciona el solenoide, és a dir, quan la tija es recull, la pilota cau per l'acció de la gravetat.

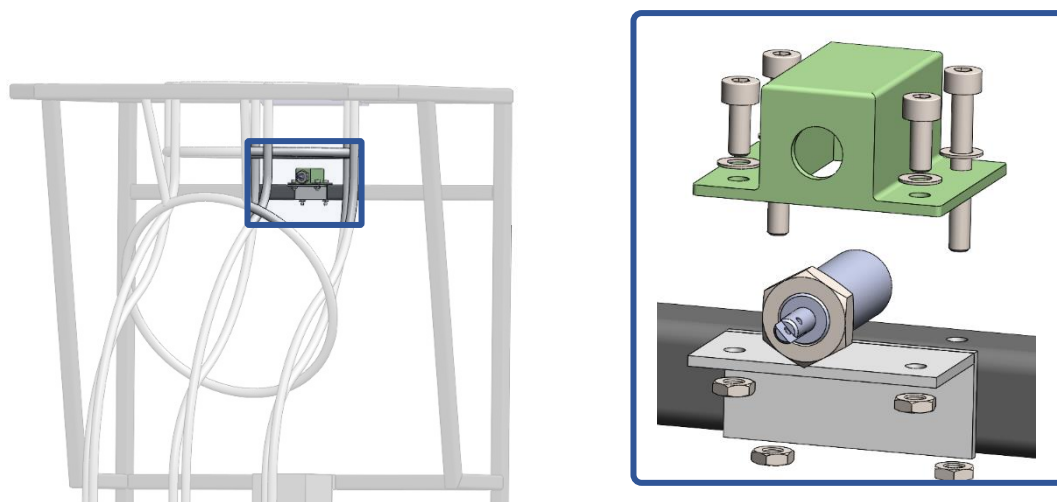


Figura 5.5-1. Vista explosionada del dosificador i de la seva caixa de protecció.

Per a poder muntar el solenoide a l'estructura del sistema de captació, s'ha creat una caixa de protecció de plàstic que assegura una fixació tant radial com axial de l'actuador electromagnètic.

Aquesta caixa s'uneix a l'estructura de recolzaments mitjançant quatre cargols de M4x12 i les seves respectives femelles i volanderes. Mentre que dos dels quatre cargols uneixen la caixa a un tub de l'estructura de recolzaments, els altres dos uneixen la caixa a un perfil en L d'acer de 20x20x2 [mm] soldat a l'estructura tal i com es mostra a la *Figura 5.5-1*.

6. Càlculs pel disseny mecànic

6.1. Dimensionament sistema de captació

A fi de trobar les dimensions dels recolzaments i de les barres que s'adaptin millor, s'ha programat un codi *MATLAB* (disponible a l'*Annex F*) per generar el conjunt de disposicions vàlides que respectin tots els requisits.

A la *Figura 6.1-1* es mostra com s'ha encarat el dimensionament i s'hi representen les variables definides al codi. El dimensionament se centra a les barres posteriors, aquestes són les que condicionen més el disseny en termes d'espai. A més, al tractar-se d'un mecanisme simètric, només es representa la meitat d'aquest.

La línia de color vermell i de color lila de la *Figura 6.1-1* representen les barres telescòpiques en disposició plegat i desplegat respectivament. L'àrea groga representa l'àrea de mitja porta. La referència vertical d'aquesta figura és el terra.

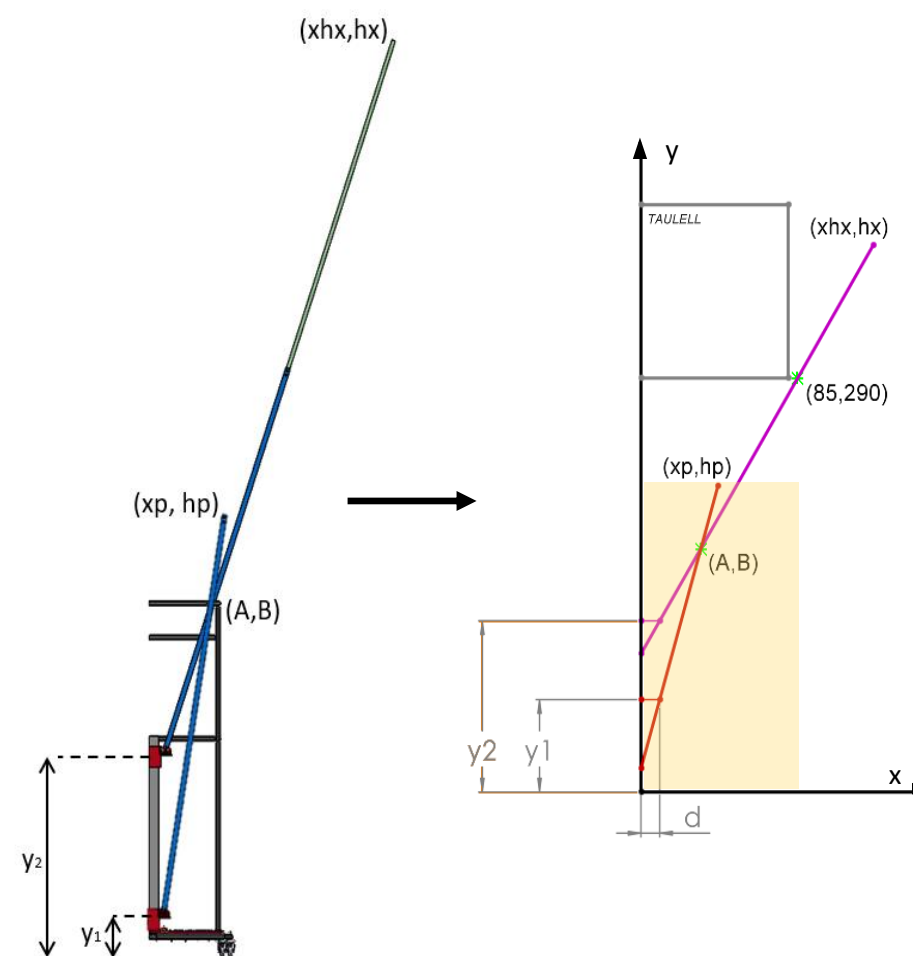


Figura 6.1-1. Esquema dimensionament de la recollidora.

(A, B) : Punt de recolzament de les barres.

(xp, hp) : Coordenada de l'extrem de les barres en disposició plega.

(xhx, hx) : Coordenada de l'extrem de les barres en disposició desplegat.

$y1$: Alçada de la corredora en disposició plegat.

$y2$: Alçada de la corredora en disposició desplegat.

$despY$: Recorregut de la corredora.

Lpx : Llargada màxima de les barres en disposició plegat.

Lx : Llargada màxima de les barres en disposició desplegat.

d : Distància del punt d'unió de les barres telescòpiques a la corredera al pla de simetria.

Per determinar el conjunt de disposicions vàlides, les que garanteixen el compliment de les especificacions i funcions, s'han utilitzat els següents filtres per la generació d'alternatives:

1. El punt (A, B) ha d'estar dins de l'àrea groga.
2. La coordenada B del punt de recolzament ha de ser suficientment gran per deixar passar una pilota de bàsquet.
3. Les barres en disposició plegat han d'estar dins de l'àrea groga.
4. Minimitzar el paràmetre $despY$.
5. El paràmetre hp , ha de situar-se a una alçada raonable per tal que els usuaris puguin arribar-hi fàcilment per poder desplegar les barres telescòpiques.
6. Les barres anteriors desplegades han de passar pel punt $p = (85, 290)$ [cm]. La definició d'aquest punt permet controlar la inclinació de les barres de tal manera que el taulell de la cistella quedi a l'interior de l'àrea creada per aquestes barres. Veure *Figura 6.1-1*.
7. $Lx = 1.75 \cdot Lpx$. La barra de perfil més petit del conjunt de barres telescòpiques no pot superar la longitud de la barra de perfil major. A més, un cop desplegades, una part d'ella s'ha de quedar a l'interior de l'altre per a seguir acoblades i així aguantar els esforços.

Finalment, aquest codi proporciona un llistat d'alternatives de disposicions de les barres telescòpiques posteriors i de recolzament que es considera com a vàlides. Posteriorment, només caldrà doncs seleccionar aquella opció que millor convingui (aquella que s'adapti millor al disseny mecànic).

Pel que fa a les barres posteriors, no s'ha fet un estudi dels paràmetres de disseny tant acurat ja que al estar al pla que forma 55[°] respecte el pla imaginari del taulell de la cistella, no condicionen tan el disseny com les descrites anteriorment.

La *Taula 6.1-1* mostra una taula simplificada dels resultats que s'obtenen mitjançant el codi descrit anteriorment. En groc, es marca l'opció escollida. Gràcies a aquesta taula, només s'ha d'introduir les dimensions que s'hi especifiquen al *SolidWorks*.

A	B	y1	y2	despY	Lpx	xp	hp	Lx	hx	xhx
25,8	130	22	79,1	57,1	159,1	34,3	178,7	278,4	340,1	103,6
26	132	22	80,9	58,9	159,9	34,3	179,5	279,8	342,9	104,8
25,8	132	22	81,7	59,7	161,9	34,3	181,6	283,4	347,1	106,4
26,5	134	22	81,7	59,7	158,7	34,3	178,3	277,7	341,7	104,4
26,3	134	22	82,6	60,6	160,7	34,3	180,3	281,1	345,7	106
26	134	22	83,5	61,5	162,7	34,3	182,4	284,7	349,8	107,6
25,8	134	22	84,4	62,4	164,8	34,3	184,5	288,4	354	109,3
27	136	22	82,6	60,6	157,5	34,3	177,1	275,6	340,6	104,1
26,8	136	22	83,5	61,5	159,4	34,3	179,1	279	344,5	105,6
26,5	136	22	84,4	62,4	161,4	34,3	181,1	282,5	348,5	107,2
26,3	136	22	85,3	63,3	163,4	34,3	183,1	286	352,5	108,8

Taula 6.1-1. Resultats dimensionament del sistema de captació.

6.2. Anàlisi de l'angle de llançament

L'angle de llançament de la pilota té un paper molt important a la passada. L'objectiu d'aquest estudi és aconseguir que la passada sigui adaptable a la posició del jugador, tant en alçada com en distància a la màquina. És a dir, l'objectiu és trobar si existeix un angle de sortida de la pilota tal que a la posició de recepció aquesta arribi en condicions semblants a les d'una passada real de bàsquet. La trajectòria que descriu la pilota des de que surt propulsada de la màquina fins que arriba a l'usuari és la que es pot observar en la següent figura:

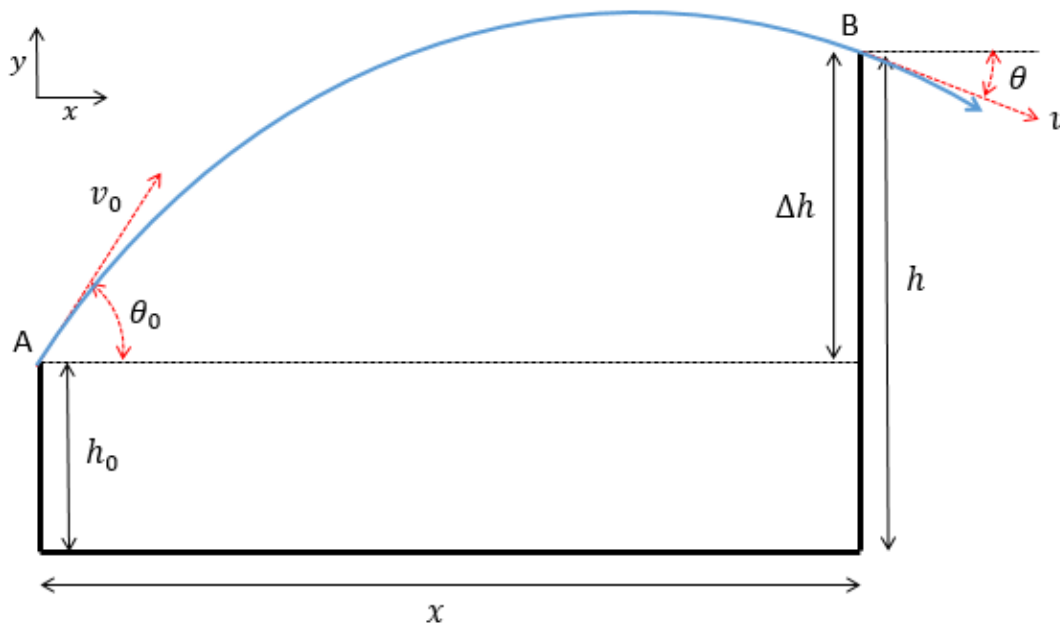


Figura 6.2-1. Esquemàtic de la trajectòria de passada

Òbviament, es tracta d'un tir parabòlic, els paràmetres del qual són:

Punt A $(0, h_0)$: Punt de sortida de la pilota.

Punt B (x, h) : Punt de recepció de la pilota.

Δh : Increment d'alçada.

θ_0 : Angle de sortida de la pilota .

θ : Angle de recepció de la pilota.

v_0 : Velocitat de sortida de la pilota.

v : Velocitat de recepció de la pilota.

Per trobar l'angle òptim de sortida (θ_0), el primer que s'ha de tenir en compte és quina és la velocitat d'arribada (v) l'angle d'arribada (θ) desitjats pels jugadors de bàsquet.

Fent una recerca, no s'ha trobat cap estudi que on s'analitzi la passada de basquet. Ara bé, els jugadors professionals afirmen que com més plana arribi la pilota, més fàcil i semblant a una situació de joc és la recepció, és a dir, un angle d'arribada proper a zero. Per aquest motiu, s'ha definit l'interval $\theta \in (-15, 15)$ [°] com l'interval ideal d'angles de recepció de la pilota.

Pel que fa a la velocitat, s'ha tingut en compte l'especificació *ESP05*, la qual enuncia que $v \in (8, 15)$ [m/s].

Tenint en compte això, i a partir de les equacions que descriuen el tir parabòlic, s'ha fet un estudi amb *MATLAB* (el qual es pot trobar a l'*Annex E*).

En el codi de *MatLab* es defineix un mallat de posicions tals que l'usuari pot rebre la pilota i un vector d'angles de sortida de la pilota. El mallat que es defineix es té en compte les localitzacions de tir més freqüentades per un jugador de bàsquet dins del rang establert al capítol de *3.ESPECIFICACIONS*. El mallat de posicions de recepció de la pilota que s'ha definit és el següent:

$$x \in (3.5, 9) \text{ [m]}$$

$$y \in (1.4, 1.9) \text{ [m]}$$

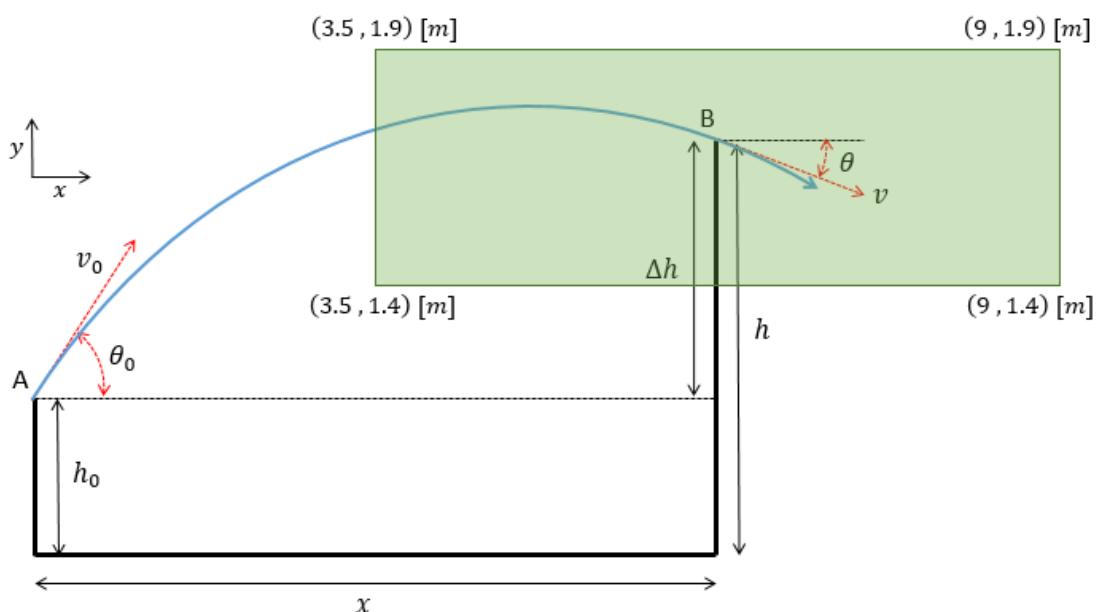


Figura 6.2-2. Vista en perfil de l'àrea de recepció estudiada.

A partir d'aquí, el codi realitza una escombrada per tots els angles donats i per cada possible posició de recepció calculant per a cada combinació la velocitat de sortida de la pilota i l'angle i velocitat d'arribada de la pilota.

A la vegada, el codi *MATLAB* representa per cada combinació les trajectòries dels llançaments per arribar a les posicions determinades del mallat. A la següent figura es mostra un exemple simplificat per facilitar el seu enteniment.

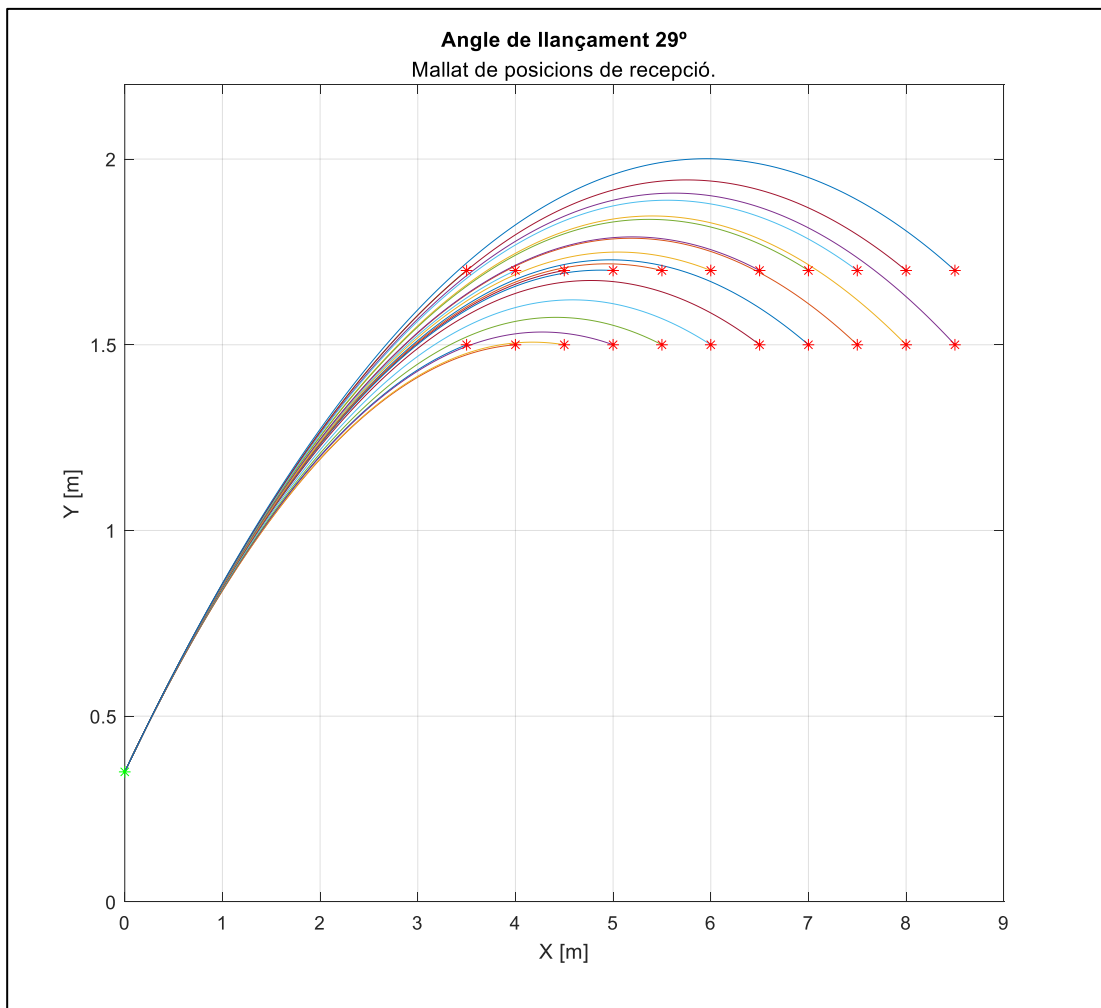


Figura 6.2-3. Gràfic de les trajectòries dels diferents llançaments per al malla determinat.

A partir dels resultats obtinguts, el codi genera una taula per cada angle de sortida de la pilota en un fitxer *Excel* amb un format condicional ressaltant en verd aquelles cel·les tal que el valor, ja sigui l'angle o la velocitat, es troba comprès dins dels rangs preestablerts com a vàlids.

Finalment s'escull aquella taula que contingui més cel·les verdes i, per tant, un angle de llançament. La conclusió de l'estudi és que existeix un angle tal que la pilota arriba en condicions a les possibles posicions de recepció de la pilota.

L'angle de sortida òptim és $\theta = 29^\circ$.

A continuació, la *Taula 6.2-1* ensenya una versió simplificada de la taula de resultats descrita anteriorment ja que realment el mallat de posicions es molt més fi i per tant la taula és de grans dimensions. La *Taula 6.2-1* mostra les dades per a l'angle escollit.

$\theta_0 = 29^\circ$	x [m]											
	4		5		6		7		8		9	
y [m]	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$	$\theta [^\circ]$	$v [\frac{m}{s}]$
1,9	15,9	12,2	6,1	10,5	-0,3	10,3	-4,8	10,4	-8,2	10,7	-10,9	11,1
1,8	12,9	11,1	3,8	10,0	-2,2	10,0	-6,4	10,2	-9,7	10,6	-12,2	11,0
1,7	9,9	10,3	1,5	9,6	-4,1	9,7	-8,1	10,0	-11,1	10,4	-13,5	10,9
1,6	7,0	9,6	-0,8	9,3	-6,0	9,5	-9,8	9,9	-12,6	10,3	-14,9	10,8
1,5	4,1	9,0	-3,1	9,0	-7,9	9,3	-11,5	9,7	-14,1	10,2	-16,3	10,7
1,4	1,2	8,6	-5,4	8,7	-9,9	9,1	-13,2	9,6	-15,7	10,1	-17,7	10,6

Taula 6.2-1. Paràmetres d'arribada de la pilota a l'angle òptim.

6.3. Dimensionament dels discs i els motors

Una vegada s'ha escollit l'angle òptim de llançament, es poden realitzar els càlculs necessaris per a poder dimensionar i dissenyar el sistema format pels motors i els discs. Com s'ha comentat al capítol 4. DISSENY CONCEPTUAL s'ha decidit utilitzar el sistema de discs com a mecanisme de propulsió de la pilota.

A la següent figura es posa de manifest la situació del llançament de la pilota. Els dos discs giren a la mateixa velocitat angular (w), ja que la pilota, a priori, no es llança amb efecte.

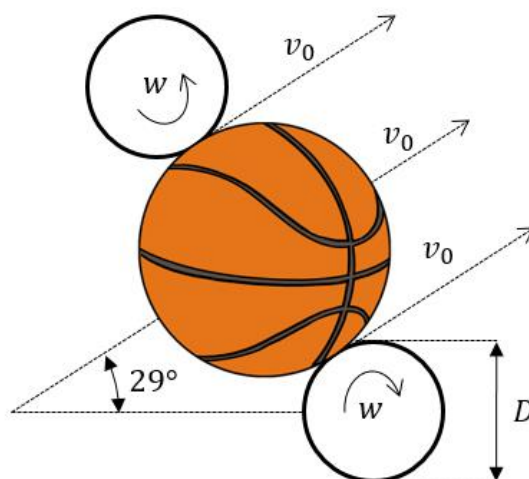


Figura 6.3-1. Disposició dels discs i la pilota en el moment de llançament.

Els discs són d'acer de densitat de $7850 \frac{Kg}{m^3}$. Els paràmetres dels quals són:

Paràmetre	Descripció	Valor	Unitats
R_{ext}	Radi exterior	0.06	[m]
R_{int}	Radi interior	0.05	[m]
R_{eix}	Radi de l'eix	0.006	[m]
e_{int}	Espessor interior	0.03	[m]
e_{ext}	Espessor exterior	0.06	[m]
m_{int}	Massa cilindre interior del disc	1.82	[kg]
m_{ext}	Massa cilindre exterior del disc	1.63	[kg]
m_{disc}	Massa total del disc	3.45	[kg]
I_{disc}	Inèrcia d'un disc	7275.9	[kg·mm ²]

Taula 6.3-1 Paràmetres dels discs escollits

Puntualitzar que la inèrcia del motor (I_{disc}) es calcula de la següent manera:

$$I_{disc} = \frac{1}{2} m_{ext} (R_{ext}^2 + R_{int}^2) + \frac{1}{2} m_{int} (R_{eix}^2 + R_{int}^2)$$

A la figura següent es pot veure el desglossament dels paràmetres en imatges.

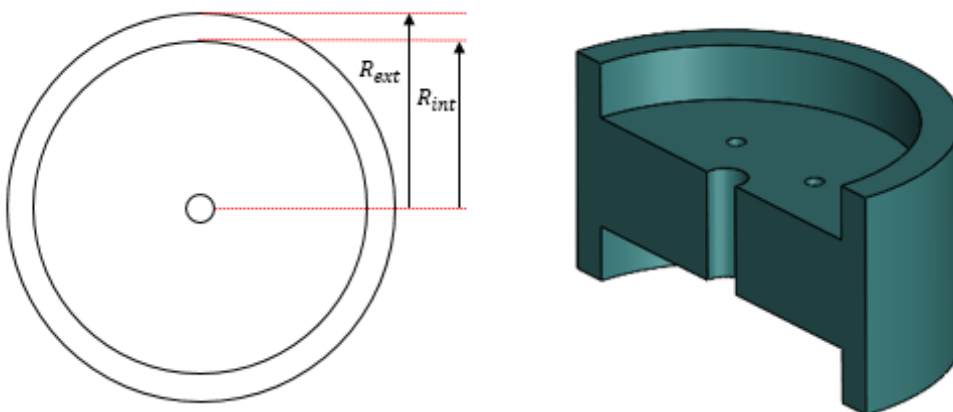


Figura 6.3-2. Vista isomètrica en secció del disc.

Per trobar les característiques que han de tenir els motors, s'ha fet un estudi cinemàtic dels discs en el moment en què la pilota és impulsada.

Tenint en compte els següents factors i hipòtesis:

Paràmetre	Descripció	Valor
v_{0min}	Velocitat mínima de sortida	$8 \frac{m}{s}$
v_{0max}	Velocitat màxima de sortida	$15 \frac{m}{s}$
$\eta_{sistema}$	Rendiment de transferència d'energia	90 %
m_{pilota}	Massa de la pilota	0.6 kg
$t_{arrencada}$	Temps arrencada	15 s
t_{min}	Temps mínim entre tirs	2 s

Taula 6.3-2 Factors a tenir en compte per al dimensionament dels discs i motors.

- Hipòtesi 1: la inèrcia del motor no es té en compte ja que té un valor molt inferior a la inèrcia del disc (I_{disc}).
- Hipòtesi 2: s'ha definit un rendiment en el moment del llançament, on els discs transfereixen part de la seva energia a la pilota ja que no és una situació ideal i no tota l'energia de rotació que perden els discs, la obtindrà la pilota.

Fent el balanç energètic en el moment del llançament en resulten les següents equacions:

$$-\Delta E_{cin.Discs} \cdot \eta_{sistema} = \Delta E_{cin.Pilota}$$

$$2 \frac{1}{2} I_{disc} (w^2 - w_d^2) \cdot \eta_{sistema} = \frac{1}{2} \cdot m_{pilota} (v_0^2 - 0^2)$$

On:

$w \left[\frac{rad}{s} \right]$: Velocitat angular dels discs en el moment de llançament

$w_d \left[\frac{rad}{s} \right]$: Velocitat angular just l'instant després de fer el llançament

$v_0 \left[\frac{m}{s} \right]$: Velocitat de sortida de la pilota

Manipulant l'equació del balanç de l'energia s'obté la següent relació:

$$w_d = w \cdot \sqrt{1 - \frac{m_{pilota} \cdot R_{ext}^2}{2 \cdot \eta_{sistema} \cdot I_{disc}}}$$

Una vegada es té la relació entre w_d i w , s'ha decidit analitzar les dues situacions on el motor pot estar més sol·licitat, és a dir, que es requereixi d'un parell i d'una potència més elevats.

Abans de mostrar l'anàlisi de cada situació, és important definir el següent:

$w_{min} [\frac{rad}{s}]$: Velocitat angular dels discs necessària per llançar la pilota a v_{0min} .

$$w_{min} = \frac{v_{0min}}{R_{ext}} = 133.33 [\frac{rad}{s}] = 1273.24 [rpm]$$

$w_{max} [\frac{rad}{s}]$: Velocitat angular dels discs necessària per llançar la pilota a v_{0max} .

$$w_{max} = \frac{v_{0max}}{R_{ext}} = 250 [\frac{rad}{s}] = 2387.32 [rpm]$$

- **Situació 1.**

Aquesta situació consisteix en arrencar el motor fins a la velocitat angular necessària per llançar la pilota a v_{0max} en un temps determinat ($t_{arrencada}$). És a dir, el motor passa d'estar parat a girar a w_{max} . Per tant es pot calcular el parell i la potència d'arrencada que es necessita com:

- $P_{arrencada} [W]$: Potència arrencada

$$P_{arrencada} = \frac{1}{2} \cdot I_{disc} \cdot \frac{w_{min}^2 - 0^2}{t_{arrencada}} = 15.16 [W]$$

- $\Gamma_{arrencada} [Nm]$: Parell arrencada

$$\Gamma_{arrencada} = I_{disc} \cdot \frac{w_{min}}{t_{arrencada}} = 0.12 [Nm]$$

- **Situació 2.**

En aquesta situació, la idea és llançar la pilota a v_{0min} i posteriorment aconseguir girar a la velocitat angular necessària per tal que pilota surti a v_{0max} en un temps de 2 segons (t_{min}). És a dir, el motor està girant a w_{min} fins que es realitza el llançament i passa a girar a w_d . Posteriorment, el motor en 2 segons ha de ser capaç d'augmentar la seva velocitat angular fins a w_{max} i així poder realitzar el llançament a v_{0max} . Els valors obtinguts són els següents:

$$- \quad w_d = 121.84 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 1163.52 [\text{rpm}]$$

$$- \quad P_{w_d \rightarrow w_{max}} [W] : \text{Potència necessària per passar de } w_d \text{ a } w_{max}$$

$$P_{w_d \rightarrow w_{max}} = \frac{1}{2} \cdot I_{disc} \cdot \frac{w_{max}^2 - w_d^2}{t_{min}} = \mathbf{86.68 [W]}$$

$$- \quad \Gamma_{w_d \rightarrow w_{max}} [Nm] : \text{Parell arrencada}$$

$$\Gamma_{w_d \rightarrow w_{max}} = I_{disc} \cdot \frac{w_{max} - w_d}{t_{min}} = \mathbf{0.46 [Nm]}$$

Per tant, es pot veure clarament, que és a la Situació 2 on es requereix uns valors més elevats. Per tant són aquest valors de potència i parell actuaran com a restricció en l'elecció del motor.

Comentar que per arribar als resultats presentats en aquest capítol s'han fet diverses iteracions variant les dimensions dels discs en un full de càlcul. És clar que hi ha una relació directa entre el parell que ha de facilitar el motor i la inèrcia del disc. Però, un canvi del valor de la inèrcia del disc passa per:

1. Variar el radi exterior d'aquest. Fer variar aquest paràmetre implica a la vegada una variació de la velocitat angular del motor per realitzar un mateix llançament.
2. Variar l'espessor del disc.
3. Canviar el material del disc.

Per tant, s'ha anat provant diferents combinacions de dimensions i comparant amb les fitxes tècniques dels motors fins a arribar aquella que s'adequa millor per la màquina. També, s'ha tractat d'optimitzar el disseny del disc allunyant al màxim la massa del seu eix de rotació tenint sempre en compte les dimensions de referència de les altres marques.

6.4. Dimensionament dels eixos del sistema de propulsió

Per dimensionar el diàmetre de l'eix dels discs s'ha simplificat el model com es mostra a la *Figura 6.4-1*. Per una banda, s'ha simplificat el problema considerant que l'enllaç de l'eix amb els coixinets

correspon a dos recolzaments. Per altra banda, es considera que l'eix acaba en el punt **A** de la *Figura 6.4-1* degut a que el motor es troba unit al xassís amb un suport feble i a la presència de l'acoblament elàstic precisament muntat per permetre deformacions a l'eix i no causar altes tensions al sistema. La càrrega puntal **Q** correspon a la simplificació de la força resultant exercida per la pilota i el pes del disc, és a dir, tot el dimensionament es realitza sobre l'eix del disc inferior ja que és el que es troba sota sol·licitacions més altes.

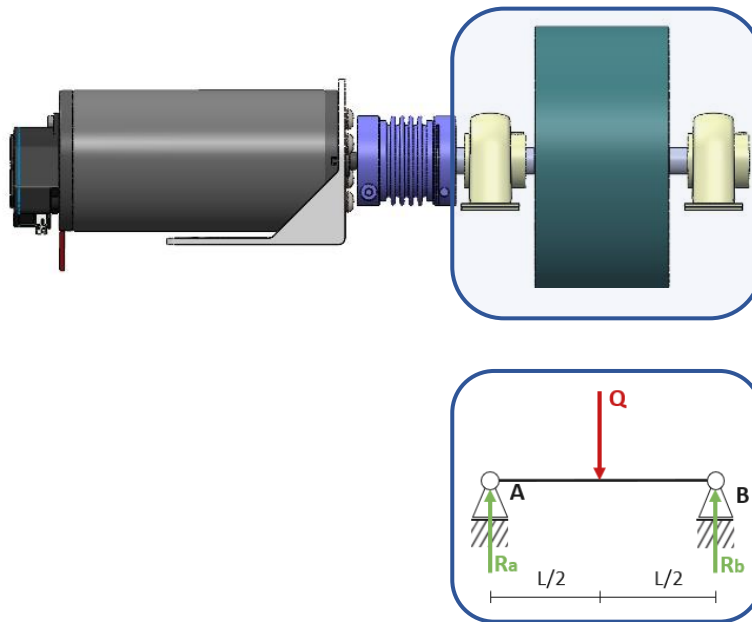


Figura 6.4-1. Esquema de les forces i moments que actuen a l'eix del sistema de propulsió.

Paràmetre	Descripció	Valor	Unitats
L	Longitud d'eix entre els dos coixinets	100	[mm]
Q	Càrrega aplicada a l'eix	A determinar	[N]

Taula 6.4-1. Dimensions dels paràmetres.

- **Càlcul de la càrrega Q**

Per aquest càlcul es presenten dues situacions.

1. Situació 1 (Q_1): quan la càrrega aplicada correspon únicament al pes del disc.
2. Situació 2 (Q_2): quan, a més del pes del disc, hi actua la força que exerceix la pilota al ser comprimida.

El paràmetre (F_p) és de difícil aproximació, ja que depèn de molts factors relacionats amb les pilotes de bàsquet, per exemple, la pressió d'inflada de la pilota o, fins i tot, la gama de la pilota. Per tant, per fer un primer tempteig d'aquest valor realitzant una sèrie d'experiments consistents en situar pilotes de diferents games sobre una balança i prendre nombroses mesures quan s'exerceix pressió sobre elles. A continuació es mostra el valor mitjà de tots els valors obtinguts.

$$P_{Disc} = m_d \cdot 9.81 = 3.45 \cdot 9.81 = 33.8445 [N]$$

$$F_p = 286.452 [N]$$

$$Q_1 = 33.9 [N]$$

$$Q_2 = P_{Disc} + F_p = 33.9 + 286,452 = 320.29 [N]$$

- **Càlcul del diàmetre mínim de l'eix**

Per aquest càlcul s'ha de considerar el cas de sol·licitació més exigent, per tant, la Situació 2.

Partint del diagrama de la *Figura 6.4-2* es planteja l'equilibri de forces verticals i, al tractar-se d'un problema simètric, es pot afirmar que les dues reaccions seran d'igual magnitud.

$$R_a = R_b = R$$

$$Q = R_a + R_b = 2R$$

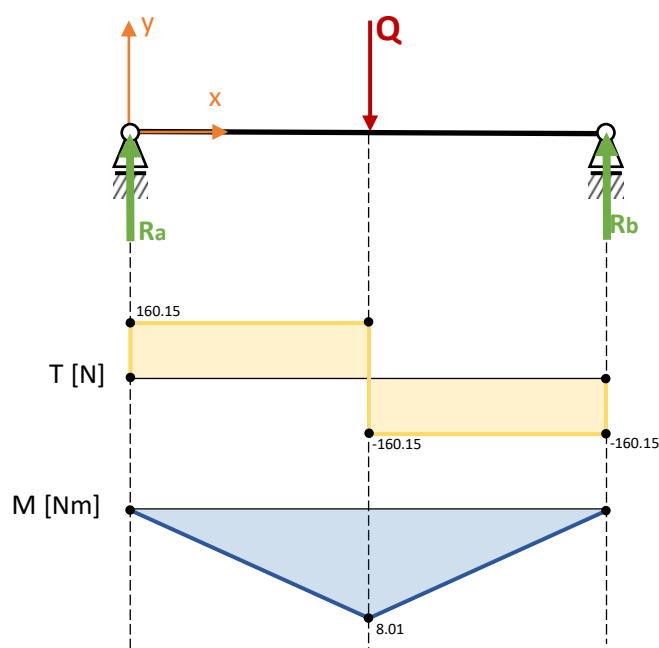


Figura 6.4-2. Diagrama d'esforços als quals està sotmès l'eix.

De les equacions anteriors resulta:

$$R_1 = \frac{Q_1}{2} = \frac{33.8445}{2} = 16.922 \text{ [N]}$$

$$R_2 = \frac{Q_2}{2} = \frac{320.29}{2} = 160.15 \text{ [N]}$$

Amb el valor de les reaccions es pot procedir a trobar la secció crítica de l'eix. Se sap que és el moment flector qui té un efecte més important sobre les peces prismàtiques en esforç de flexió. Per tant, la secció crítica és aquella on M_z és màxim. Fàcil de conèixer ja que es troba allà on l'esforç tallant és nul. En el cas que s'està estudiant, just a la meitat de l'eix.

Pel càlcul següent, s'ha de considerar la Situació 2 ja que és la que té una sol·licitació més exigent.

$$|M_{2,x}| = \left| R_2 \frac{L}{2} \right| = 160.15 \cdot 0.05 = 8.01 \text{ [Nm]}$$

El punt crític de la secció crítica en aquesta situació és el punt més allunyat de l'eix de rotació de la secció. Així doncs, es calcula la tensió equivalent de Von Mises en aquest punt ja que s'està estudiant un eix d'acer, un material dúctil. Concretament, s'ha agafat l'acer AISI 1045, un acer comunament utilitzat en eixos per ser fàcil de mecanitzar i resistent.

$$\sigma_{eqVM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot 0^2} = \sigma_x$$

$$\sigma_{el} = 310 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{2x} = \frac{|M_{2,x}|}{W_z} = \frac{|M_{2,x}|}{\frac{\pi D_n^3}{32}} < \frac{\sigma_{el}}{n}$$

Manipulant l'equació anterior es pot calcular el diàmetre de l'eix mínim. Matisar que s'ha fixat un coeficient de seguretat molt conservador al tractar-se d'un component que treballa a fatiga.

$$n = 4$$

$$D_n > \sqrt[3]{\frac{32 \cdot |M_{2,x}| \cdot n}{\pi \cdot \sigma_{el}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 8.01 \cdot 2}{\pi \cdot 310}} = 10.173 \text{ [mm]}$$

Finalment, es pren $D = 12$ [mm]. La raó per la qual s'ha escollit aquest diàmetre és també per poder escollir un coixinet amb suport de peu del distribuïdor SKF (justificació al capítol 6.5 Dimensionament dels coixinets).

Al tractar-se d'un eix que treballa amb càrrega variable, s'ha fet recerca de la corba de fatiga (corba S-N) de l'acer AISI 1045. D'aquesta manera, es pot fer una primera comprovació si l'eix pot arribar a fallar prematurament degut als efectes de fatiga.

Prenent un diàmetre d'eix de $D = 12$ [mm], es calcula l'amplitud de les oscil·lacions de tensions als punts crítics de la secció crítica.

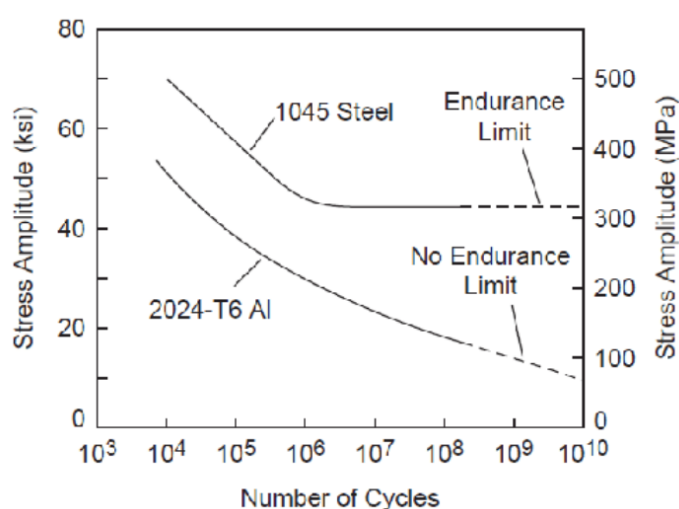


Figura 6.4-3. Corba de fatiga.

(Font: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-steel-and-aluminum-fatigue-behavior_fig1_322220529)

Per la situació 1,

$$M_{1,x} = R_1 \cdot \frac{L}{2} = 16.922 \cdot 0.05 = 0.846 \text{ [Nm]}$$

$$\sigma_{1x} = \frac{|M_{1,x}|}{W_z} = \frac{|M_{1,x}|}{\frac{\pi D^3}{32}} = \frac{0.846}{\frac{\pi \cdot 0.012^3}{32}} = 4.9875 \text{ [MPa]}$$

Per la situació 2,

$$\sigma_{2x} = \frac{|M_{2,x}|}{W_z} = \frac{|M_{2,x}|}{\frac{\pi D^3}{32}} = \frac{8.01}{\frac{\pi \cdot 0.012^3}{32}} = 47.22 \text{ [MPa]}$$

Calculant l'amplitud de les oscil·lacions,

$$S = \frac{\sigma_{1x} - \sigma_{2x}}{2} = \frac{47.22 - 4.9875}{2} = \mathbf{21.12 [MPa]} < \mathbf{300 [MPa]}$$

Per tant, es valida el diàmetre escollit anteriorment ja que en el règim de funcionament descrit, es té una amplitud d'oscil·lació petita tal que es troba en tot moment sota de la corba de fallada per fatiga. Observar que es fa palès el fet d'haver escollit un coeficient de seguretat molt alt i, a més, el fet d'haver escollit un diàmetre encara més gran que el diàmetre mínim calculat.

Atenció, els càlculs d'aquest capítol s'haurien de verificar realitzant-los d'una manera més precisa.

6.5. Dimensionament dels coixinets

Utilitzant els càlculs de l'apartat anterior, es calculen els paràmetres dels coixinets que suporten l'eix dels discs de la llançadora. Cal mencionar que es vol utilitzar únicament un model de coixinet, per aquest motiu, s'estudia el coixinet que es troba en les condicions més exigents de treball, el coixinet situat al punt B de l'eix inferior de la llançadora (veure *Figura 6.4-1*).

Els rodaments han de ser prou forts per oferir un correcte funcionament durant la seva vida útil esperada sota les condicions definides. La vida útil del coixinet depèn de molts factors, concretament, a la majoria d'aplicacions, queda limitada per la fatiga per contacte de rodolament entre els elements que rodolen per l'interior del coixinet i pels camins de rodolament. Un altre factor important és la deformació permanent dels elements del coixinet.

Per aquelles aplicacions tals que el coixinet treballa sota les condicions típiques de funcionament, és a dir, revolucions per minut nominals i sense càrregues puntuals elevades atípiques, és convenient dimensionar els coixinets en funció de la vida útil requerida.

Per tant, s'entén com a vida nominal d'un coixinet com el número de revolucions que un coixinet funciona correctament abans que apareguin els primers signes de fatiga del metall.

Es defineix vida nominal L_{10} d'un coixinet, paràmetre definit per la normativa *ISO 281*, com la vida a fatiga superada pel 90% d'un conjunt de coixinets idèntics sotmesos a les mateixes condicions. Si es fa la simplificació, per facilitar el càlcul i selecció del coixinet, que aquest treballa a revolucions constants, es pot calcular el paràmetre L_{10h} .

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} = \frac{10^6}{6n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

L_{10} : Vida nominal bàsica [*Mrpm*].

L_{10h} : Vida nominal a velocitat constant [*h*].

C : Capacitat de càrrega dinàmica bàsica [*N*].

P : Càrrega dinàmica equivalent del coixinet [*N*].

p : = 3 per a coixinets de boles.

= $\frac{10}{3}$ per a coixinets de corrons.

n : Revolucions per minut mitjà en règim de funcionament [*rpm*].

El següent pas és realitzar el càlcul dels paràmetres de les equacions anteriors. Primerament es calcula el paràmetre P . Les càrregues que actuen sobre un coixinet poden actuar en direcció radial i axial i, a més, poden ser no constants. Aquest factor es quantifica amb el paràmetre de càrrega dinàmica equivalent P .

$$P = XF_r + YF_a \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

F_r : Càrrega radial real del coixinet [*N*].

F_a : Càrrega axial real del coixinet [*N*].

X : Factor de càrrega radial del rodament

Y : Factor de càrrega axial del rodament

e : Paràmetre de selecció

Els paràmetres X i Y , depenen del tipus de coixinet, del tipus d'ajust quan aquest estigui muntat i del quocient entre F_a i F_r . A més, pels coixinets radials d'una sola filera, es compleix la inigualtat mostrada anteriorment. A l'aplicació que s'està tractant, la força axial es considera nul·la i, per tant, sigui quin sigui el valor d' e (sempre més gran que zero) aquesta inigualtat es compleix.

Tenint en compte que la força radial no és constant, per les aplicacions tals que la càrrega varia constantment entre un valor mínim $F_{r\ min}$ i un valor màxim $F_{r\ max}$ la càrrega mitja es pot calcular de la següent manera.

$$F_{rm} = \frac{F_{r \min} + 2F_{r \max}}{3}$$

F_{rm} : Càrrega equivalent [N].

$F_{r \min}$: Càrrega sense comprimir la pilota [N].

$F_{r \max}$: Càrrega en situació de compressió de la pilota [N].

Les reaccions calculades al capítol 6.4 Dimensionament dels eixos del sistema de propulsió corresponen a les càrregues radials aplicades als coixinets. Així doncs, el paràmetre $F_{r \min}$ correspon a la reacció a la situació 1 i el paràmetre $F_{r \max}$ correspon a la situació 2.

$$F_{r \min} = R_1 = 16.922 \text{ [N]}$$

$$F_{r \max} = R_2 = 160.15 \text{ [N]}$$

$$F_{rm} = \frac{F_{r \min} + 2F_{r \max}}{3} = \frac{16.922 + 2 \cdot 160.15}{3} = 112.41 \text{ [N]}$$

Per tant, es conclou que la càrrega dinàmica equivalent a la que està sotmès el coixinet és:

$$P = F_{rm} = 112.41 \text{ [N]}$$

Basant-se amb els càlculs del capítol 6.3. Dimensionament dels discs i els motors, se suposa que la velocitat angular mitjana a la que es faran treballar els coixinets és:

$$n = 2390 \text{ [rpm]}$$

Havent fet aquests càlculs, s'escull el coixinet *P12TF*, conjunt de suport i coixinet de boles d'una sola filera. El coixinet té les característiques següents:

YAR 203/12-2F

Capacitat de carga dinàmica bàsica (C) [kN]	9.56
Capacitat de carga estàtica bàsica (C ₀) [kN]	4.75
Diàmetre de l'eix [mm]	12

Així doncs, es pot calcular el paràmetre L_{10h} que, com s'ha explicat anteriorment, dona una idea de la vida útil del coixinet.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p = \frac{10^6}{60 \cdot 2390} \cdot \left(\frac{9.56 \cdot 10^3}{112.41}\right)^3 = 4289529 \text{ [h]}$$

En aquest projecte, des d'un inici s'ha volgut prioritzar components de ràpid i fàcil assemblatge per qüestions de temps. El fet de prioritzar aquest aspecte tot escollint un suport de peu per subjectar els coixinets limita de manera important la fase de dimensionament. És a dir, tot i que el conjunt seleccionat anteriorment és el més senzill disponible al catàleg de *SKF*, és el conjunt de suport i coixinet amb diàmetre d'eix més petit i capacitat de càrrega dinàmica més baixa, les hores de vida nominal resulten sobredimensionades. És per aquest motiu que aquest resultat es dona com a vàlid per a un primer prototip, tot i així, per a següents millores de la màquina seria recomanable pensar en una altra solució que s'adapti millor a les sol·licitacions.

6.6. Accionament de la rotació de la llançadora

A mode de recordatori, la llançadora ha de dotar d'un mecanisme d'accionament de la rotació vertical a fi d'orientar-la a les posicions determinades a l'usuari.

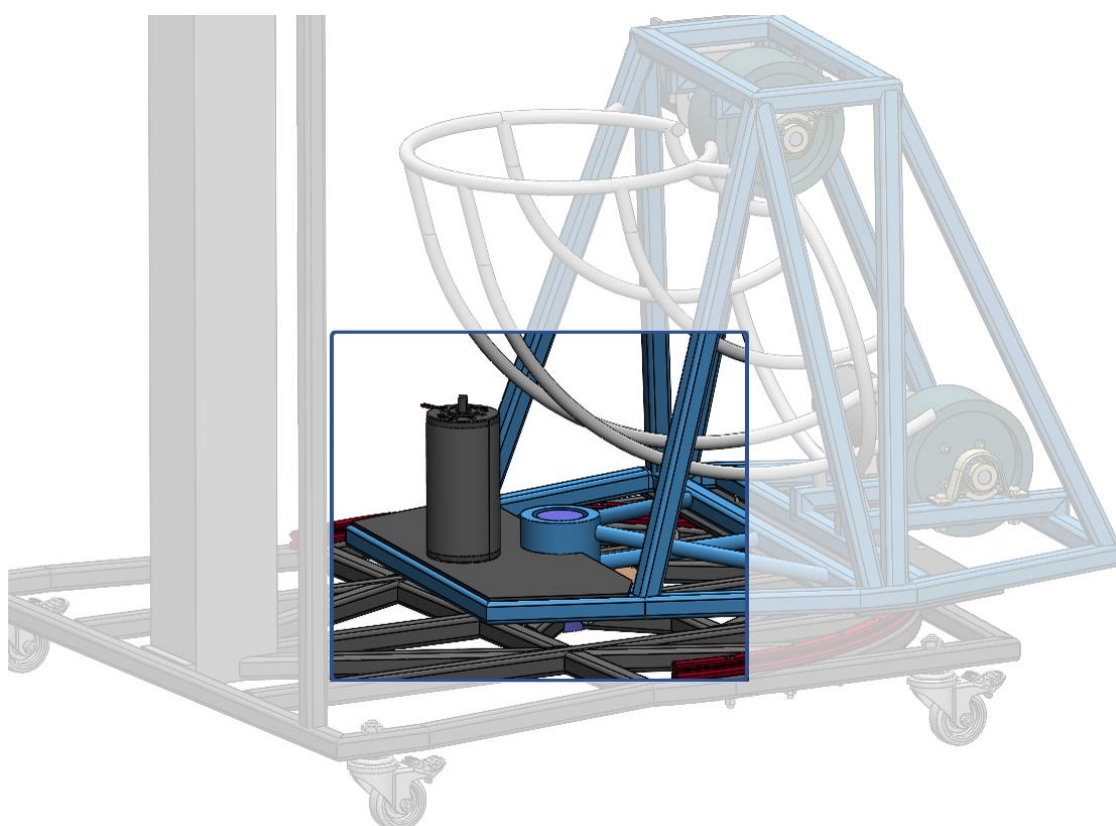


Figura 6.6-1. Ubicació del sistema de rotació de la llançadora.

Des d'un principi, aquest es vol accionar amb el mateix motor que s'ha utilitzat pels discs per així aconseguir una màquina amb el mínim de components diferents. És possible que els motors

utilitzats pel mecanisme de llançament no ofereixin un parell tan elevat com per fer rotar la llançadora amb les condicions de moviment desitjades. És per aquest motiu que s'ha de dissenyar un sistema de transmissió reductor.

Aquest dimensionament es pot fer únicament un cop realitzat el disseny definitiu de la llançadora, ja que és necessari conèixer la geometria, la distància entre l'eix de gir i l'eix vertical que passa pel centre de gravetat de la llançadora ni tampoc la massa ni els moments d'inèrcia del conjunt. És a dir, el dimensionament de la transmissió s'ha realitzat al transcurs de les últimes etapes del disseny mecànic.

La llançadora ha de canviar d'orientació en un interval definit de temps entre passada i passada. Un cicle de funcionament general del motor que acciona la rotació vertical del conjunt llançadora consisteix en les etapes següents.

1. El motor comença en repòs just a l'instant després d'haver realitzat una passada.
2. El motor aplica un parell per accelerar angularment el conjunt per així orientar-lo a la següent posició de tir.
3. A la meitat del recorregut angular a realitzar, el motor ha de frenar la llançadora per parar a l'orientació desitjada.
4. El motor es troba altre cop en repòs.

Per fer el dimensionament, s'ha tingut en compte la situació de funcionament més exigent pel motor que es dona quan el conjunt ha de rotar 180° en l'interval de temps de tres segons especificat al capítol de ESPECIFICACIONS.

Es calcula doncs l'acceleració angular necessària per realitzar el moviment descrit.

$$\frac{\theta_f}{2} = \frac{1}{2} \alpha_{ll} \left(\frac{t_c}{2} \right)^2 \rightarrow \alpha_{ll} = \frac{4 \cdot \theta_f}{t_c^2} = \frac{4 \cdot \pi}{3^2} = 1.396 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

α_{ll} : Acceleració angular de la llançadora [rad/s].

θ_f : Desplaçament angular de la llançadora [rad/s].

t_c : Temps necessari per arribar a la nova posició de passada [s].

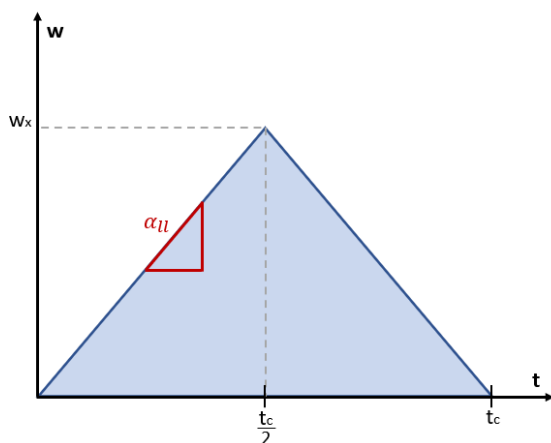


Figura 6.6-2. Perfil de la velocitat angular de la llançadora.

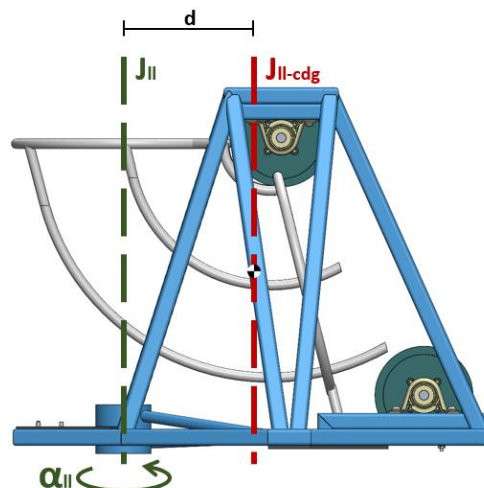


Figura 6.6-3. Esquemàtic rotació de la llançadora sense mecanisme reductor.

La inèrcia de la llançadora respecte l'eix vertical de rotació es pot calcular utilitzant el teorema de Steiner.

$$J_U = J_{U-cdg} + m_U d^2 = 1.396 + 34.211 \cdot 0.207^2 = 2.612 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$$

Així doncs, sense una transmissió, el motor ha de proporcionar un parell calculat com:

$$J_m = 0.000075 \approx 0 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$$

$$T_m = \alpha_U \cdot (J_U + J_m) = 1.396 \cdot (2.612 + 0) = 3.646 \text{ [Nm]} > 3.01 \text{ [Nm]}$$

J_U : Inèrcia rotacional desplaçada a l'eix de rotació vertical de la llançadora [kgm²].

J_{U-cdg} : Inèrcia rotacional a l'eix vertical que passa pel centre de gravetat de la llançadora [kgm²].

J_m : Inèrcia rotacional del motor [kgm²].

T_m : Parell motor [Nm].

d : Distància entre l'eix de rotació de la llançadora i l'eix vertical que passa pel centre de gravetat [m].

m_U : Massa total del conjunt llançadora [kg].

Observar que, òbviament, la inèrcia del motor es pot negligir en comparació a la inèrcia de la llançadora.

Com es pot observar, el parell necessari és més gran que el parell màxim que pot donar el motor (veure parell màxim a l'[Annex H](#)). Es passa doncs a dimensionar la transmissió.

La disposició dels engranatges escollida és la següent.

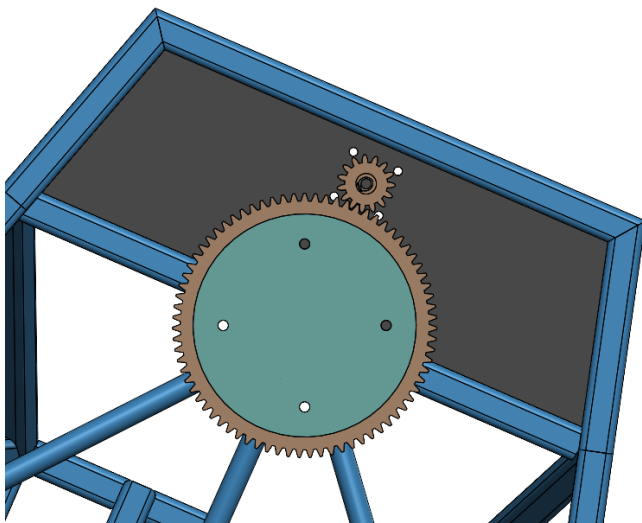


Figura 6.6-5. Part posterior de la llançadora i rodes dentades.

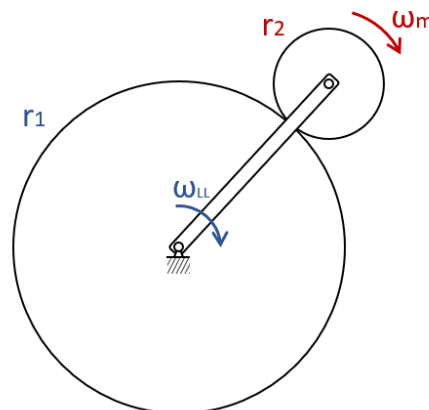


Figura 6.6-4 Esquemàtic del sistema de transmissió reductor

La relació de transmissió d'aquest conjunt és doncs:

$$i = \frac{r_1}{r_2} \quad \omega_m = \omega_{ll} \cdot i \quad T_m = \frac{T_{ll}}{i}$$

Ara, per contra, el càlcul del parell que ha de proporcionar el motor no és tant evident ja que s'ha de tenir en compte les inèrcies afegides pels engranatges. El càlcul es mostra a continuació.

$$T_m = T_{m-ll} + T_{m-G2} = \left(\frac{J_{ll}}{i} + J_2 \cdot i \right) \cdot \alpha_{ll}$$

$$J_2 = J_{G2} + J_m = 3.4856 \cdot 10^{-6} + 0.000075 \approx 0 \text{ [kg m}^2\text{]}$$

T_{m-ll} : Parell motor necessari per accelerar la llançadora [Nm].

T_{m-G2} : Parell motor necessari per accelerar la roda dentada petita i l'eix del motor [Nm].

J_{G2} : Inèrcia rotacional de la roda dentada petita [kg m²]

Si es pren una relació de transmissió de $i = 5$ resulta:

$$T_m = \left(\frac{2.612}{5} + 0 \cdot 5 \right) \cdot 1.396 = \mathbf{0,73 \text{ [Nm]} < 3,01 \text{ [Nm]}}$$

A més, amb aquesta relació de transmissió, el pic velocitat angular del motor no supera el valor nominal del motor.

$$\omega_x = \alpha_{ll} \cdot i \cdot \frac{t_c}{2} = 1.369 \cdot 5 \cdot \frac{3}{2} = 10.47 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \rightarrow n_x = 100 \text{ [rpm]} < 3450 \text{ [rpm]}$$

Per tant, amb aquest muntatge s'assoleix l'objectiu establert. Observar que el parell motor final és una mica més gran que el parell nominal del motor i, a més, la velocitat de funcionament màxima del motor es considerablement més baixa que la nominal del motor. Tot i així, s'ha considerat oportú no augmentar encara més la relació de transmissió per raons de muntatge, concretament les dimensions de les rodes dentades limiten molt el disseny.

A continuació es mostren les característiques de les rodes dentades junt amb les condicions que s'han tingut en compte per dimensionar-les.

	Roda dentada gran	Roda dentada petita
Mòdul	2	2
Número de dents	75	15
Radi [mm]	75	15
Gruix [mm]	10	10
Angle de pressió [°]	20	20

Taula 6.6-1. Característiques de les rodes dentades.

6.7. Selecció del solenoide

Tal i com s'ha explicat al capítol [4.2. Elecció disseny mecànic](#), la dosificació s'implementa amb un solenoide lineal.

El cicle de funcionament d'aquest actuador és senzill. Per impedir el pas de la pilota, la tija del solenoide ha d'interferir el pas de la pilota. En el moment en què s'ha de deixar passar una sola pilota, la tija s'ha d'escurçar i tornar a l'estat inicial en un interval de temps determinat.

Per escollir el solenoide s'ha de tenir en compte el cicle de treball. Aquest, comptabilitza el temps que s'ha de donar tensió al component per tal d'accionar-lo, quan més gran és aquest paràmetre, més temps s'ha d'energitzar el component i, per tant, més s'escalfa al llarg del temps. Així doncs, quan més petit sigui l'interval de temps d'accionament millor.

És per aquesta raó que s'ha escollit un solenoide de tipus *pull* ja que aquests en disposició de repòs tenen la tija desplegada (posició de bloqueig del pas de les pilotes) i quan s'energitzen la força magnètica de la bobina atrau la tija cap a l'interior del component (deixant doncs passar la pilota a llançar). Puntualitzar que quan el component es deixa d'alimentar, el fabricant ja facilita un sistema molla que retorna la tija al seu estat inicial.

Per tenir una idea de la magnitud del cicle de treball s'ha analitzat la següent situació. En un inici les pilotes es troben quietes ja que la tija bloqueja el pas. Quan s'acciona el solenoide, es considera

que les pilotes cauen en caiguda lliure. Finalment, el solenoide es deixa d'accionar i bloqueja el pas de la pilota següent.

S'ha de tenir en compte que transcorre un temps entre que s'acciona el solenoide i retreure la tija completament. De la mateixa manera passa en el cas de deixar-se d'energitzar. És a dir, s'ha de tenir en compte que la relació entre la força de la molla i la força magnètica determina la velocitat en que la tija canvia de posició.

Així doncs, es considera que el temps que s'ha d'energitzar correspon únicament al temps transcorregut entre la Situació 1 i la Situació 2 que es mostra a la *Figura 6.7-1*.

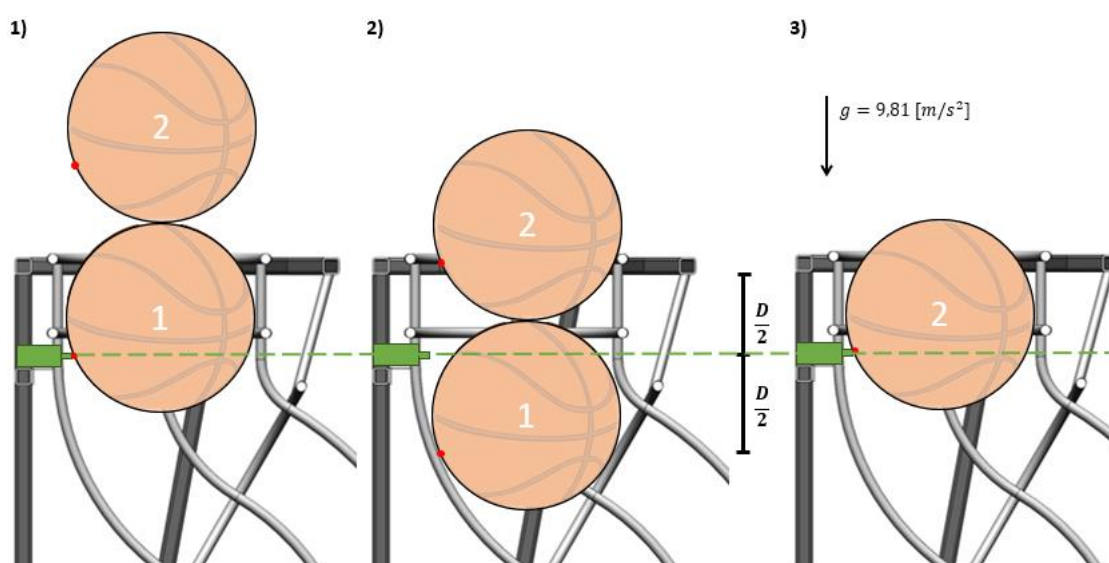


Figura 6.7-1. Representació cicle de funcionament solenoide.

CT : Cicle de treball [%].

t_{on} : Interval de temps en estat energitzat [s].

t_c : Temps d'un sol cicle [s].

D : Diàmetre de la pilota [m].

$$\frac{D}{2} = \frac{1}{2} \cdot 9.81 \cdot t_{on}^2 \rightarrow t_{on} = \sqrt{\frac{D}{9.81}} = 0.111 \text{ [s]}$$

$$CT = \frac{t_{on}}{t_c} \cdot 100 = \frac{0.111}{3} \cdot 100 = 3.7 \%$$

La primera equació correspon a l'equació d'un moviment rectilini uniformement accelerat (gravetat).

Tenint en compte aquest paràmetre s'ha escollit el model 195202-230 de l'empresa *Ledex*, aquest compleix amb tots els requisits mencionats anteriorment.

7. ANÀLISI DE BOLCADA

Tota màquina ha de garantir uns estàndards de seguretat. Entre molts aspectes, s'han de superar un conjunt de mesures per evitar la bolcada de tota màquina per evitar accidents quan aquesta està en ús.

Al tractar-se d'una màquina de grans dimensions i pesada, és important realitzar aquest estudi i extreure conclusions per optimitzar el disseny. En aquest capítol s'estudien tres criteris establerts per la normativa de seguretat per evitar bolcades.

Per poder realitzar l'estudi correctament s'ha fet l'anàlisi quan la màquina es troba frenada i amb el sistema de captació de pilotes desplegat (posició normal de funcionament).

S'ha de tenir en compte que en règim normal de funcionament, aquesta té el grau de llibertat de rotació de la llançadora. Per tant, s'han realitzat tests en diferents disposicions de la llançadora per determinar les disposicions més desfavorables.

Pels càlculs realitzats a continuació s'han realitzat les següents aproximacions:

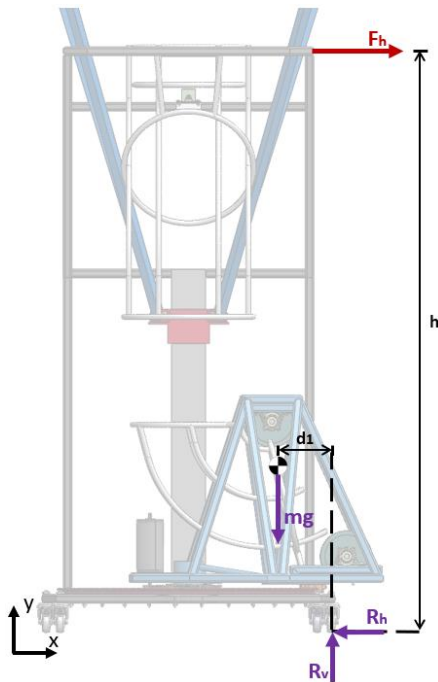
1. Es coneix la massa de la màquina sense la xarxa de la recollidora i sense els equips informàtics com la pantalla i el PLC entre d'altres. Per tant, la massa ha sigut aproximada partint de la base de la dada extreta del *SolidWorks* havent afegit els materials i massa de cada component.

$$m = m_{SW} + m_{extra} = 93,35 + 8 = 101,35 [Kg]$$

2. S'ha simplificat el problema assumint que les rodes afegides per facilitar el transport de la màquina estan completament alineades al pla de la rodeta que es troba més a prop del pla de simetria i frenades. Així doncs, es pot suposar que la màquina es recolza totalment i rota respecte la recta formada entre les dues rodetes.
3. Es realitza un anàlisis estàtic.

Simplificant d'aquesta manera el problema només fa falta doncs plantejar l'equilibri de moments i manipular l'equació per calcular el paràmetre buscat en cada una de les situacions que es presenten. A continuació es presenten únicament les disposicions més desfavorables i que comprometen més el conjunt.

- **Criteri 1.** La màquina no ha de bolcar si s'aplica un força de 250 [N] paral·lela al terra i en el punt més alt de la màquina que pot arribar una persona.



Càlcul:

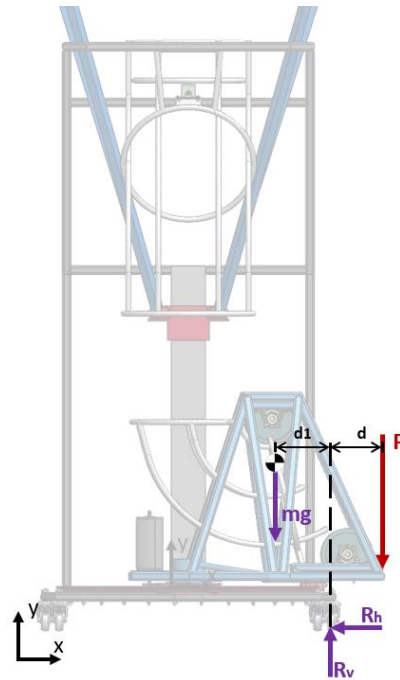
Càlcul de la força horitzontal mínima aplicable al punt més alt de l'estructura de recolzaments abans de causar la bolcada.

$$\sum M_R|_z = 0$$

$$h = 1,36 [m] \quad d_1 = 0,24 [m]$$

$$F_h = \frac{d_1 \cdot m \cdot 9,81}{h} = 175,4 [N] < 250 [N]$$

- **Criteri 2.** La màquina no ha de bolcar si s'aplica una força de 800 [N] en direcció vertical i amb el sentit de la gravetat en qualsevol punt de la màquina.



Càlcul:

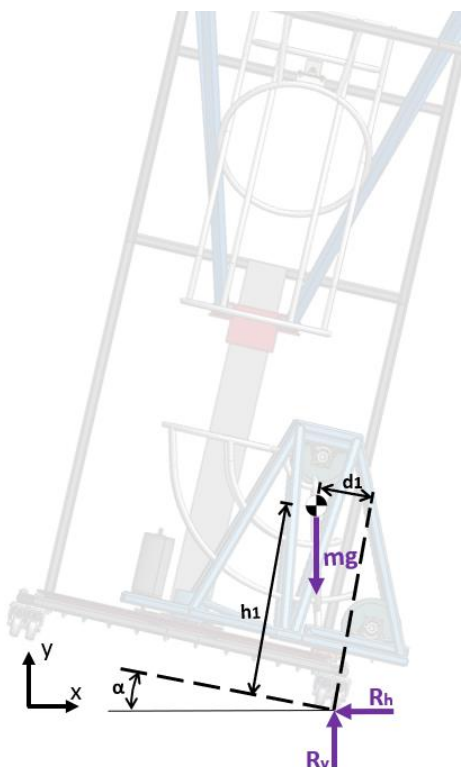
Càlcul de la força mínima vertical aplicable al xassís de la llançadora abans de causar la bolcada.

$$\sum M_R|_z = 0$$

$$d = 0,1198 [m] \quad d_1 = 0,24 [m]$$

$$F_v = \frac{d_1 \cdot m \cdot 9,81}{d} = 1990,4 [N] > 800 [N]$$

- **Criteri 3.** La màquina ha de retornar al seu estat inicial en el cas que el conjunt s'inclina 12 [°] respecte la seva posició habitual.



Càlculs:

$$\sum M_R|_z = 0$$

$$d_1 = 0,24 [m] \quad h_1 = 0,61 [m]$$

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{d_1}{h_1}\right) = 21,4 [^\circ] > 12 [^\circ]$$

Com es pot observar, el prototip no supera el *Criteri 1*. La causa principal d'aquesta fallada és que la llançadora sobresurt dels límits de la base, error que compromet greument tot el disseny. Per tant, per a un proper disseny, s'hauria de reconsiderar el disseny de la llançadora, concretament la ubicació del seu eix de rotació vertical i la seva llargada, per poder superar el *Criteri 1* de l'anàlisi anterior.

Recordar que eixamplar de manera permanent la base de la màquina no és una solució viable ja que no es respectaria la especificació de poder ser transportada a través de portes estàndards.

Per falta de temps, es planteja únicament el disseny conceptual d'una possible solució. Es tracta de la instal·lació d'una barra articulada a la base tal que a l'extrem se li munta un peu. D'aquesta manera s'aconsegueix eixamplar la base quan la màquina està en ús i, per tant, la força necessària aplicada al *Criteri 2* per iniciar la bolcada és més elevada.

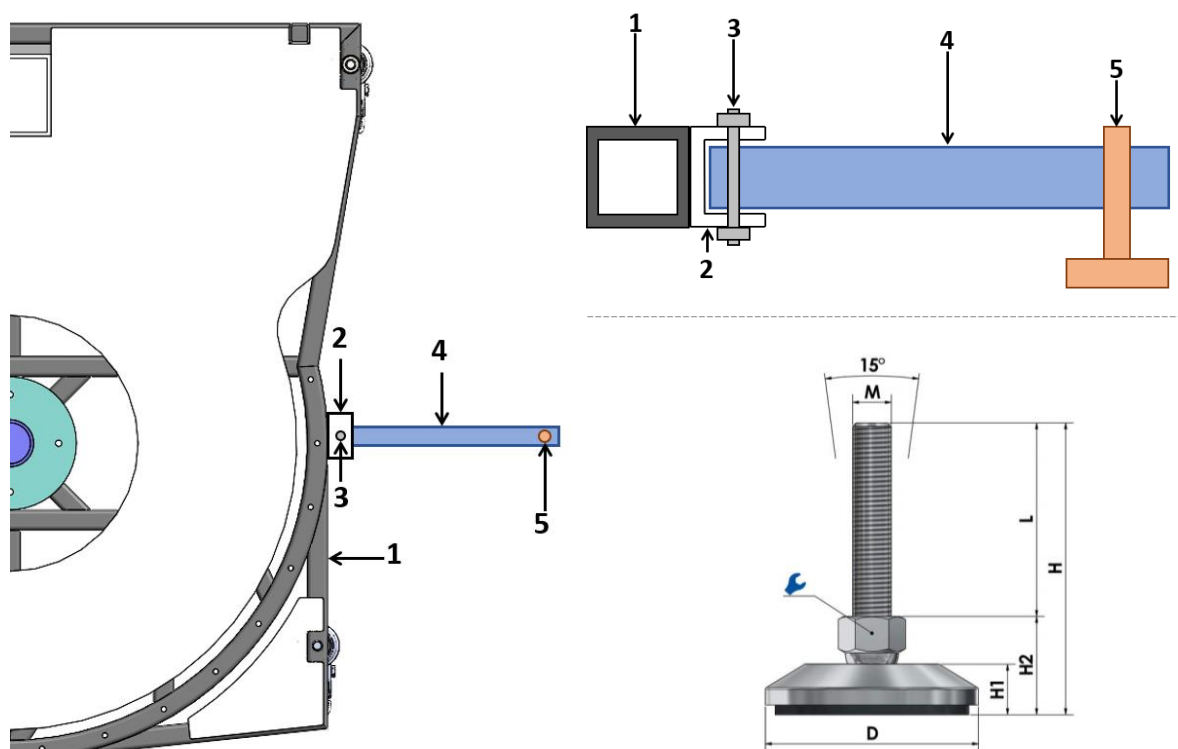
El peu es munta de tal manera que es queda a una distància de pocs centímetres del terra. Això és possible ja que la base ja és capaç de suportar 175.4 [N], aleshores, en el cas que la màquina comenci a bolcar, aquesta es recolza al peu instal·lat a l'extrem del braç. Addicionalment, com es

pot veure a la *Figura 7-2.*, gràcies a la presència d'una articulació esfèrica entre la plataforma i la barra roscada la plataforma inferior del peu es pot recolzar totalment al terra.

Així doncs, l'usuari només ha de desplegar el braç articulat i no ha d'enroscar i desenroscar el peu cada vegada que desitja utilitzar la màquina. A més, el fet que es pugui desenroscar permet retreure el peu en el cas que pertorbi durant el transport de la màquina.

Els elements necessaris per implementar la solució que apareixen a la *Figura 7-1* són:

1. Tub de perfil quadrat de l'estructura de la base.
2. Perfil en C per poder habilitar l'articulació.
3. Passador.
4. Tub d'acer. Per simplificar la solució podria tractar-se de d'un tub amb el mateix perfil que l'utilitzat per tota l'estructura de la base.
5. Peu de màquina.



(Font: <https://www.schwaderer.com>)

Figura 7-1. Disseny conceptual braç d'antibolcada i peu de màquina JCMP 80 S.

8. ENTORN DE CONTROL

Una vegada realitzat el disseny mecànic de la màquina, s'ha procedit a realitzar el disseny conceptual de l'entorn que té com a finalitat controlar la màquina. S'ha decidit des d'un primer instant que és una PLC qui serà el "cervell" de la màquina.

Un PLC (*Programmable Logic Controller*) també conegut com un autòmat programable, és bàsicament una computadora industrial que processa la informació que arriba dels diferents elements de la màquina com ara sensors, botons o temporitzadors, per tal de després controlar els actuadors que pugui tenir la màquina, per exemple, els motors.

La idea d'utilitzar un PLC és perquè és una solució que encaixa molt bé en aquesta aplicació per les funcionalitats que té, les dimensions, la fiabilitat i el cost. Solucions com un PC industrial no té molt sentit en aquest cas, i opcions com Arduino, BeagleBone i Raspberry Pi podrien resultar poc fiables. Si en un futur, hi hagués un gran volum de ventes, podria arribar a ser interessant utilitzar una electrònica personalitzada.

Per a que un PLC funcioni correctament, és a dir, processi la informació i controli tots els actuadors de la màquina tal i com es desitja, és necessari programar-lo prèviament per la tasca que ha de realitzar. S'ha de tenir en compte que en funció de cada marca, el software necessari i el llenguatge de programació és diferent.

Per a una informació més detallada dels components que formen l'entorn de control, es pot consultar a l'[Annex H](#), les seves corresponents fitxes tècniques.

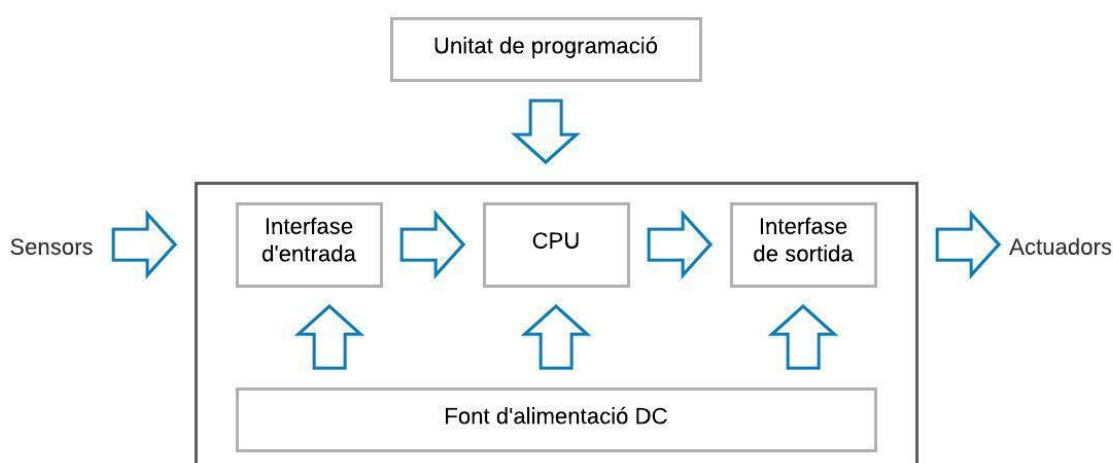


Figura 8-1. Esquema bàsic del funcionament d'un PLC.

Pel que fa a les parts d'un PLC, aquest consta dels següents elements:

1. Font d'alimentació: Proporciona l'energia necessària a la CPU i als altres mòduls.
2. CPU (*Central Processing Unit*): Part que s'encarrega d'interpretar la informació. Està basat en microprocessadors i memòries.
3. Mòdul d'entrada: S'utilitzen per connectar els elements que aporten informació al PLC. Les entrades poden ser o bé analògiques o bé digitals.
4. Mòdul de sortida: S'utilitzen per enviar una resposta als actuadors en funció del programa que tingui el PLC. Les sortides també poden ser o bé analògiques, o bé digitals.
5. Mòdul de memòria: Lloc on es guarden els programes que té el PLC.
6. Unitat de programació: Element necessari per a poder transmetre el codi del programa al PLC.

Els avantatges principals d'utilitzar un PLC és que són uns controladors molt compactes i flexibles. Destaquen per ser modulars, és a dir, es poden afegir mòduls en funció de les necessitats del projecte, ja sigui per comunicar-se d'una altra forma amb el PLC, o si més no, per afegir més entrades i sortides d'una forma molt senzilla.

Per aquest projecte, només es fa el disseny conceptual de les funcions bàsiques que ha de realitzar la màquina per funcionar. Cal comentar que gràcies a la modularitat del PLC, seria possible tenir en compte i incloure encara més funcionalitats al sistema en un futur.

8.1. Diagrama de blocs

Com es pot observar a la figura anterior, per aquest projecte el PLC ha de disposar un mínim de cinc entrades (panell de control, sensor cistella i tres *encoders*) i cinc sortides (solenoides lineal, pantalla i els tres *drivers*). En futurs prototips hi ha la possibilitat que es necessitin més entrades i sortides, factor que s'ha tingut en compte en l'elecció del PLC.

En el següent esquema de la *Figura 8.1-1* es sintetitzen els blocs del nostre entorn de control:

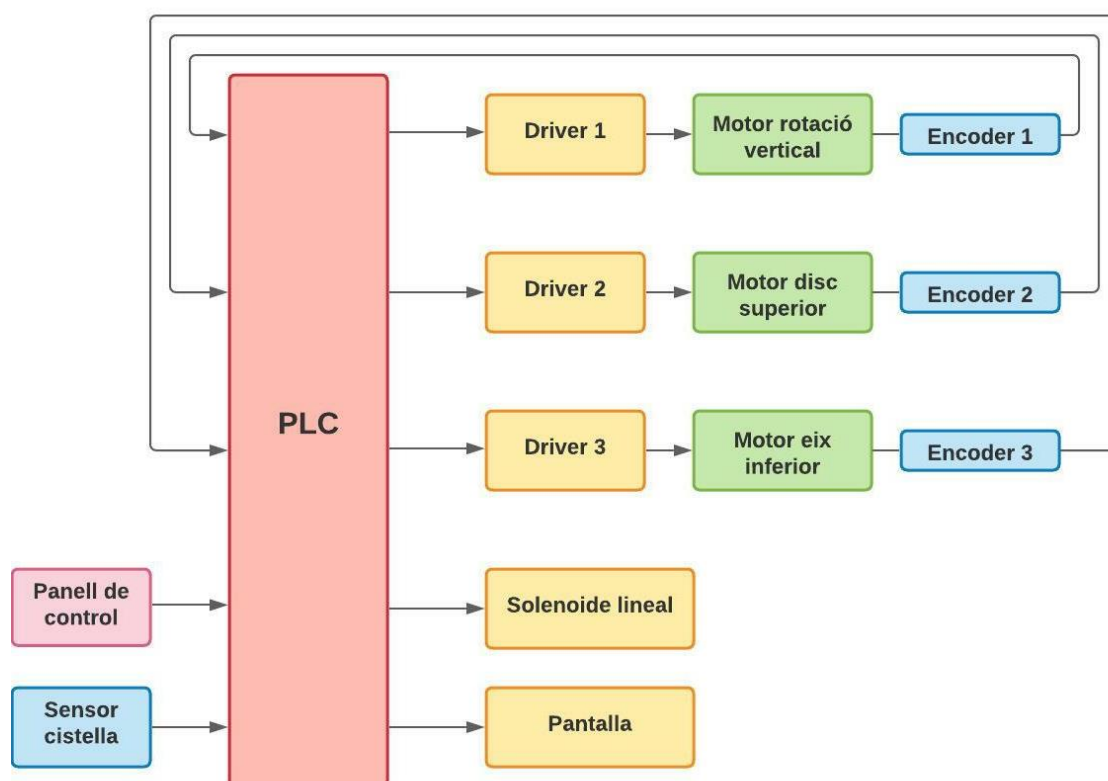


Figura 8.1-1. Esquema de blocs de l'entorn de control.

8.2. Entrades

Com ja s'ha comentat el PLC ha de disposar de cinc entrades:

1. Panell de control
2. Sensor Cistella
3. *Encoder 1*
4. *Encoder 2*
5. *Encoder 3*

El gran repte d'escollir aquests elements és assegurar un correcte funcionament i compatibilitat entre tots els elements, ja sigui per qüestió de tensions, intensitats, potència o simplement de compatibilitat entre diferents marques.

8.2.1. Encoder

La màquina disposa tres motors, el motor necessari per fer rotar la llançadora respecte a l'eix vertical i els dos motors encarregats de propulsar la pilota. Cada un requereix d'un *encoder*. Ara bé,

pel motor de la rotació de l'eix vertical, es necessita l'encoder per saber en tot moment la posició de l'eix del motor. En canvi, pels motors del sistema de propulsió, es necessita encoder per saber en tot moment a quina velocitat giren els discs.

Un encoder és un dispositiu que es munta a l'eix del motor per tal de convertir el moviment mecànic de l'eix, és a dir, les rotacions, en pulsacions analògiques o digitals. Aquests senyals s'envien al PLC per tal que les interpreti i, segons el programa que tingui, enviar una ordre als motors.

Existeixen diferents tipus d'encoders, però per a l'elecció d'aquest, el primer que s'ha fet ha estat llegir la fitxa tècnica del model del motor utilitzat per tal de determinar quins models d'encoder són compatibles amb el motor. Dels models que es poden emprar, tres són de tipus incremental i el restant és de tipus magnètic. El motiu de consultar la fitxa tècnica radica en el fet de tenir un encoder de la mateixa marca que el motor i així evitar possibles problemes de compatibilitat.

Analitzant els dos tipus d'encoder compatibles, s'ha decidit fer servir els de tipus incremental. Un encoder incremental és un tipus d'encoder que proporciona tres tipus de senyal, la velocitat de rotació i el sentit de rotació. També proporciona la posició absoluta del zero que, mitjançant comptes incrementals, és possible conèixer la posició angular de l'eix de l'encoder. Totes aquestes informacions són crucials per l'aplicació en qüestió.

Pel motor del mecanisme de rotació d'eix vertical s'ha decidit utilitzar el model RE 30 TI (encoder 1) i pels altres dos motors el model RE 20 (encoders 2 i 3). S'ha escollit models diferents perquè el mecanisme de rotació de l'eix vertical determina l'orientació de la passada i, per tant, es necessita més precisió de lectura per realitzar una bona passada. Com és lògic, tots dos models són de la mateixa marca del motor (*Dunkermotoren*), però s'hauria de comprovar la compatibilitat d'aquests amb el PLC.

A la següent taula es poden veure les característiques principals d'aquests models.

	RE 20	RE 30 TI
Tensió Nominal [V]	5	5
Senyals per rotació [ppr]	100	1024
Tensió de sortida [V]	[0,6 , 2,4]	[0,5 , 2,5]
Corrent de sortida màxim [mA]	20	20

Taula 8.2-1. Característiques principals dels encoders RE 20 i RE 30 TI.

Comentar que cada encoder és alimentat pel driver del motor corresponent.

8.2.2. Sensor cistella

El sensor de la cistella és l'encarregat d'indicar al PLC si l'usuari ha encertat el tir, és a dir, indica si la pilota ha passat a través de l'anell de la cistella. Aquest sensor s'ha de col·locar a l'alçada de l'anell de la cistella i a la vegada connectat a la màquina. Per aquest motiu, s'hauria de dissenyar un mecanisme de barra telescòpica per tal de poder-lo col·locar al lloc adequat.

De tots els tipus de sensors que es poden utilitzar per aquesta funció, s'ha decidit utilitzar un sensor fotoelèctric el qual detecta els objectes que interfereixen el raig de llum infraroja. S'ha escollit aquest tipus de sensor perquè es caracteritzen per tenir una resposta ràpida i, a diferència dels altres, com podria ser un sensor de vareta, no entra mai en contacte amb la pilota.

El model que s'ha emprat és el model *CX422* de la marca *Panasonic*. S'ha escollit aquest model ja que el PLC és també de *Panasonic* i així s'eviten possibles incompatibilitats a l'hora de muntatge.

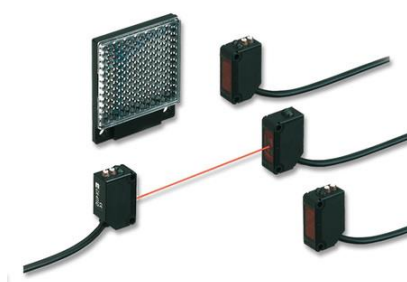


Figura 8.2-1. Sensor CX422 de la marca Panasonic. Font: Panasonic

D'aquest sensor es pot destacar:

CX422

Distància de detecció [cm]	80
Temps de resposta [ms]	Màx. 1
Dimensions [mm]	31x11.2x20
Tensió d'alimentació DC [V]	De 12 a 24

Taula 8.2-2. Característiques principals del sensor CX422.

8.2.3. Panell de control

Finalment, l'últim element que s'ha de connectar en un principi al PLC és el panell de control. A través d'aquest, l'usuari interacciona amb la màquina i té la possibilitat de dissenyar l'entrenament que desitja realitzar. El panell de control transmet aquesta informació al PLC amb la finalitat que aquest controli la màquina tal com es desitja.

El panell de control s'hauria de dissenyar, però la idea és utilitzar una pantalla amb una aplicació incorporada i que aquesta actués de panell de control.

El motiu és bàsicament perquè així a través d'un mòbil, i sense haver d'estar connectat al PLC, l'usuari pogués modificar els paràmetres i interaccionar amb la màquina.

Ara bé, en aquest panell de control, paràmetres com l'alçada de l'usuari, freqüència de tir, posicions des d'on es vol llançar a cistella i la quantitat de vegades que es vol fer, haurien de ser editables.

8.3. Sortides

Pel que fa a les sortides, el PLC haurà de transmetre informació a:

1. Els tres *drivers*
2. Solenoide lineal
3. Pantalla

8.3.1. Driver

Per tal d'extreure el màxim rendiment als motors, aquests han de poder ser alimentats a la seva tensió d'alimentació màxima, la qual és de 40 [V]. Tenint en compte que el PLC escollit (veure capítol 8.4. PLC escollit) té una tensió de sortida inferior a 40 [V], s'ha decidit utilitzar un *driver*. Aquest actua de dispositiu enllaçant entre el PLC i el motor, i té la funció de regular la tensió a la qual s'ha d'alimentar el motor en funció de la informació que li transmet el PLC.

Tal i com s'ha fet amb l'elecció dels *encoders*, s'ha mirat la fitxa tècnica del motor utilitzat per veure quins *drivers* són compatibles amb aquest. Per cada model s'han tingut en compte les comunicacions que admet, la intensitat màxima de sortida que pot donar i també el seu voltatge de sortida. És per això, que el model escollit és el *BGE 5510 dPro*, també de la marca *Dunkermotoren*. En aquest cas però, els tres *drivers* són el mateix model.



Figura 8.3-1. Model BGE 5510 Dpro.

Font: www.dunkermotoren.com

A la següent taula (Taula 8.3-1) i a Figura 8.3-2 es pot observar les característiques principals del model triat i com seria la connexió d'aquest, respectivament.

BGE 5510 dPro

Voltatge nominal de sortida DC [V]	9-55
Intensitat màxima de sortida [A]	30
Comunicacions	EtherNet/IP

Taula 8.3-1. Característiques principals del driver BGE 5510 dPro.

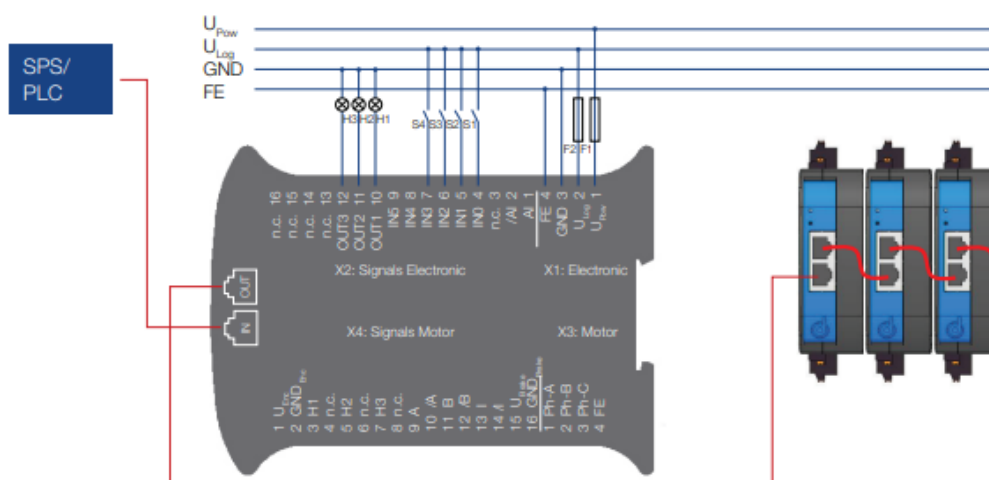


Figura 8.3-2. Model de connexió del PLC amb els drivers.

(Font: www.dunkermotoren.com)

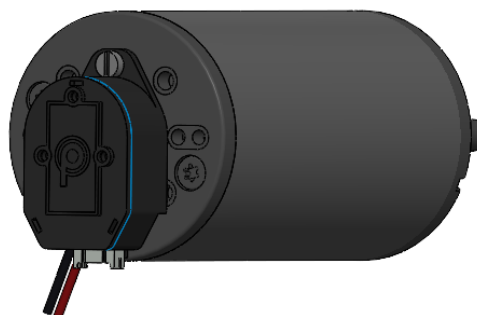


Figura 8.3-3. Model CAD del motor GR 63x55 i l'encoder 30 TI.

8.3.2. Solenoide lineal

El solenoide lineal, és un altre dispositiu que ha de rebre una ordre del PLC per actuar. En aquest cas, ja s'ha explicat quin tipus de solenoide s'ha escollit al capítol 0. Selecció del solenoide. Com ja

s'ha dit, la funció d'aquest element és deixar passar la pilota en un moment determinat. Aquest instant en el qual ha d'accionar-se, l'indica el PLC. És a dir, quan l'usuari, a través del panell de control, dissenya el seu entrenament, el PLC automàticament, i gràcies al programa que tingui instal·lat, calcula quan ha de deixar passa una pilota, i posteriorment envia les ordres al solenoide en els instants calculats.

8.3.3. Pantalla

Finalment, l'últim element al qual el PLC envia informació és a la pantalla encarregada de mostrar informació sobre l'entrenament. En aquesta es mostrarien estadístiques sobre l'entrenament, s'indicaria quan una pilota es va a llançar i es podrien veure estudis sobre l'evolució de cada usuari que utilitza la màquina, entre d'altres.

Puntualitzar, que en un futur disseny detallat de l'entorn de control, s'hauria de valorar si el panell de control i la pantalla podrien ser el mateix dispositiu. No s'ha elegit cap model en concret ja que s'hauria de veure com muntar-ho quan la interfície usuari-màquina estigués dissenyada.

8.4. PLC escollit

Una vegada analitzades les entrades i sortides que té el PLC i després de veure de quin tipus són, s'ha escollit el PLC. El model elegit és el FPOH de la marca *Panasonic*. S'ha elegit aquest perquè destaca per la seva alta velocitat i capacitat. A més a més, és un PLC molt compacte per les capacitats que té.

Un altre motiu pel qual s'ha escollit aquest model és perquè múltiples opcions de connectivitat com ara *EtherNet/IP* i *Modbus-TCP*. A més a més, és un PLC modular, és a dir, s'hi poden afegir mòduls d'expansió amb els quals pots tenir més entrades i sortides, comunicar-te d'una altra forma, entre d'altres. Per exemple, si en el disseny detallat s'arribés a la conclusió que es necessiten més entrades, es podria afegir un mòdul d'expansió. En la següent taula (*Taula 8.4-1*) es pot observar les característiques principals d'aquest model sense cap mòdul d'expansió incorporat.

FPOH	
Número d'entrades	16
Número de sortides	16
Número de sortides de pulsacions	4
Comunicacions incorporades	2 ports Ethernet 1 port RS232C 1 port USB

Taula 8.4-1. Característiques principals PLC FPOH Panasonic.

Ara bé, és important comentar que abans de procedir amb la compra de tots els components, s'hauria de contactar amb les empreses *Dunkermotoren* i *Panasonic* per tal de veure la compatibilitat entre els drivers i els *encoders* amb el PLC.



Figura 8.4-1. PLC FPOH Panasonic.

(Font: www.panasonic-electric-works.com)

9. PRESSUPOST

Per fer el càlcul del pressupost del projecte s'ha valorat, per una banda, el cost d'enginyeria de les tasques realitzades pels autors tenint en compte també el cost de les eines, activitats i recursos utilitzats per dur-lo a terme. Per altra banda, en tractar-se d'un projecte merament acadèmic i teòric el càlcul del cost de fabricació del prototip no es realitza, tot i això, en aquest capítol es presenta un llistat de tots els components emprats a fi de facilitar una base de dades per un eventual seguiment del projecte.

9.1. Cost d'enginyeria

Aquest càlcul es basa tenint en compte que es tracta d'un Treball de Fi de Grau (TFG) de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB) que estipula una dedicació de 300 hores per estudiant, l'equivalent als 12 ECTS. Tot i això, en tractar-se de projecte amb molta càrrega de treball finalment s'han acabat dedicant bastantes més hores de les esperades. Es tenen en compte també en aquest càlcul les llicències dels programes utilitzats i altres recursos per dur a terme tota la fase de dimensionament.

	PREU [€]	Nº HORES	COST [€]
Estudi preliminar	35	150	5250
Disseny del prototip	35	450	15750
Conclusió del projecte	25	100	2500
Visita NextMVP	25	1,5	37,5
Llicència MatLab*	800	-	800
Llicència SolidWorks**	1650	-	1650
TOTAL		701.5	25987.5

*Llicència de quatre mesos

**Llicència d'un any

Taula 9.1-1. Desglosament del pressupost.

10. IMPACTE AMBIENTAL

Per tal de contribuir al desenvolupament sostenible amb la realització d'aquest projecte, és important analitzar l'impacte ambiental del prototip de la màquina dissenyada, ja que qualsevol producte directa o indirectament, té un impacte sobre el medi ambient durant tot el seu cicle de vida. El cicle de vida està constituït per la fase de disseny i fabricació del producte, el temps que s'utilitza i també el moment en què es deixa de fer ús del producte i es tracta de reciclar la majoria dels seus components.

Per una banda, és rellevant comentar que en el procés de fabricació del prototip es generen una gran quantitat de residus, els quals han de ser reciclats o tractats correctament. Per exemple, en el muntatge de l'estructura metàl·lica de la base, la llançadora i el sistema de captació, com es tracten tubs d'acer, és possible que es generin una gran quantitat residus metàl·lics, sigui restes de tubs o planxes. A més a més, en el moment d'instal·lació de tots els elements de l'entorn de control també es poden generar altres tipus de residus com ara restes de plàstic, gomes, entre d'altres.

D'altra banda, en el moment de destrucció de la màquina o quan es desitgi desfer-se'n s'ha de tenir en compte quins components de la màquina es poden reciclar i quins no. L'estructura metàl·lica és d'acer i presenta un impacte ambiental positiu, ja que és reciclable en la seva totalitat. Pel que fa a l'entorn de control, la gran majoria de components podrien ser reutilitzats en altres aplicacions.

Puntualitzar que en un futur i, sempre i quan es posés la màquina al mercat i per tant s'hagués de fer una producció en sèrie, s'hauria de realitzar un estudi complet de l'impacte ambiental. En aquest estudi, es podria calcular la petjada ecològica, és a dir, calcular l'àrea de sòl ecològicament productiu per assimilar els residus que genera. També es podria fer un càlcul de l'impacte que generaria un ús normal de la màquina tenint en compte la freqüència d'ús i el consum d'electricitat per a un correcte funcionament, entre d'altres.

11. PLANIFICACIÓ

A la següent taula es mostra la planificació per dur a terme el projecte. Comentar que la desconeixença que es tenia sobre la matèria i sobre la magnitud del projecte va portar a fer una actualització un cop transcorregudes unes setmanes, concretament un cop es va concloure el capítol de l'ESTAT DE L'ART (setmana VI). Finalment, el projecte s'ha pogut dur a terme satisfactòriament amb el període establert des d'un inici.

Analitzant la taula i havent realitzat ja totes les etapes, es considera oportú per a propers projectes ser molt més generós a la fase de *Disseny del prototip*. També, es considera que el termini fixat per dur a terme el projecte es notablement curt si es té en compte la càrrega de treball que el mateix implica.

		PERÍODE		20/09	27/09	04/10	11/10	18/10	25/10	01/11	08/11	15/11	22/11	29/11	06/12	13/12	20/12	27/12	03/01	10/01	17/01	
		INICI	FINAL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	
FASE 1. ESTUDI PRELIMINAR		I	VI																			
1.1	Definició de l'objectiu i abast del projecte	III	IV																			
1.2	Estat de l'art	I	VI																			
1.3	Visita NEXT MVP	III	III																			
FASE 2. DISSENY DEL PROTOTIP		VI	XVI																			
2.1	Definició d'especificacions	VI	VII																			
2.2	Disseny conceptual mecànic	VII	IX																			
2.3	Disseny mecànic detallat*																					
2.3.1	Recollidora	IX	X																			
2.3.2	Llançadora	X	XIV																			
2.3.3	Dosificador i conducció	XIV	XVI																			
2.3.4	Altres **	X	XVI																			
2.4	Disseny conceptual de l'entorn de control	XV	XVI																			
FASE 3. CONCLUSIÓ DEL PROJECTE		XVI	XVII																			
3.1	Impacte ambiental	XVII	XVII																			
3.2	Pressupost	XVII	XVII																			
3.3	Redacció de la memòria	XVI	XVIII																			

* Etapa desglossada en subetapes al moment d'iniciar-la

** Corresponent a: base, unió base-llançadora i anàlisi de bolcada

Taula 9.1-1. Planificació del projecte.

CONCLUSIONS

Les conclusions d'aquest projecte es poden realitzar comparant els resultats obtinguts amb la *Taula 2.5-1* i la *Taula 2.5-2*, presentada al capítol d'3. ESPECIFICACIONS, on es defineixen les necessitats que ha de satisfer el sistema i especificacions respectivament.

Paràmetre	Unitat	Nivell
Freqüència de passada	s/passada	[2:10]
Rang azimutal de passada	[°]	[0:180]
Distància de passada	m	[4:12]
Alçada de recepció	m	$Y^4 \pm 0.15$
Velocitat de recepció	m/s	[8:15] ⁵
Superació de graons	cm	5
Superació de canvis de pendents	[°]	20
Fixació un cop muntada	-	SÍ
Capacitat de ser transportada muntada i desmuntada	-	SÍ
Dimensions (per a poder passar per una porta estàndard, segons UNE 56801:2008)	m	0.725x2.03
Col·locació en qualsevol punt del camp	-	SÍ
Alçada recepció de la pilota	m	(1.5:2.2)
Precisió en la detecció de tirs ficats	%	≥ 98
Captació de pilotes que l'usuari llança	%	≥ 90
Precisió en el comptatge de passades	%	100
Quantitat de pilotes per funcionar correctament	nº pilotes	≥ 3
Interfície per crear entrenaments	-	Pantalla
Robustesa i estabilitat segons UNE-EN 1270:2006	-	SÍ
Tensió elèctrica	V	230

Comprovació d'especificacions

El primer prototip creat és capaç de realitzar passades semblants a les d'un jugador de bàsquet en qualsevol posició situada dins del mig camp de bàsquet. A més, la màquina no només pot ser utilitzada per jugadors joves pel fet que ells mateixos poden posar-la en marxa sinó que en incorporar la funcionalitat de poder adaptar la passada en funció de l'alçada del jugador, fa que aquest prototip sigui una potencial màquina molt polivalent. Una altra característica a destacar que posa encara més de manifest la polivalència de la màquina és que aquesta es pot transportar i emmagatzemar de manera fàcil i còmode. Pel que fa a l'entorn de control, a l'haver-se realitzat únicament el disseny conceptual, no es pot afirmar que s'ha creat una màquina amb un sistema de configuració d'entrenaments senzill. Malgrat això, a l'haver-se fet un disseny mecànic que inclou totes les funcionalitats bàsiques, amb un bon disseny detallat de l'entorn de control seria

⁴ Alçada especificada pel jugador.

⁵ Aquest rang de velocitats ha sigut determinat gràcies a de diferents assajos de camp realitzats pels autors. Veure per la justificació a l'Annex C.

totalment possible implementar totes les funcions que inclouen les màquines de gama A+ (categoria definida al capítol de 2.3. Segmentació).

A la taula mostrada anteriorment, en verd es mostren aquelles especificacions creades al principi del projecte que s'ha aconseguit superar. En groc, s'han marcat aquelles especificacions tals que caldria construir el disseny per a poder-les validar.

Amb aquest projecte s'ha pogut apreciar l'alt nivell de dificultat de totes les etapes de disseny d'un prototip d'una màquina. El procés és complex i cada etapa és tant important com les altres. En aquest projecte s'ha efectuat un estat de l'art amb un grau de detall bastant alt que ha permès prendre les decisions de manera més encertada al transcurs de les següents etapes, per exemple, a l'hora de definir les especificacions i realitzar el disseny conceptual. Un exemple clar d'aquesta lliçó és l'anàlisi de bolcada realitzat a les últimes etapes de disseny. Aquest anàlisi es desconeixia durant tot el transcurs de disseny mecànic detallat i, òbviament, ha causat problemes de seguretat un cop el disseny ja es trobava en fase de tancament. Per tant, s'ha fet palès que les decisions adoptades al llarg de les primeres etapes del projecte condicionen i determinen de manera molt important les etapes posteriors.

Finalment, afegir que aquest projecte ha sigut un repte important en molts nivells. Ja sigui per la quantitat de conceptes i metodologies noves que s'han hagut d'aprendre o ja sigui per l'alt nivell coordinació en grup exigít per tirar endavant aquest projecte o, encara més, per la necessitat de ser resolutiu i trobar una solució a les problemàtiques constantment.

ESTUDIS FUTURS

Com s'ha comentat en diverses ocasions en el document, hi ha certs aspectes que no s'han considerat en aquesta fase del disseny i altres que no s'han detallat amb la suficient claredat degut al temps. És per això que a continuació es mencionen diferents aspectes que en un futur s'haurien de considerar i que significarien una millora tant a nivell estructural com funcional de la màquina.

1. Realitzar un disseny detallat de l'entorn de control. Això passa primer per parlar amb tècnics comercials d'electrònica de diferents empreses per tal de veure quines podrien ser les millors opcions per aquesta aplicació a nivell del controlador, de compatibilitats entre els diferents components, entre d'altres.
2. Optimitzar el disseny de les diferents parts estructurals de la màquina, com el sistema de captació, la base o el xassís. Per dur a terme una correcta optimització, s'ha de realitzar un anàlisi estructural mitjançant el mètode dels elements finits per tal de veure els esforços que apareixen en cada estructura.
3. Escollir el material dels diferents components que conformem la màquina realitzant un procés de selecció exhaustiu, amb l'objectiu d'utilitzar el material més adient en cada cas. El material, a la vegada, pot influir en el disseny final, per tant s'hauria de fer un anàlisi de fabricació dels components amb el material escollit.
4. Dissenyar una carcassa per la llançadora amb la finalitat de millorar l'aparença de la màquina i que no es vegin tots els seus components. A més a més, col·locar una carcassa augmentaria la seguretat de l'usuari.

AGRAÏMENTS

Agrair a la feina realitzada pel tutor Dr. Emilio Angulo Navarro que amb ganes i passió ha proporcionat en tot moment les eines i els coneixements necessaris per tirar aquest projecte tan ambiciós endavant.

Donar les gràcies també al centre de tecnificació Next MVP Badalona per l'amabilitat i la informació proporcionada sobre les màquines actuals a l'inici del projecte.

BIBLIOGRAFIA

Cardona, S., Clos, D. *Teoria de màquines*. Barcelona, Ed. UPC, 2008.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.H. *Engineering Design: a systematic approach (3rd edition)*. Darmstadt, Springer, 2007.

Callister, William D., *Materials Science and Engineering: an introduction (7th edition)*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2007.

Riba, C. *Disseny de màquines V: Metodologia*. Barcelona, Ed. UPC, 2002.

Boyer, H. E. *Atlas of fatigue curves*, Ohio, ASM International, 1986.

Bigordà, J., Fenollosa, J. *La fatiga dels elements mecànics*. Barcelona, Ed. UPC, 1993.

Tejerizo, M. *Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de calculo para las estructuras metálicas según el Eurocódigo 3*, Barcelona, 2015.

SKF-Principios de selección de rodamientos [en línia]. [Consulta: 22/12/2021]. Disponible a: <<https://www.skf.com/es>>

Traceparts-Library [en línia]. [Consulta: 10/11/2021]. Disponible a: <<https://www.traceparts.com/es>>

MasterPLC - ¿Qué es un PLC? Introducción a los Controladores Lógicos Programables [en línia]. [Consulta: 06/01/2022]. Disponible a: <<https://masterplc.com/programacion/que-es-un-plc/>>

Guemisa – Encoders [en línia]. [Consulta: 12/01/2022]. Disponible a: <<https://guemisa.com/sicod/docus/ENCODER-TEC.pdf>>

Blickle-Castor Wheels [en línia]. [Consulta: 28/12/2021]. Disponible a: <<https://guemisa.com/sicod/docus/ENCODER-TEC.pdf>>

Shoot-A-Way: Best Basketball Shooting Machine [en línia]. [Consulta: 20/10/2021]. Disponible a: <<https://www.shootaway.com/>>

Dr.Dish Basketball [en línia]. [Consulta: 20/10/2021]. Disponible a: <<https://www.drdishbasketball.com/>>

The GRIND Machine [en línia]. [Consulta: 20/10/2021]. Disponible a: <<https://www.drdishbasketball.com/>>

Siboasi Basketball Shooting Practice Machine [en línia]. [Consulta: 20/10/2021]. Disponible a: <<https://www.siboasi.com/basketball-shooting-machine-s6829.html>>

Basketball Shooting Machines Charlie – Dynamic Dimes [en línia]. [Consulta: 20/10/2021]. Disponible a: <<https://www.dynamicdimes.com/en/basketball-shooting-machines/>>

