Resum

El següent projecte consisteix en el disseny d'un banc de proves per a motors i generadors elèctrics de potència fraccionària, amb potències compreses d'entre 100 i 1000 W.

En aquest projecte, s'ha seguit una metodologia que consta de quatre parts diferenciades.

En primer lloc, es realitza diversos estudis de mercat per conèixer quins elements ofereix el mercat europeu i quins d'aquests seran els més viables per a la consecució del banc de proves a dissenyar. En el projecte es descriuen tots els elements seleccionats verificant tots els components mitjançant els càlculs necessaris.

Seguidament, s'ha realitzat el disseny mecànic del banc, interconnectant tots els elements del sistema per esdevenir un conjunt unitari i funcional. Aquest disseny es realitza mitjançant un programa de CAD de disseny mecànic en 3D *Unigraphics NX6*.

Finalment, s'ha calculat un pressupost per a obtenir dades reals del seu cost, la seva viabilitat en termes econòmics i el posterior estudi mediambiental per analitzar l'impacte que pot tenir sobre el medi ambient.

Abstract

This project involves the design of testing bench for electric motors and fractionally power generators, with outputs ranging between 100 and 1000W.

In this project, we followed a methodology that consists of four distinct parts.

First, several marketing studies be carried out to discover which items offer the European market and which of these will be more viable to achieve the test design. The project will describe all items selected by checking all the components necessary calculations.

Then, we carried out the mechanical design of the testing bench, connecting all elements of the system to become a unitary and functional package. The mechanical design is done using CAD program 3D, *Unigraphics* NX6.

Finally, it has been calculated a budget to obtain actual cost data, their viability in economic terms and the subsequent environmental study to examine the impact that can trigger on the environment.

Índex

RESUM **1**

ABSTRACT **2**

ÍNDEX **3**

ÍNDEX FIGURES **7**

ÍNDEX TAULES **10**

ÍNDEX EQUACIONS **12**

GLOSSARI **14**

1.PREFACI **17**

1.1. ORIGEN DEL PROJECTE 17

1.2. MOTIVACIÓ 17

2.INTRODUCCIÓ **18**

2.1. OBJECTIUS DEL PROJECTE 18

2.2. ABAST DEL PROJECTE 18

3.ESTUDI DE MERCAT PER A L'ELECCIÓ DEL SISTEMA DE FRENAT **19**

3.1. FRE DINÀMIC 19

3.2. FRE DE FOUCAULT 20

3.3. FRE D'HISTÈRESI 21

3.4. AVANTATGES I INCONVENIENTS DELS SISTEMES DE FRENAT 23

4.ELEMENTS A ESCOLLIR EN EL DESENVOLUPAMENT DEL BANC DE PROVES **25**

4.1. ELECCIÓ DEL MOTOR DE CORRENT CONTINU ACTUANT COM A FRE DINÀMIC 25

4.2. REDUCTORS 27

4.2.1. Famílies de reductors 27

4.2.2. Elecció del Reductor 32

4.3. ELECCIÓ DELS RODAMENTS 33

4.4. ELECCIÓ DELS ELEMENTS DE TRANSMISSIÓ 35

4.5. ELECCIÓ DELS ACOBLAMENTS MECÀNICS 37

5.ELEMENTS A ESCOLLIR PER A LA MESURA I CONTROL DEL BANC DE PROVES 39

5.1. ANÀLISI DE LA VELOCITAT 39

5.1.1. Tipus d'encòders 40

5.1.2. Elecció de l'encòder 42

5.2. CONTROL DEL CORRENT 43

5.3. ANÀLISI DEL PARELL 45

5.3.1. Transductor de parell 45

5.3.2. Elecció del transductor 47

6.DISSENY DEL BANC DE PROVES 49

6.1. DISSENY DELS ELEMENTS CONSTITUTIUS DEL BANC DE PROVES 49

6.2. ELEMENTS CONSTITUTIUS DEL BANC DE PROVES 52

6.2.1. Bancada banc de proves 52

6.2.2. Plataforma banc d'assaig amb sistema d'elevació 54

6.2.3. Guia motor mòbil 58

6.2.4. Guia plataforma banc 60

6.2.5. Plataforma transductor 62

6.2.6. Plataforma reductor o eix 65

6.2.7. Eix de transmissió 68

6.2.8. Carretó banc de proves 70

6.2.9. Roda carretó 72

6.3. DISPOSICIÓ DELS ELEMENTS EN EL BANC DE PROVES 76

6.3.1. Banc de proves sense carretó 76

6.3.2. Banc de proves vist de sota 77

6.3.3. Transductor de parell 78

6.3.4. Reductor planetari 79

6.3.5. Motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic 80

7.PLA DE MANTENIMENT DEL BANC DE PROVES 82

7.1. MANTENIMENT DEL MOTOR DE CORRENT CONTINU 82

7.2. MANTENIMENT DEL REDUCTOR 82

7.3. MANTENIMENT DELS RODAMENTS 83

7.4. MANTENIMENT DE LES UNIONS CARGOLADES 83

8.IMPACTE AMBIENTAL 84

8.1. IMPACTE AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓ DEL BANC DE PROVES 84

8.2. IMPACTE AMBIENTAL EN EL FUNCIONAMENT DEL BANC DE PROVES 84

8.3. IMPACTE AMBIENTAL EN EL DESBALLESTAMENT DEL BANC DE PROVES 84

9.PRESSUPOST 85

9.1. INTRODUCCIÓ 85

9.2. COST DELS COMPONENTS SÈRIE 85

9.3. COST DE FABRICACIÓ DELS COMPONENTS DE DISSENY 87

9.4. COST D'ENGINYERIA 88

9.5. PRESSUPOST FINAL DEL PROJECTE 89

CONCLUSIONS 90

AGRAÏMENTS 92

BIBLIOGRAFIA 93

Índex Figures

Figura 1 Motor de corrent continu 20

Figura 2 Corrents de Foucault produïts 21

Figura 3 Variació del sistema de frenat mitjançant la superposició dels pols dels imants 21

Figura 4 Fre d'histèresis 22

Figura 5 Reductor d'engranatges 28

Figura 6 Reductor planetari 29

Figura 7 Reductor de roda i cargol bisen fi 30

Figura 8 Reductor epicicloïdals 32

Figura 9 Rodaments 34

Figura 10 Acoblament elàstic 39

Figura 11 Esquema d'un encòder incremental 40

Figura 12 Forma d'ona d'un encòder incremental 41

Figura 13 Encòder absolut 42

Figura 14 Quadrants de funcionament d'un trossejador reversible 44

Figura 15 Esquema trossejador reversible 45

Figura 16 Esquema transductor amb anell col•lector 46

Figura 17 Esquema transductor de parell giratori sense contacte 47

Figura 18 Esquema del banc de proves 49

Figura 19 Disposició definitiva del banc de proves dissenyat 50

Figura 20 Bancada banc de proves 54

Figura 21 Plataforma banc d'assaig amb sistema d'elevació 57

Figura 22 Guia motor mòbil 59

Figura 23 Guia plataforma banc 61

Figura 24 Plataforma transductor 64

Figura 25 Plataforma reductor o eix 67

Figura 26 Eix de transmissió 69

Figura 27 Carretó banc de proves 71

Figura 28 Roda carretó 75

Figura 29 Banc de proves sense carretó 77

Figura 30 Banc de proves vist de sota 78

Figura 31 Transductor de parell 79

Figura 32 Reductor planetari 80

Figura 33 Motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic 81

Figura 34 Cost dels components sèrie 86

Figura 35 Cost de fabricació dels elements de disseny 87

Figura 36 Cost d'enginyeria 88

Figura 37 Pressupost final del projecte 89

Figura 1.A Esquema complert de l'induït d'un motor de corrent continu A.3

Figura 2.A Gràfica parell-velocitat A.5

Figura 3.A Esquema d'un encoder incremental A.9

Figura 4.A Esquema d'un encoder absolut A.10

Figura 5.A Diagrama del sòlid lliure del rodament A.17

Figura 6.A Diagrama del sòlid lliure del cargol a pressió A.18

Figura 7.A Croquis plataforma elevadora A.22

Figura 8.A Anàlisi de velocitats de la plataforma elevadora A.24

Figura 9.A Anàlisi d'acceleracions de la plataforma elevadora A.27

Figura 10.A Diagrama del sòlid lliure plataforma elevadora A.28

Figura 11.A Acoblament utilitzat per acoblar la càrrega al motor A.30

Figura 12.A Model utilitzat per a l'obtenció del moment d'inèrcia del conjunt A.31

Índex Taules

Taula 1 Avantatges i inconvenients dels sistemes de frenat 23

Taula 2 Característiques principals motor de corrent continu 26

Taula 3 Característiques principals del reductor planetari 33

Tabla 4 Característiques principals dels rodaments 35

Taula 5 Avantatges i inconvenients del sistema de transmissió 36

Taula 6 Característiques principals de l'acoblament mecànic 38

Taula 7 Característiques principals de l'encòder incremental 43

Taula 8 Característiques principals dels transductors de parell 48

Taula 9 Elements constitutius del banc de proves 52

Taula 10 Cost dels components sèrie 86

Taula 11 Cost total dels elements de disseny 87

Taula 12 Cost d'enginyeria 88

Taula 13 Pressupost final del projecte 89

Taula 1.A Estudi de mercat dels motors de corrent continu A.6

Taula 2.A Característiques principals del reductor planetari A.7

Taula 3.A Estudi de mercat dels encòders incrementals A.11

Taula 4.A Estudi de mercat del transductor de parell A.12

Taula 5.A Característiques principals dels rodaments A.14

Taula 6.A Cost dels materials utilitzats A.33

Taula 7.A Cost total material..... A.35

Taula 8.A Cost de fabricació..... A.36

Índex Equacions

1.A Eq. Força electromatriu A.4

2.A Eq. Força electromatriu A.4

3.A Eq. Potència absorbida A.4

4.A Eq. Pèrdues colector-escombreta A.4

5.A Eq. Pèrdues per efecte Joule A.4

6.A Eq. Potència interna d'un motor de corrent continu A.4

7.A Eq. Pèrdues per velocitat A.4

8.A Eq. Potència útil d'un motor de corrent continu A.4

9.A Eq. Parell mecànic intern A.4

10.A Eq. Parell mecànic útil A.4

11.A Eq. Rendiment d'un motor elèctric A.4

12.A Eq. Velocitat d'entrada del reductor A.7

13.A Eq. Parell d'entrada del reductor A.7

14.A Eq. Vida nominal dels rodaments A.15

15.A Eq. Duració dels rodaments A.16

16.A Eq. Duració dels rodaments considerant la vida útil d'aquests A.16

17.A Eq. Factor dinàmic dels rodaments A.16

18.A Eq. Factor dinàmic dels rodaments A.16

19.A Eq. Duració del rodament A.17

20.A Eq. Moment a transmetre al cargol A.18

21.A Eq. Criteri de Grübler-Kutzbach A.20

22.A Eq. Teorema del Sinus per a triangles rectangles A.21

23.A Eq. Velocitat angular A.22

24.A Eq. Velocitat lineal d'un punt A.23

25.A Eq. Acceleració angular A.24

26.A Eq. Acceleració lineal normal i tangencial d'un punt en un sólid rígid A.25

27.A Eq, Teorema de potències virtuals A.27

28.A Eq. Moment d'una força A.29

29.A Eq. Moment d'inèrcia equivalent primer conjunt A.31

30.A Eq. Moment d'inèrcia equivalent segon conjun A.32

Glossari

$\mathbf{V_i}$ = Tensió de l'induït.

$\mathbf{I_i}$ = Corrent de l'induït.

$\mathbf{R_i}$ = Resistència de l'induït (inclou les resistències del debanat compensador i dels pols de commutació, si la màquina en disposa).

$\mathbf{\Phi}$ = Flux per pol.

$\mathbf{\Omega}$ = Velocitat.

$\mathbf{V_{CE}}$ = Caiguda de tensió al col·lector-escombretes.

$\mathbf{R_P}$ = Resistència de pèrdues per velocitat (pèrdues al ferro i pèrdues per fregaments).

$\mathbf{R_L}$ = Resistència fictícia que avalua la potència útil desenvolupada pel motor en càrrega.

$\mathbf{E}$ = Força electromotriu.

$\mathbf{P_{abs}}$ = Potència absorbida.

$\mathbf{P_{ji}}$ = Pèrdues per efecte joule a l'induït.

$\mathbf{P_i}$ = Pèrdues internes.

$\mathbf{P_{vel}}$ = Pèrdues per velocitat.

$\mathbf{P_u}$ = Potència útil.

$\mathbf{M_{int}}$ = Moment mecànic intern.

$\mathbf{M_u}$ = Moment útil.

$\mathbf{\eta}$ = Rendiment d'un motor elèctric.

$\mathbf{n_o}$ = Velocitat d'entrada reductor.

$\mathbf{n_i}$ = Velocitat de sortida reductor.

r_t = Relació de transformació reductor.

M_o = Parell d'entrada reductor.

M_i = Parell de sortida reductor.

η_r = Rendiment reductor.

L_{10} = Vida nominal del rodament en voltes per minut.

C = Capacitat de càrrega dinàmica del rodament.

P = Càrrega dinàmica equivalent del rodament.

p = Exponent de duració del rodament.

L_{h10} = Vida nominal del rodament en hores.

f_t = Factor dinàmic del rodament.

f_n = Factor de velocitat del rodament.

M = Moment d'una força.

F = Força mecànica.

D = Diàmetre.

M_t = Moment a transmetre al cargol.

μ = Coeficient de fregament.

N = Força normal.

d = Diàmetre interior.

G = Nombre de graus de llibertat.

n = Nombre d'elements.

j1 = Nombre d'elements amb un grau de llibertat.

j2 = Nombre d'elements amb dos graus de llibertat.

R = Radi.

ω = Velocitat angular.

φ = Angle d'escrit.

V = Velocitat lineal d'un punt.

I = Distància entre l'eix de rotació de la barra al punt.

ε = Acceleració angular.

J = Acceleració lineal d'un punt.

J^N = Acceleració normal.

J^T = Acceleració tangencial.

Jeq = Moment d'inèrcia equivalent.

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

L'origen del projecte es deu a la necessitat de fabricar un nou banc de proves per a motors i generadors de potència fraccionària. Aquest banc de proves s'utilitzarà en els laboratoris d'enginyeria elèctrica de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (EPSEVG) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Amb aquest projecte es pretén realitzar un banc d'assaig dinàmic i versàtil que serveixi per realitzar assajos a motors i generadors de potències compreses entre 100 i 1000 w.

1.2. Motivació

Per a la realització d'aquest projecte, ha estat vehicle de motivació el fet que, amb les eines de les que es disposava, ser capaç d'elaborar un projecte útil i alhora viable que es pogués utilitzar en l'àmbit docent per a la realització de futurs assajos amb motors i generadors.

Al mateix temps, i a l'hora de fer el disseny del banc de proves, ha estat imprescindible i professionalment enriquidor haver hagut d'aprendre a utilitzar un programa informàtic de disseny mecànic com és l'*Unigraphics NX6*, programa desconegut fins aleshores.

Un altre aspecte de motivació ha estat establir contacte amb catàlegs de diferents empreses europees amb la possibilitat d'indagar sobre l'oferta dels diferents elements que conformen el banc de proves i ser capaç de discernir entre allò útil des de el punt de vista mecànic i funcional, tenint en compte la relació qualitat-preu dels elements escollits.

2. Introducció

En el present projecte s'ha mostrat, des d'un punt de vista crític, totes les opcions vàlides per dissenyar un banc de proves d'acord amb les expectatives prèviament establertes. Per tal d'aconseguir aquests objectius ha estat necessari seguir un procediment esquematitzat i vehiculant. Així doncs, podem afirmar que cada component que forma part del banc ha passat diversos processos de selecció abans de ser escollit. És per això que aquest és un projecte de recerca d'informació, anàlisi i comparació de components, disseny i finalment validació del conjunt mitjançant càlculs justificatius.

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en el disseny mecànic i funcional d'un banc de proves per a motors i generadors de potència fraccionària. Posteriorment, es donarà pas a la realització d'un altre projecte per tal de construir i automatitzar el banc de proves dissenyat.

Amb aquest disseny es pretén realitzar un banc que permeti analitzar els diferents aspectes dels motors de potència fraccionària, fer comparacions entre motors i permetre als estudiants obtenir les corbes característiques de parell/velocitat de gir dels diversos motors.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte queda definit pels següents punts:

- Elecció i comparació del sistema de frenat.
- Elecció i comparació dels elements de control.
- Elecció i comparació dels elements de transmissió.
- Estudi de les alternatives de disseny i desenvolupament de la solució escollida: Càlculs dels elements mecànics.
- Disseny: Disseny detallat del banc d'assaig i dels diferents elements que el conformen.
- Anàlisi dels processos de fabricació adequats i explicació del muntatge dels elements de disseny.
- Realització del pla de manteniment del banc.
- Valoració de l'impacte ambiental del banc.
- Valoració econòmica del projecte.

No és abast del projecte l'automatització del banc de proves i serà objecte d'un estudi posterior.

3. Estudi de mercat per a l'elecció del sistema de frenat

Per a la realització del nostre banc de proves, s'ha tingut en compte diverses opcions en el sistema de frenat d'aquest, destacant tres possibles solucions a la problemàtica del tipus de fre a escollir, aquestes tres solucions són:

- Utilitzar una màquina de corrent continu que actuï com a fre dinàmic.
- Utilitzar un fre de Foucault.
- Utilitzar un fre de corrents paràsits.

3.1. Fre dinàmic

El frenat dinàmic o reostàtic atén al principi de reversibilitat de les màquines elèctriques, que tant poden treballar com a motor o com a generador. Aquest tipus de frenat s'utilitza invertint el sentit de gir del parell motor, fent que aquest treballi com a generador i aconseguint així una disminució o parada de la velocitat del motor acoblat.

Aquest tipus de frenat consisteix en dissipar l'energia elèctrica que genera el motor al funcionar com a generador sobre una resistència elèctrica. En aquest cas l'energia de frenat és totalment transformada en calor per efecte Joule.

La màquina de corrent continu actua sobre la intensitat aplicada al motor per a poder reduir el parell de frenada.

Per tal que aquest sistema tingui l'efecte correcte, cal desconnectar de la xarxa d'alimentació el motor de corrent continu, quan es desitgi reduir o parar la velocitat del motor acoblat. Quan sigui possible l'autoexcitació del motor de corrent continu es connecta sobre un reòstat de resistència variable, permetent així un control total sobre la velocitat del motor acoblat.

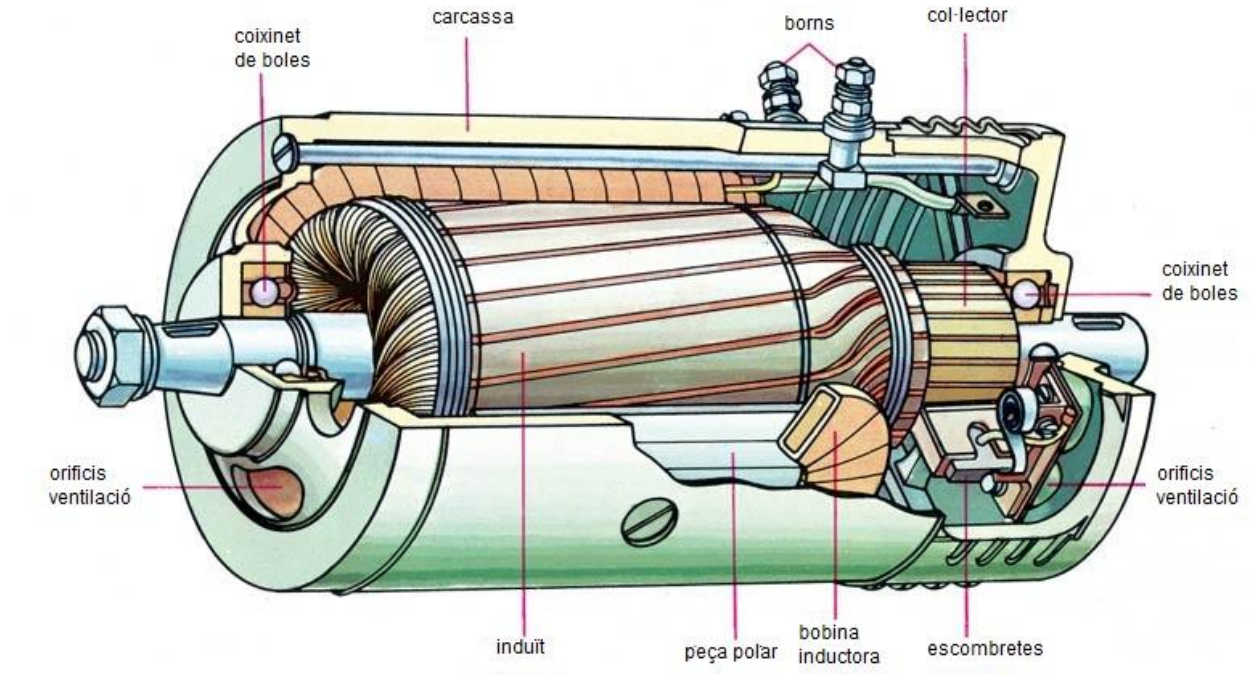

Figura 1 Motor de corrent continu

3.2. Fre de Foucault

El principi de funcionament del fre de Foucault està basat en crear corrents paràsits a través de l'excitació per corrent continu fent evolucionar així el sistema de frenat que li genera la càrrega al motor. Aquest tipus de corrents tan sols es generen si existeix moviment relatiu entre el camp magnètic i la superfícies metàl·lica que s'està desplaçant.

Els corrents de Foucault es produeixen quan una superfície de material conductor es desplaça per l'interior d'un camp magnètic, provocant l'aparició d'uns camps magnètics que poden ser aprofitats tant per frenar com per accelerar un motor.

Aquest tipus de fre permet la transmissió de força sense necessitat de contacte i, per tant, succeeix que el desgast entre el dos components és mínim.

La potència està directament relacionada amb el parell i amb la diferència de velocitats entre camp magnètic i el material conductor. Amb l'aparició d'aquests corrents es controla el parell generat, que varia de forma directa amb la intensitat de camp magnètic. És per això que a més intensitat del camp magnètic, més parell i menys velocitat tenim.

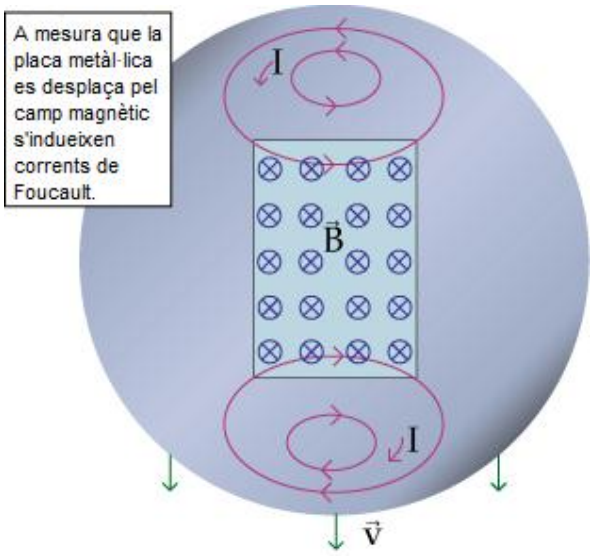

Figura 2 Corrents de Foucault produïts

3.3. Fre d'histèresi

El principi de funcionament del fre d'histèresi es basa en la fricció d'uns imants anulars, situats a la part exterior del fre i excitats permanentment que actuen sobre un disc d'histèresi. Aquest tipus de frenat s'aconsegueix mitjançant una força induïda per un camp magnètic que es crea a partir de la polaritat dels imants amb el disc d'histèresi.

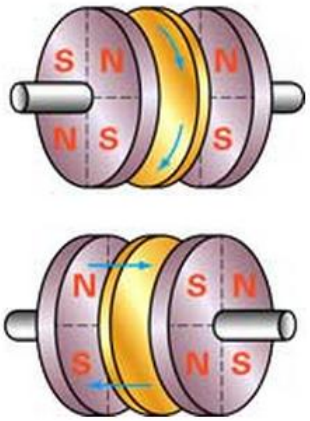

Figura 3 Variació del sistema de frenat mitjançant la superposició dels pols dels imants

Segons la posició dels imants, s'aconsegueix una força de frenat més o menys elevada. Així doncs, si els pols que hi ha entre els imants anulars i el disc d'histèresi són iguals, es crea un camp magnètic que actua sobre el disc d'histèresi. Aquesta acció provoca un flux d'energia en direcció perpendicular dins el disc d'histèresi, provocant una força que confereix un parell de gir màxim. En canvi, si els pols que hi ha entre els imants anulars i el disc d'histèresi no són iguals, apareix un camp magnètic mínim que actua sobre el disc d'histèresi que provoca l'aparició d'una força que passa directament a través del disc, generant un parell de gir mínim.

Amb aquest sistema de frenat, és possible canviar la direcció del parell de gir. Per aconseguir-ho tan sols és necessari canviar l'angle de superposició dels pols respecte el disc d'histèresi, ja que no existeix superfície de contacte entre els imants i el disc d'histèresi. A més, té l'avantatge que l'ajust esdevé per temps il·limitat i, per tant, no es desgasta. Gràcies a que no existeixen superfícies de contacte, aquest tipus de fre proporciona una vida útil de treball molt elevada i un sistema de frenat mol silenciós.

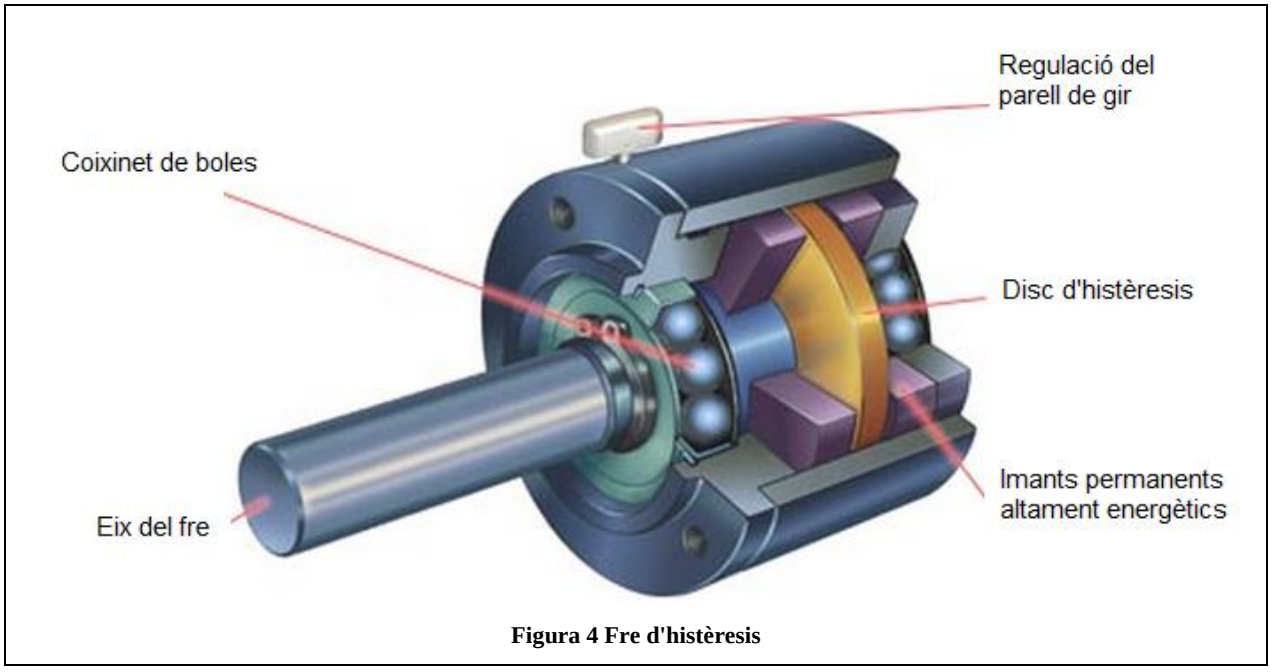

Figura 4 Fre d'histèresis

3.4. Avantatges i inconvenients dels sistemes de frenat

Un cop conegut el principi de funcionament dels diferents sistemes de frenat, s'han de presentar els diferents avantatges i inconvenients que presenten aquests tipus de frens i decidir quin és el més útil per al disseny del banc de proves.

Fre de Foucault	Fre dinàmic	Fre d'histèresis
El calor és transmès per radiació	Per un temps d'utilització elevat, és necessari un sistema d'evacuació de calor.	No hi ha desgast dels elements perquè no existeix fricció entre ells.
Per velocitats molt reduïdes dóna un parell pràcticament inexistent.	Treballa en uns rangs de velocitat més amplis.	Aquest dispositiu proporciona un parell elevat a qualsevol velocitat gràcies a l'absència de fricció.
No és necessari cap element de control per variar el parell.	Regula el parell resistent a través del control del corrent.	És la forma més rentable de controlar el parell i la velocitat.
Poca varietat en el mercat, per a mides reduïdes és necessari construir-lo.	Gran varietat en el mercat.	Gran varietat en el mercat.

Taula 1 Avantatges i inconvenients dels sistemes de frenat

Ateses les diferents avantatges i inconvenients dels diversos sistemes, s'ha decidit utilitzar un motor de corrent continu com a sistema de frenat en el banc de proves a realitzar.

Els motius pels quals s'ha arribat a aquesta conclusió són varis. Descartem el fre de Foucault ja que cal considerar el fet que no existeixen al mercat frens de Foucault de mides tan reduïdes, per tant, és necessari dissenyar-lo i construir-lo. En el cas del fre d'histèresi, tot i que no hi ha desgast d'elements per absència de fricció entre ells, no ens permet treballar d'una manera ràpida i fiable tant en motors com en generadors, segons convingui. L'únic fre que pot desenvolupar el paper de motor i generador és el fre dinàmic. A més, cal tenir en compte que hi ha una gran varietat de frens d'aquest tipus al mercat i, tot i que pot sobreescalfar-

se si s'utilitza llargs períodes de temps, el que es pretén es fer assajos de curta durada, per tant, això no suposa un inconvenient en el nostre cas.

En conclusió, la millor solució és utilitzar un motor de corrent continu com a fre per al disseny del banc de proves.

4. Elements a escollir en el desenvolupament del banc de proves

En aquest apartat s'enumeren els diferents elements que formaran part del propi banc de proves, les seves principals característiques i els diferents tipus de motors que s'incorporaran al banc de proves per a fer-ne els assajos.

4.1. Elecció del motor de corrent continu actuant com a fre dinàmic

Tal i com s'ha decidit anteriorment, s'utilitzarà un motor de corrent continu que actuarà com a fre dinàmic en el banc de proves a dissenyar. Per tal de comprendre com actuarà aquest en el nostre sistema, és interessant conèixer el principi de funcionament d'aquesta classe de motors.

El principi de funcionament del motors elèctrics de corrent continu es basa en la repulsió que exerceixen els pols magnètics d'un imant permanent quan, d'acord amb la llei de Lorentz, interactuen amb els pols magnètics d'un electroimant que es troba situat a l'eix del motor. Aquest electroimant es denomina rotor i el seu eix li permet girar lliurement entre els pols magnètics de l'imant permanent situat dins la carcassa o cos del motor.

Quan el corrent elèctric circula per la bobina d'aquest electroimant giratori, el camp magnètic que es genera interactua amb el camp magnètic de l'imant permanent. Si el pols de l'imant permanent i de l'electroimant giratori coincideixen, es produeix un rebuig i apareix un parell magnètic que provoca que el rotor trenqui la inèrcia i comenci a girar sobre el seu eix. Tanmateix, cal destacar que el sentit de gir del motor varia segons la forma com aquest està connectat a la xarxa de subministrament.

Quan ja s'ha inicialitzat el moviment, entra en funcionament el col·lector. Aquest element permet el canvi constant de polaritat del corrent en la bobina del electroimant, aconseguint que els pols del rotor canviïn constantment. Aquest canvi apareix cada cop que l'electroimant dóna mitja volta i passa per la zona neutra, moment en què els seus pols canvien i s'aconsegueix que es pugui mantenir el rebuig que proporciona l'imant permanent. Això permet que l'electroimant del rotor es mantingui girant constantment durant tot el temps en què el motor està connectat a la xarxa de subministrament elèctric.

Un cop conegut el principi de funcionament dels motors de corrent continu, s'ha realitzat un estudi de mercat per tal de determinar quin tipus de motor, i amb quines característiques, serà el més adient per al correcte funcionament del banc a dissenyar [1.1.3.A, Pàg. A.5]. Aquest estudi ha permès determinar el motor que s'utilitzarà en el banc de proves; aquest és un motor MGpF 80/4/7 del fabricant Acm.

S'ha escollit aquest tipus de motor perquè respon a les diferents necessitats que poden aparèixer a l'hora d'utilitzar un motor de corrent continu actuant com a fre.

Les seves característiques principals són:

Característiques	Valors
Tensió nominal [V]	130
Parell nominal [Nm]	14
Velocitat nominal [rpm]	3000
F.C.E.M (V)	118
Cnt de Parell (Nm/A)	0.36
Inductància (mH)	0.8
Resistència (Ω)	0.22
Cnt de temps elèctrica(ms)	5.5
Cnt de temps mecànica (ms)	12.8
Cnt de temps tèrmica (min)	80
Corrent màxim (A)	149
Potència [kW]	1.2
Corrent nominal [A]	11.5
Rendiment [%]	62,4
Pes [kg]	33
Moment d'inèrcia [kgm^2]	0.0078
Protecció	IP 22

Taula 2 Característiques principals motor de corrent continu

Aquest motor s'utilitzarà com a fre dinàmic per a qualsevol tipus d'assaig que es dugui a terme en el banc de proves a dissenyar en un rang de potències no superior a 1 kW.

No obstant, si el parell nominal del motor a assajar és superior al del motor que actua com a fre, es farà ús d'un reductor planetari per tal d'aconseguir una reducció del parell del motor en qüestió.

4.2. Reductors

Per tal de poder tenir un ventall d'assajos més ampli, és necessari disposar d'un reductor en el banc de proves que permeti fer assajos a motors amb un parell nominal superior al motor que s'ha destinat com a fre dinàmic.

Per a poder conèixer quin serà el tipus de reductor més adient per al nostre banc de proves, és convenient conèixer quins tipus de reductors hi ha en el mercat i quines són les seves principals característiques. Actualment existeixen diverses famílies de reductors en el mercat: reductors d'engranatges, reductors planetaris, reductors de roda i cargol i reductors epicicloïdals. Cadascun d'aquests té les seves característiques i condicions òptimes de funcionament, per tant és interessant conèixer les particularitats de cadascun abans d'escollir quina és la millor opció.

4.2.1. Famílies de reductors

Reductors d'engranatges

El sistema reductor de velocitat més elemental és el d'un pinyó en contacte amb una roda dentada de major diàmetre, en la que la reducció és la relació del nombre de dents pinyó/roda. En general, excepte per als petits aparells, s'ha abandonat bastant els dentats rectes a favor dels dentats helicoïdals, més silenciosos però que provoquen una reacció axial a l'arbre. El dentat angular no presenta aquest inconvenient. Els reductors d'engranatges cilíndrics constitueixen la principal i més corrent de les famílies. Aquests equips habitualment consten d'un a quatre trens o etapes de reducció. El seu rendiment està comprès entre el 96 % (quatre trens) i el 98 % (un tren). Els arbres d'entrada i sortida són paral·lels i a vegades coaxials. Les execucions amb arbre d'entrada de pinyó cònic de dentat recte o inclinat autoritzen transmissions a arbres perpendiculars amb rendiments del mateix ordre.

Els càrters d'aquest aparells són de fosa gris per a potències petites o de fosa GS o acer colat per als aparells de talles superiors. Els paliers són de corrons, cilíndrics o cònics i el greixatge s'efectua, en la majoria dels

casos, per barboteig. Com a complement a aquests productes estàndard, en els aparells d'alta potència existeix ventilació i dispositius d'irreversibilitat.

La ventilació forçada o la refrigeració per serpentina en oli permet la transmissió de potències elevades, que d'una altra forma quedaria limitada per l'escalfament dels aparells. La refrigeració de l'oli pot efectuar-se mitjançant una bomba de circulació (interior o exterior) i un radiador. Els dispositius d'irreversibilitat, com per exemple els fiadors per corrons, són indispensables en alguns casos en que el desequilibri de la càrrega pot provocar, en la parada, retorns cap enrere molestos o perillosos.

Figura 5 Reductor d'engranatges

Reductors planetaris

Els reductors planetaris, que constitueixen una família independent, són una variant particular dels reductors d'engranatges. Un pinyó central, denominat planetari, calat en l'arbre d'entrada, es troba rodejat d'un cert nombre de pinyons satèl·lit (generalment tres) que engranen sobre una corona exterior, interiorment dentada. Aquests satèl·lits seran units a l'arbre de sortida. El dentat sol ser recte.

Avantatges d'aquest sistema respecte l'anterior:

- Menor volum per a relacions de reducció elevades i obtenció de parells més elevats.
- El conjunt està equilibrat.
- Els rodaments no suporten cap mena d'esforç radial
- Els arbres treballen a torsió pura.

Encara que aquests aparells existeixin amb relacions de reducció de 2 o 3, solen emprar-se per a grans relacions de reducció, a les que s'adapten millor. També són possibles combinacions en sèrie per a obtenir petites velocitats de sortida.

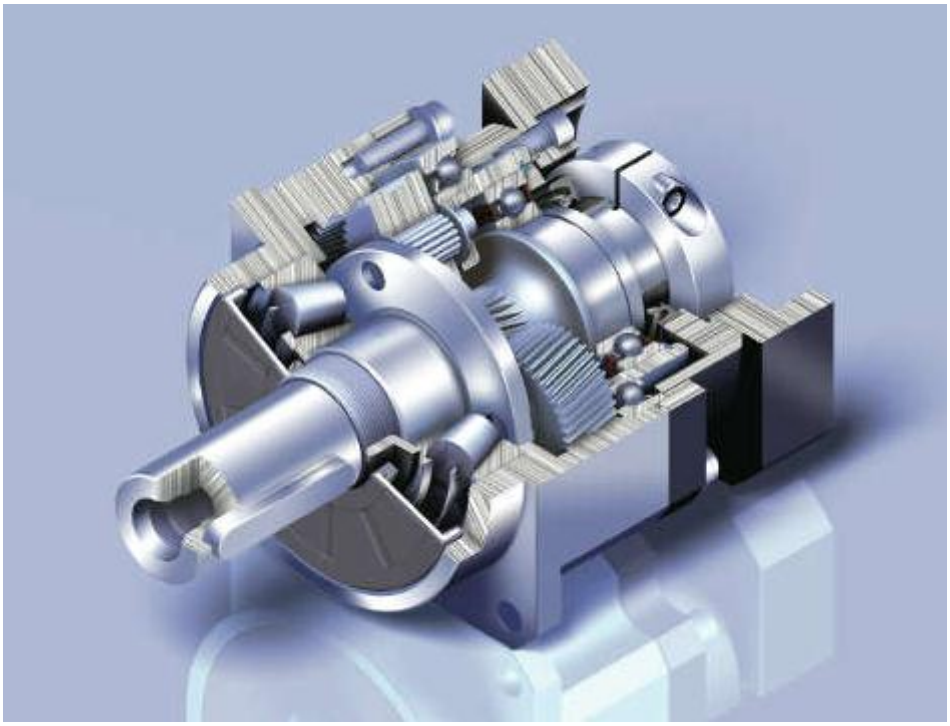

Figura 6 Reductor planetari

Reductors de roda i cargol bisen fi

Els reductors de roda i cargol bisen fi tangents es basen en un principi completament diferent. Un cargol bisen fi d'aliatge d'acer, de flancs rectificats o no, acciona una roda dentada que sol ser de bronze. Com a lubrificant s'utilitza oli o grassa. Per la seva mateixa concepció, aquests reductors són necessàriament d'arbres perpendiculars (menys en casos de doble tren). Molts aparells de petites dimensions posseeixen un càrter d'alumini fos a pressió, mentre que els aparells de major capacitat estan equipats amb càrters de fosa. Les superfícies de contacte entre cargol i roda són majors que en els engranatges tradicionals. És per això que les pressions entre components són menors en comparació a d'altres tipus d'engranatges.

L'avantatge principal dels reductors de roda i cargol bisen fi radica en el seu funcionament silenciós. El fregament entre superfícies en contacte substitueix l'engranatge. L'altra característica essencial, que pot ser tant una avantatge com un inconvenient, és la seva irreversibilitat. En teoria, per a relacions inferiors a 10, aquesta irreversibilitat no està garantida, però per sobre d'una relació de 50 es pot començar a considerar, doncs és

extremadament difícil fer funcionar el reductor a la inversa. No obstant, cal evitar l'utilització del reductor a la inversa sense precaucions complementàries en cas de perill per a la seguretat del personal (per exemple, màquines d'elevació).

Els reductors de roda i cargol bisen fi són robustos i barats. S'utilitzen en aplicacions "dures", en les que es poden oblidar el manteniment: obres públiques, fàbriques de ciment, manutenció, etc. El seu càlcul ha de ser precís, ja que el seu funcionament en sobrecàrrega permanent pot comportar desgasts prematurs del cargol i de la roda.

Aquests equips s'adapten bé a les petites potències, ja que el seu rendiment és netament menor que el dels aparells d'engranatges. Per a potències elevades no són acceptables rendiments del 50 o 75 %, no solament per la pròpia pèrdua de potència, sino també perquè aquesta potència perduda es dissipa en forma de calor. Quan major sigui la potència del aparell, més difícil serà evacuar la calor produïda; d''aquí la limitació de la mida dels reductors de cargol bisen fi.

Figura 7 Reductor de roda i cargol bisen fi

Reductors epicicloïdals

L'última gran família de reductors és la dels reductors epicicloïdals. El seu principi de funcionament és molt menys evident que en els reductors anteriors. Existeixen vàries variants. Una d'elles és que el tren consta d'un arbre D que acciona un satèl·lit A excèntric, i està equipat amb dos dentats B i C. El dentat interior E és fix. La corona F dentada interiorment és receptora. Les velocitats respectives estan relacionades per la fórmula de Willis:

$$R = \frac{(W_s - W)}{(W_e - W)}$$

Essent:

R → relació del conjunt.

W_e → velocitat de la primera roda.

W_s → velocitat de la última roda.

W → velocitat del portasatélit.

En el cas particular que E fos igual a F i B igual a C, la velocitat de l'arbre de sortida G seria nul·la per qualsevol que fos la velocitat d'entrada. En aquest cas, les rodes girarien sobre el dentat interior de les corones anul·lant el seu moviment d'entrada. Són pues les diferències de diàmetre de E, F, B i C les que condicionen la relació de producció. S'obtenen amb facilitat relacions elevades, sent les relacions petites de difícil realització.

Per tal d'obtenir una transmissió silenciosa, els engranatges del dentat exterior, sense acabat especial, han de tenir velocitats perifèriques inferiors a 5 m/s. Això es degut a què quan les velocitats són majors, aquests reductors es fabriquen en talla helicoïdal, amb acabats de superfície que poden arribar fins a la rectificació. El rendiment, generalment bo, disminueix quan la relació de reducció augmenta.

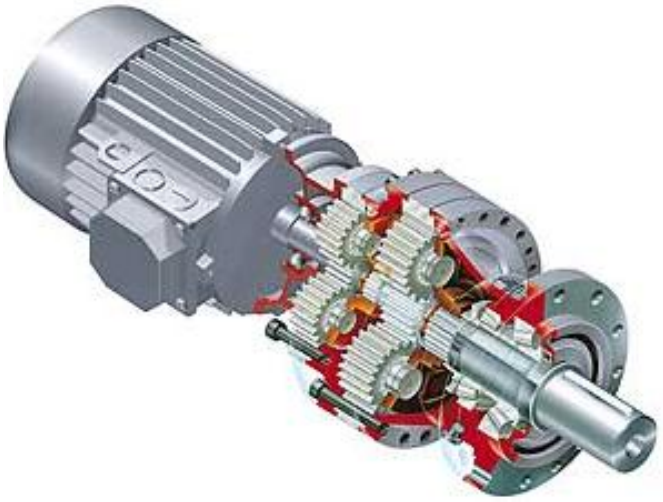

Figura 8 Reductor epicicloïdals

4.2.2. Elecció del Reductor

Per tal d'aconseguir un ampli ventall de possibilitats, s'ha realitzat un estudi de mercat per escollir el reductor que formarà part del banc de proves [1.2.A, Pàg. A.6]. S'escull un reductor planetari AD047 del fabricant Tecnopower.

S'ha escollit aquest tipus de reductor perquè es caracteritzen per tenir unes dimensions més reduïdes que les altres opcions. S'aconsegueix aquestes reduïdes dimensions gràcies a la disposició del pinyó central, denominat planetari, que es troba calçat sobre l'arbre d'entrada, mentre uns satèl·lits, units al arbre de sortida, giren al seu voltant recolzant-se en el dentat interior de la corona annexa. La potència a transmetre es reparteix entre varis pinyons (normalment tres o sis), amb el que es redueix considerablement els esforços dinàmics en els dentats, el nivell sonor i les velocitats perifèriques. A més, aquests reductors són adequats per a la transmissió de parells elevats i els seus eixos estan disposats concèntricament, el qual és necessari per a la tasca que ha estat escollit. Aquesta mena de reductors es caracteritzen per tenir una corona inserida en un càrter de fosa GS, amb el què s'aconsegueix un conjunt molt compacte sense cargols interiors. Tots els engranatges són cimentats, templets, i la lubrificació s'efectua per barboteig. El rodament inferior del pinyó de sortida es troba aïllat del mecanisme mitjançant una doble junta, la qual elimina l'acumulació de partícules a nivell d'aquest rodament, augmentant la longevitat. Val a dir que aquesta classe de reductors emprenen el principi de reducció planetària aconseguint una triple funció: d'embragatge, de reductor i d'inversor.

Les seves característiques principals són:

Característiques	Valors
Reducció	1:100
Parell nominal de sortida [Nm]	14
Parell màxim de sortida [Nm]	42
Velocitat nominal d'entrada [rpm]	5000
Velocitat màxima d'entrada [Nm]	10000
Rendiment [%]	94
Pes [kg]	1
Moment d'inèrcia [kg·cm^2]	0.03
Nombre de etapes	2

Taula 3 Característiques principals del reductor planetari

4.3. Elecció dels rodaments

Un rodament és un element mecànic que produeix la fricció entre un eix i les peces connectades a aquest, que serveix de recolzament i facilita el seu desplaçament.

D'acord amb el tipus de contacte que existeix entre les peces, el rodament pot ser desplaçant o lineal i rotatiu. L'element rotatiu que pot emprar-se en la fabricació dels rodaments pot ser variat; existeixen rodaments de boles, rodets o agulles. Els rodaments de moviments rotatius, segons el sentit d'esforç que suporten, poden ser axials, radials o axials-radials.

Figura 9 Rodaments

Un rodament radial és aquell que suporta esforços radials, que són esforços de direcció normal a la direcció que passa pel centre dels seu eix, com per exemple una roda. Un rodament és axial si suporta esforços en la direcció del seu eix i axial-radial si pot suportar-los els dos, de forma alternativa o combinada.

Existeixen diversos tipus de rodaments que mostren propietats característiques, que depenen del seu disseny i que els fan més o menys apropiats per una aplicació donada.

Així doncs, és necessari escollir la millor opció per al disseny del nostre bancs de proves tenint en compte diversos factors [1.5.A, Pàg. A.14]. Mitjançant càlculs, es fa la selecció del rodament que formarà part del nostre banc de proves. Finalment, s'ha decidit utilitzar un rodament rígid de boles perquè estàticament aguanta esforços elevats i les dimensions no perjudiquen el disseny del banc de proves.

El rodament utilitzat pertany a la gama POP del fabricant NKE. Aquest tipus de rodaments amb una filera de boles, ofereix nombroses avantatges tècniques, tals com menor soroll de funcionament, un lubricant amb una vida útil més elevada i un menor parell d'arrancada.

A continuació es presenta un taula amb les característiques principals del rodament POP 6212.

Característiques rodament	Valors
Diàmetre exterior [mm]	40
Diàmetre interior [mm]	20
Característiques lubricant	**Valors**
Temperatura de funcionament [ºC]	de -50 a +150
Viscositat cinemàtica [mm^2/s]	26
Coeficient de penetració [1/10mm]	250
Punt de goteig [ºC]	190
Espessant	Liti
Oli de base	Polièster + dièster i additius

Tabla 4 Característiques principals dels rodaments

4.4. Elecció dels elements de transmissió

En aquest apartat, s'escullen els elements que s'utilitzaran en la transmissió mecànica del nostre banc de proves. Primerament, cal definir els diferents elements que existeixen en el mercat i escollir els elements que seran més útils per al nostre banc.

Existeixen diferents elements flexibles de transmissió mecànica:

- Corretges
- Cadenes
- Acoblaments en eixos

Per a la transmissió del banc d'assaig, cal escollir quins elements són els més adients per a la transmissió mecànica d'aquest. Tot seguit, es presenta una taula d'avantatges i inconvenients dels elements esmentats anteriorment.

	Avantatges	Inconvenients
Corretja	- Funcionament silenciós - Capacitat d'absorció de xocs - Econòmic per grans distàncies - Facilitat per canviar la relació de transmissió	- Sobrecàrrega dels eixos degut a la tensió inicial - Possible patinada - Control de tensat - Desgast per factors ambientals
Cadena	- Més capacitat de transmissió - Menys desgast per factors ambientals - No requereix tensat	- Més pes - Transmissió sorollosa - Velocitat màxima inferior a la de les corretges i acoblaments - Necessitat de muntatge i manteniment més precís - Cost més elevat - Lleugera oscil·lació de la velocitat durant el funcionament
Acoblament en eixos	- Funcionament silenciós - Capacitat d'absorció de xocs - Menys desgast per factors ambientals - No requereix tensat - Més capacitat de transmissió	- Cost elevat - Necessitat de muntatge i manteniment més precís

Taula 5 Avantatges i inconvenients del sistema de transmissió

Un cop analitzats els avantatges i inconvenients dels diversos sistemes de transmissió existents en el mercat, s'ha decidit utilitzar la transmissió per acoblament en eixos pel seu nombre elevat d'avantatges respecte als

altres sistemes. Aquestes són les de funcionar de manera silenciosa, capacitat d'absorció de xocs, menys desgast per factors ambientals, el fet de no requerir tensat i més capacitació de transmissió.

4.5. Elecció dels acoblaments mecànics

Els acoblaments mecànics són dispositius que tenen com a funció prolongar les línies de transmissió dels eixos o connectar diferents trams d'eixos, que estiguin alineats o no entre sí. Per dur a terme aquestes funcions, es disposa en el mercat de diferents tipus d'acoblaments mecànics.

Existeixen tres grans famílies d'acoblaments: els acoblaments rígids, els flexibles i els especials o articulats. Cada una d'aquestes grans famílies, conté diversos tipus d'acoblaments que s'utilitzen per finalitats diferents.

Així doncs, cada un dels dispositius d'acoblament mecànic, posseeix característiques importants que el fan més apte per a la realització d'una funció o altra. És lògic, doncs, que per escollir adequadament un tipus específic d'acoblament, primer cal determinar quin servei ha de realitzar i sota quines condicions treballarà.

Primer de tot, cal raonar quines condicions generals ha de tenir el nostre acoblament per tal que el banc de proves a dissenyar no pateixi sobreesforços innecessàriament. Com que el banc de proves estarà sotmès a diversos canvis de motors, i a diverses velocitats, es pot suposar que es necessita un acoblament que sigui capaç d'absorbir impactes freqüentment sense repercutir en l'eix mecànic. A més, cal determinar s'hi hi pot haver alguna desalineació tolerada entre els eixos i els acoblaments mecànics a escollir.

La millor opció per al nostre banc de proves és utilitzar un acoblament que sigui flexible. Aquest tipus d'acoblaments consisteixen en dos masses idèntiques que s'uneixen entre elles per mitjà d'un elastòmer o algun tipus de metall tou. Aquest tipus d'acoblament és ideal per al bon funcionament del nostre banc ja que és capaç d'absorbir una quantitat elevada de xocs gràcies al petit desplaçament que permet el ressort elàstic. A més a més, permet diversos tipus de desalineació però de manera reduïda, aconseguint així que els eixos no pateixin esforços ni axials, ni angulars, ni torsions, ni paral·lels.

En la taula següent s'enumeren les característiques principals dels acoblaments mecànics escollits, aquests són els Soinflex-F del fabricant Sociedad Industrial de Transmissiones S.A.

Característiques	Valors
Parell nominal [Nm]	800
Velocitat màxima [rpm]	12.000
Tamany cargol [mm]	3
Parell d'aplicació al cargol [Nm]	2,5
Tamany [mm]	40
Moment d'inèrcia [kg·m2]	0,00002
Rigidesa a la torsió [Nm/rad]	$0.014 \cdot 10^4$
Desalineació radial [mm]	0
Desalineació axial [mm]	0.4
Desalineació angular [º]	1

Taula 6 Característiques principals de l'acoblament mecànic

Com s'ha comentat anteriorment s'ha escollit aquest tipus d'acoblaments per què tenen unes característiques ideals per a la funció que han de desenvolupar en el nostre banc de proves. Gràcies a la seva làmina elàstica, s'aconsegueix una elevada reducció de xocs en el conjunt que fa que augmenti la vida útil de tots els elements del banc de proves.

A continuació, es mostra una imatge de l'acoblament elàstic que ajuda a comprendre la funcionalitat d'aquest.

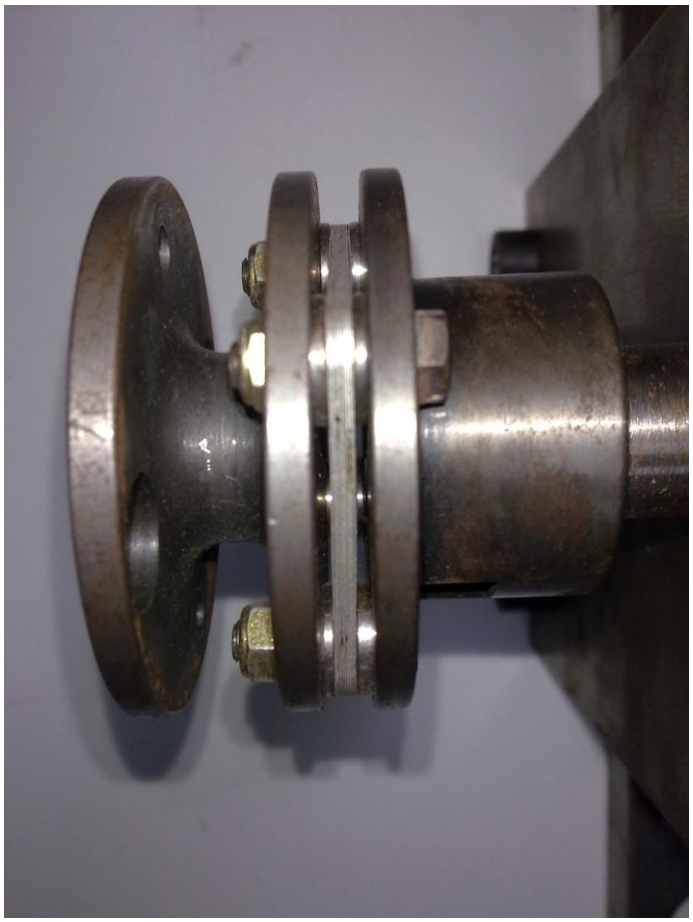

Figura 10 Acoblament elàstic

5. Elements a escollir per a la mesura i control del banc de proves

En aquest apartat es pretén donar a conèixer els diferents elements que s'utilitzaran en la mesura i control del banc de proves. Cadascun d'aquest elements ha estat escollit mitjançant un estudi de mercat tenint en compte les diverses prestacions de cada element i escollint quin d'ells és el més útil per al disseny i posterior muntatge del banc de proves que es pretén realitzar.

5.1. Anàlisi de la velocitat

Per tal de conèixer en tot moment la velocitat a la qual gira el motor es farà ús d'un encòder. L'encòder és un transductor rotatiu que transforma un moviment angular en una sèrie d'impulsos digitals. Aquests impulsos generadors, tant poden ser utilitzats per controlar els desplaçaments de tipus angular com de tipus lineal. Existeixen diferents tipus d'encòders amb característiques similars però amb prestacions diferents.

5.1.1. Tipus d'encòders

Encòder incremental

El principi de funcionament dels encòders incrementals es basa en la detecció de moviment angular en base al principi d'exploració fotoelèctrica. El sistema de lectura es basa en la rotació d'un disc graduat amb un reticulat radial format per línies opaques, alternades amb espais transparents. Aquest conjunt està il·luminat de forma perpendicular per una font de raigs infrarojos. El disc projecta d'aquesta forma la seva imatge sobre la superfície de varis receptors oportunament emmascarats per un altre reticulat que té el mateix pas que l'anterior, anomenat col·limador. Els receptors tenen la tasca de detectar les variacions de llum que es produeixen amb el desplaçament del disc, convertint-les en les corresponents variacions elèctriques.

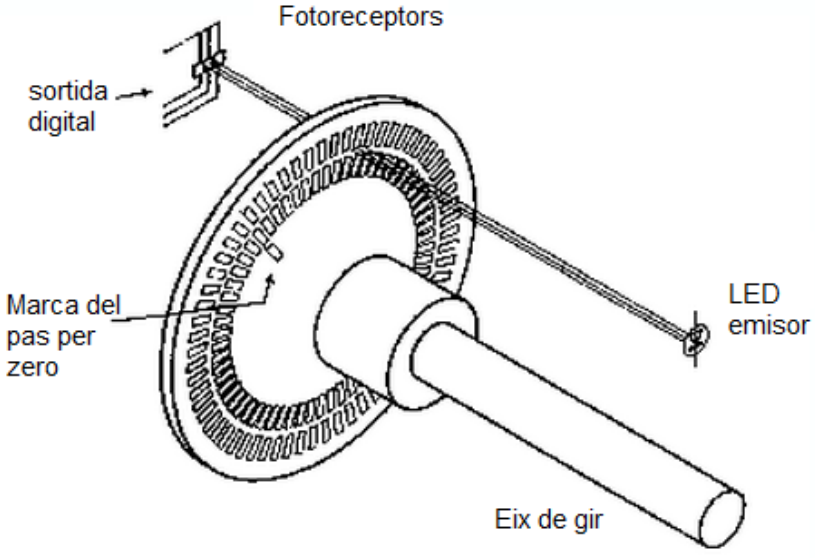

Figura 11 Esquema d'un encòder incremental

Per tal de generar impulsos correctament escairats i sense interferències, la senyal elèctrica detectada ha de ser processada electrònicament. Per tal d'incrementar la qualitat i estabilitat de les senyals, el sistema de lectura s'efectua generalment de manera diferencial, comparant dues senyals pràcticament idèntiques, però desfasades entre si 180º elèctrics. La lectura s'efectua en base a la diferència de les dues senyals, eliminant d'aquesta manera les interferències definides com "de forma comuna" perquè estan superposades d'igual forma en tota forma d'ona.

L'encòder incremental proporciona normalment dos formes d'ona quadrades i desfasades entre si en 90º elèctrics, els quals, en general, són el "canal A" i "canal B". Amb la lectura d'un sol canal es disposa de la informació corresponent a la velocitat de rotació, mentre que si es capta també la senyal de l'altre canal, és possible discriminar el sentit de rotació en base a la seqüència de dades que produeixen ambdues senyals. A més a més, també existeix un altre canal o zero, que proporciona la posició absoluta del zero de l'eix de l'encòder.

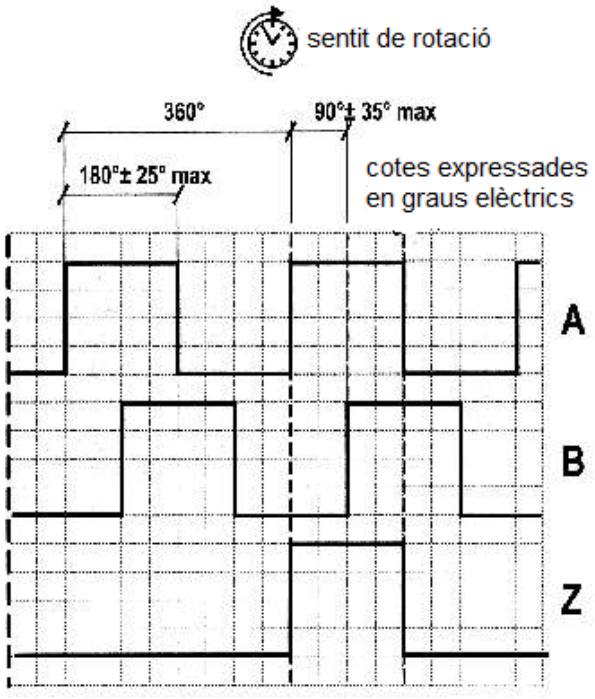

Figura 12 Forma d'ona d'un encòder incremental

Encòder absolut

El principi de funcionament d'un encòder absolut és molt similar al d'un encòder incremental en el que un disc que gira, amb zones transparents i opaques, interromp un feix de llum captat per fotoreceptors. Posteriorment, aquests fotoreceptors transformen els impulsos lluminosos en impulsos elèctrics els quals són tractats i transmesos per l'electrònica de sortida.

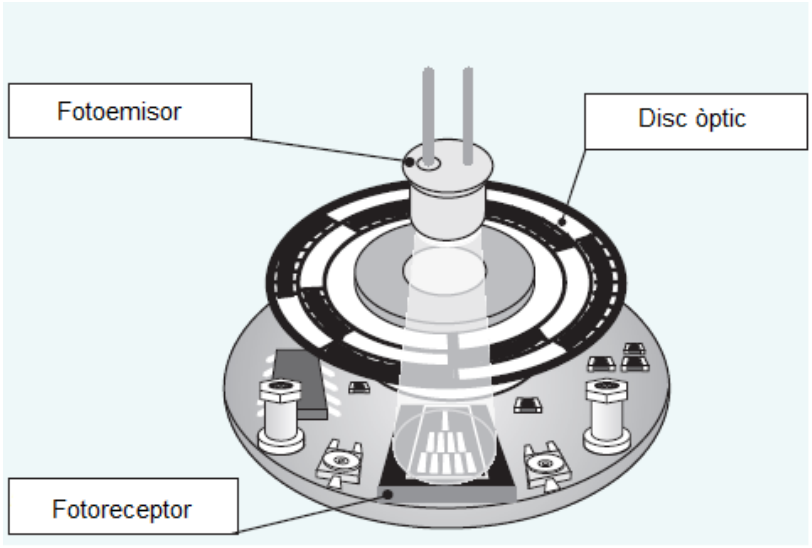

Figura 13 Encòder absolut

Respecte als encòders incrementals, els absoluts mostren importants diferències des del punt de vista funcional. Mentre que en els encòders incrementals la posició està determinada pel còmput del nombre d'impulsos respecte la marca del zero, en els encòders absoluts la posició queda determinada mitjançant la lectura del codi de sortida, el qual és únic per cada una de les posicions de dins la volta. En conseqüència, els encòders absoluts no perden la posició real quan es talla el subministrament d'energia (fins i tot en el cas de desplaçaments), fins a una nova encesa (gràcies a una codificació directa en el disc). La posició s'actualitza i queda disponible sense haver efectuar, com en el cas dels encòders incrementals, la cerca del punt del zero.

En els encòders absoluts hi ha dues maneres per determinar el codi de sortida per a definir la posició absoluta. L'elecció més òbvia és el del codi binari, perquè fàcilment pot ser manipulat pels dispositius de control extern per a la lectura de la posició, sense haver d'efectuar particulars operacions de conversió. En vista que el codi es pren directament des del disc (que es troba en rotació) la sincronització i la captació de la posició en el moment de la variació entre un codi i l'altre es torna molt problemàtica. És per això que s'utilitza una variant del codi binari. Aquest és el codi de Gray, el qual té la particularitat que al passar entre dos codis consecutius (o des de l'últim fins al primer), tan sols un canvia el seu estat.

5.1.2. Elecció de l'encòder

Un cop conegut el principi de funcionament dels encòders més comuns en el mercat, s'ha decidit utilitzar un encòder incremental per dur a terme les anàlisis de la velocitat dels motors o generadors a assajar. S'ha deci-

dit aquesta opció ja que el preu entre un tipus d'encòder i l'altre varia significativament. Així doncs, s'ha realitzat un estudi de mercat de diversos encòders incrementals del fabricant Eltra [1.3.1.A, Pàg A.11]. S'ha arribat a la conclusió que la millor solució és l'encòder EL30E, ja que aquest té unes dimensions exteriors mínimes en comparació a d'altres encòders del mateix fabricant, mantenint unes prestacions òptimes de funcionament. Gràcies a la mida reduïda de l'encòder, s'aconsegueix una millora en el dimensionat del propi banc, aconseguint una major mobilitat d'aquest, fent que sigui un banc pràctic per traslladar-lo i a alhora útil per a realitzar qualsevol tipus d'assaig en motors dins del rang de potències a estudiar.

Les seves característiques principals són:

Característiques	Valors
Resolució	d'1 a 1000 impulsos per rev.
Tensió d'alimentació	5 Vdc
Màxim corrent commutable	50 mA per canal
Màxima freqüència d'ús	100 kHz
Diàmetre de l'eix	20 mm
Velocitat màxima	3000 rpm

Taula 7 Característiques principals de l'encòder incremental

5.2. Control del corrent

El control del corrent en el motor que actua com a fre dinàmic és una de les parts fonamentals per al bon funcionament del nostre banc de proves. Així doncs, aquest apartat pren una importància significativa en el desenvolupament del projecte, ja que és necessari la implementació de l'electrònica de potència per tal de controlar la direcció del corrent per poder aconseguir un bon funcionament de l'aparell tant treballant com a motor o com a generador.

Per tal d'aconseguir que el motor de corrent continu, que actua com a fre dinàmic, pugui treballar tant com a motor o com a generador, és necessari utilitzar un trossejador reversible en corrent que treballi en dos qua-

drants. En aquest tipus de trossejador, el corrent de càrrega tant pot ser positiu com negatiu, però el voltatge de càrrega sempre és positiu. Aquest trossejador també és conegut com a polsador de dos quadrants.

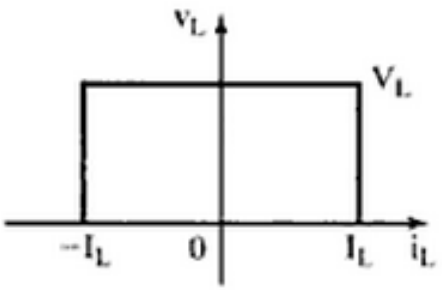

Figura 14 Quadrants de funcionament d'un trossejador reversible

El trossejador reversible combina dos díodes i dos IGBT's que actuen dos a dos, com si fossin dos trossejadors independents. Aquest tipus de trossejadors és útil ja que s'aconsegueix invertir el sentit del corrent de càrrega i per tant es modifica el comportament de l'aparell de corrent continu, aconseguint que aquest treballi com a motor o com a generador segons el sentit del corrent.

Quan actuen els dos interruptors sòlids S1 i D4, el trossejador reversible actua tan sols en el primer quadrant, on la tensió i el corrent són positius. Quan això succeeix, l'aparell de corrent continu actua com a motor.

En canvi, quan actuen els dos interruptors sòlids S4 i D1, el trossejador reversible actua en el segon quadrant, on la tensió és positiva però el corrent és negatiu. Aleshores succeeix que l'aparell de corrent continu actua com a generador.

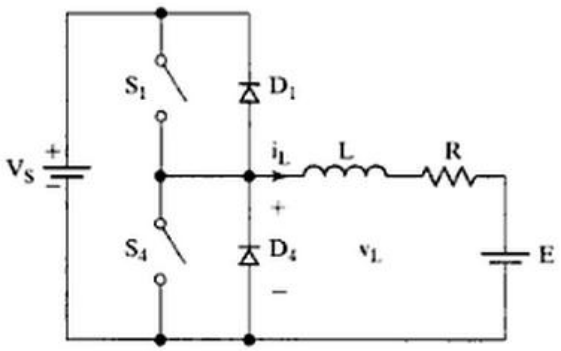

Figura 15 Esquema trossejador reversible

5.3. Anàlisi del parell

Per poder analitzar el parell dels diferents motors a assajar, és necessari determinar quina mena d'aparells hi ha en el mercat i quins són els que ens poden ser útils. Actualment, l'element més emprat per a l'anàlisi del parell motor és l'anomenat transductor de parell. Per tal d'escollir la millor opció per al disseny del nostre banc, cal realitzar un petit estudi de mercat per prendre consciència de quins transductors existeixen actualment al mercat i quines són les seves principals característiques.

5.3.1. Transductor de parell

Primer de tot cal saber que un transductor és un dispositiu destinat a transformar una magnitud física en una altra magnitud física, generalment elèctrica o pneumàtica, que s'utilitza per a una transmissió, una regulació, un enregistrament, etc. La relació entre la magnitud de sortida i la d'entrada depèn del tipus de transductor. És molt corrent la relació proporcional, però també hi ha transductors en què la sortida pot ser proporcional a la derivada o a la integral de l'entrada.

Existeixen diferents transductors de parell disponibles en el mercat: transductors estàtics, dinàmics, digitals i mesuradors de parell sobre l'eix. Dins la diferent gamma de productes, tan sols ens interessen aquells que realitzin les mesures en moviment.

Transductor giratori amb anell col·lector

Aquest tipus de transductors s'utilitzen tan per mesurar esforços de torsió estàtics com dinàmics, velocitat de rotació i angles de torsió. Està constituït per un parell d'anells amb sensors de rotació que es col·loquen concèntricament amb l'eix del motor. Aquests sensors es caracteritzen per estar equipats amb anells col·lectors que s'utilitzen per a la transmissió de tensió creada per la senyal de mesura. El contacte entre el sensor i l'anell dóna una funció que es genera gràcies a les diferents possibilitat de connexió que té l'eix de torsió amb els anells de contacte. Per a la transmissió de senyal, s'utilitza el contacte entre el pont de la SG i un anell col·lector rotatiu alimentat per un transformador, que consisteix en quatre anells lliscants acoblats a l'eix i quatre raspalls fixats en l'estator. El pont que s'encarrega de calibrar la tensió del transductor s'endolla directament i alimenta al sensor d'anell lliscant, que està acoblat a l'eix, i s'aconsegueix una transmissió de senyal a través de les lectures fetes pel contacte entre anell i delga.

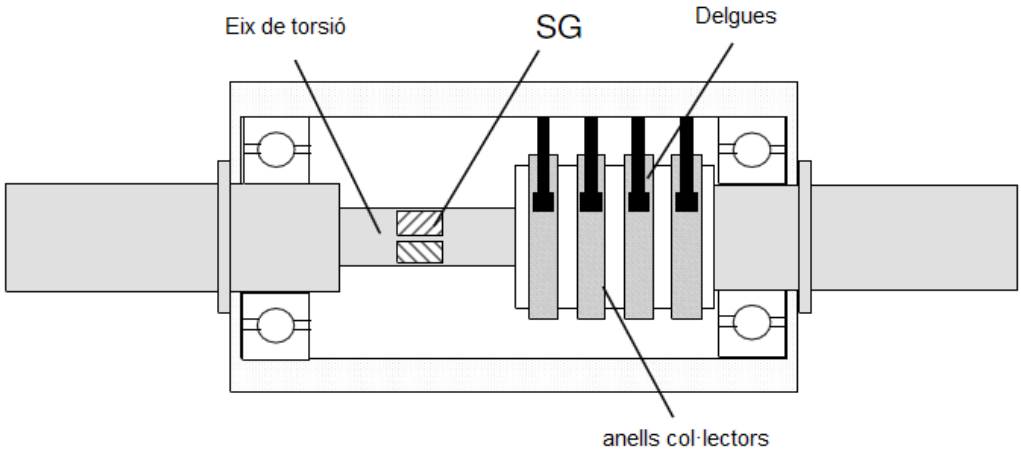

Figura 16 Esquema transductor amb anell col•lector

Transductor giratori sense contacte

Aquest tipus de transductors s'utilitzen tant per mesurar esforços de torsió estàtics com dinàmics. Són sensors que es col·loquen horitzontalment, alineats amb l'eix motor ja que el seu funcionament està basat en un eix de torsió amb els extrems lliures que, mitjançant dues ranures metàl·liques alimentades amb tensió, es trasllada al interior d'un rodament de boles. Per a la transmissió de senyal, i pel subministrament de la galga de pont, s'utilitza un transformador de rotació, que alimenta el sensor. Per al subministrament i anàlisi de la senyal rebuda pel sensor, l'electrònica s'integra en l'estator i el rotor. L'electrònica integrada en el sensor consta de dues parts. La primera part es troba en l'estator, i s'encarrega de l'estabilització del subministra-

ment d'energia de l'electrònica que està integrada al rotor del transformador. Dóna senyal de la lectura feta del rotor al cable de transmissió. La segona part de l'electrònica que forma part del transductor, es troba en el rotor del sensor de parell; aquesta té la funció del subministrament de la SG de les galgues que fan de pont i estan alimentades a tensió contínua. Es genera la senyal del parell que ha estat mesurada elèctricament a través de la transmissió mecànica.

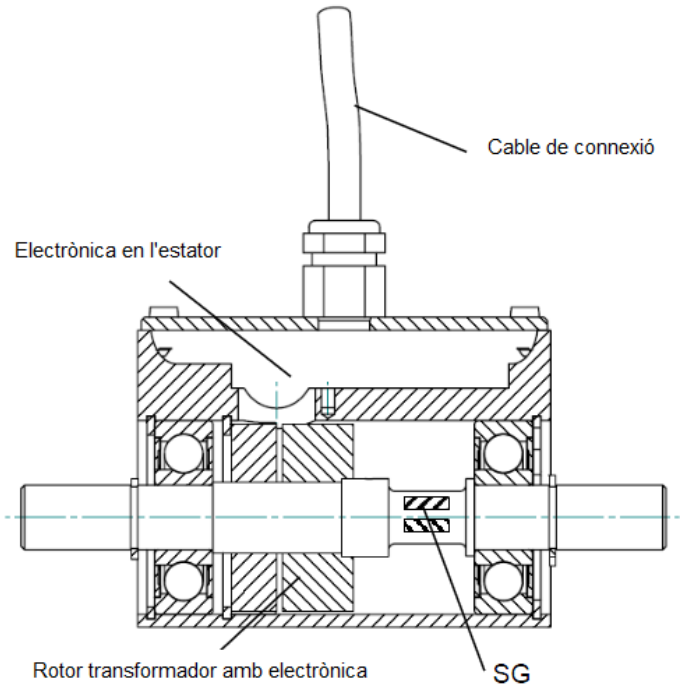

Figura 17 Esquema transductor de parell giratori sense contacte

5.3.2. Elecció del transductor

Per a l'elecció del transductor de parell que formarà part del banc de proves, s'ha realitzat un estudi de mercat, tenint en compte les característiques principals dels motor a assajar [1.4.1.A, Pàg A.11]. En aquest apartat, s'analitza les principals característiques del transductor DR-2477 del fabricant Lorenz-Messtechnik.

Característiques	Valors
Parell nominal [Nm]	15
Velocitat nominal [rpm]	8000
Rigidesa a la torsió [N·m/rad]	$8.9 \cdot 10^{2}$
Moment d'inèrcia canto de prova [k·g·m2]	$1.1 \cdot 10^{-8}$
Moment d'inèrcia canto de pas [k·g·m2]	$1.7 \cdot 10^{-8}$
Força de torsió [N]	50

Taula 8 Característiques principals dels transductors de parell

Un cop comparats els diversos transductors, s'ha arribat a la conclusió que per al disseny del nostre banc de proves, la millor opció és el transductor giratori sense contacte DR-2477. S'ha arribat a aquesta conclusió principalment perquè pot assolir velocitats de lectura elevades, que s'ajusten al valor límit a assajar en el nostre banc. A més a més, al no haver-hi contacte entre parts, té un temps de vida útil més elevat.

6. Disseny del banc de proves

En el següent apartat, es realitza el disseny del banc de proves i tots els seus elements constitutius. Cadascun d'aquests elements ha estat dissenyat amb el programa informàtic *Unigraphics NX6.*

Tot seguit es presenta un esquema simplificat dels diferents elements que formen part del banc de proves amb la condició de poder conèixer el seu funcionament, i la distribució que aquests tindran en el banc a dissenyar.

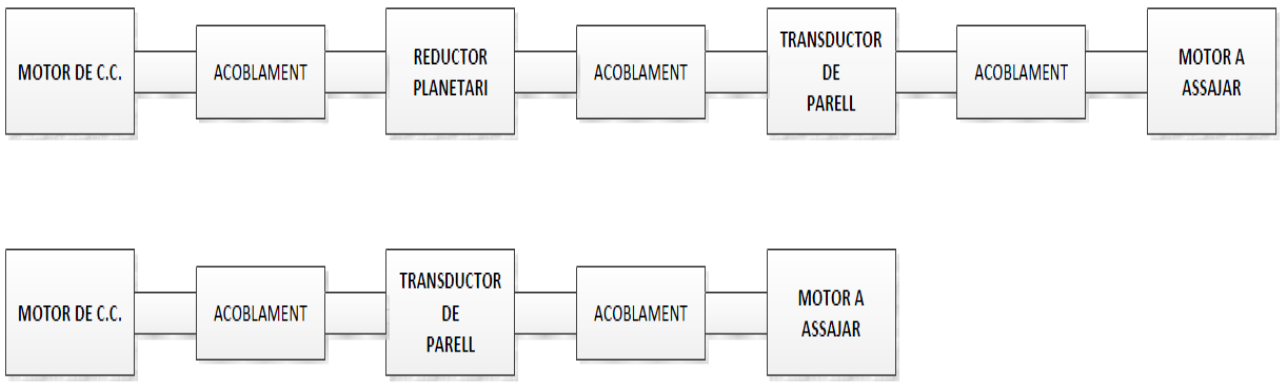

Figura 18 Esquema del banc de proves

6.1. Disseny dels elements constitutius del banc de proves

En l'apartat anterior, s'han escollit els elements de transmissió del banc de proves i tot seguit veurem el disseny tindran aquests en el projecte, quins problemes principals podem trobar i com s'han intentat solucionar.

Els principals problemes que s'han intentat resoldre en el disseny definitiu del nostre banc de proves són:

- Col·linealitat dels eixos.
- Alineació entre els elements de la bancada.
- Grau de dificultat en la seva construcció.
- Muntatge i desmuntatge senzill.
- Possibilitat de mobilitat i desplaçament del banc de proves.

A continuació es mostra la disposició definitiva del banc de proves i tots el seus elements constitutius.

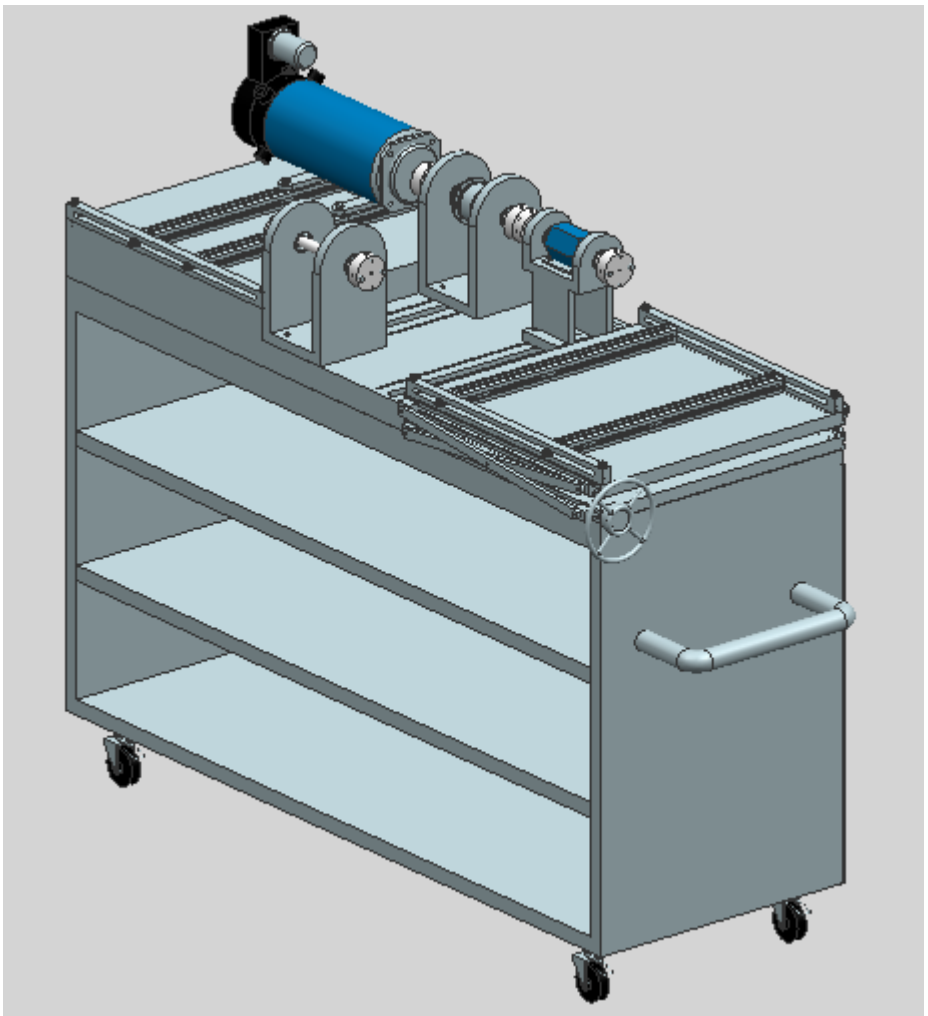

Figura 19 Disposició definitiva del banc de proves dissenyat

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, el banc de proves disposa de dos possibles posicions. L'una és la posició A (disposició actual de la figura), que consisteix en l'assaig de dos motors a través del reductor planetari i del transductor de parell. L'altra és la disposició B, que consisteix en l'assaig del motors sense fer ús del reductor, de manera que tan sols s'utilitza l'eix amb els acoblaments i el reductor planetari.

En la taula següent, es mostren tots els elements mecànics que conformen el banc de proves dissenyat. S'especifica la quantitat que es necessita de cadascun d'ells conjuntament amb les seves dimensions aproximades.

Denominació	Unitats	Dimensions
Bancada banc de proves	1	Irregular
Plataforma motor d'assaig	1	550x550x25 mm
Barres elevadores	4	500x25x10 mm
Patins móbils	4	Irregular
Patins fixes	4	Irregular
Cilindres d'unió patins	2	D6x490 mm
Volant	1	Irregular
Cargol volant	1	M8x530 mm
Guia motor mòbil	4	30x510x30 mm
Cub de fixació guia	8	20x30x20 mm
Guia plataforma banc	4	550x20x30 mm
Plataforma transductor	1	100x100x120 mm
Placa fixació plataforma transductor	1	100x130x20 mm
Plataforma reductor i eix	2	160x150x250 mm
Placa fixació plataforma reductor o eix	2	100x130x20 mm
Guia plataforma subjecció d'elements	3	20x100x30 mm
Eix de transmissió	3	D20x340 mm
Carretó banc de proves	1	1500x550x800 mm
Prestatges carretó	2	1440x550x30 mm

Guia prestatges	4	10x550x30 mm
Ansa carretó	1	Irregular
Roda carretó	4	D70x20 mm
Bancada roda	4	Irregular
Element d'unió carretó-roda	4	Irregular
Rosca subjecció roda	4	M6x50 mm
Cargol métrica 10 mm	8	30 mm
Arandelamétrica 10 mm	24	-
Femella métrica 10 mm	24	-
Cargol métrica 8 mm	8	30 mm
Arandelamétrica 8 mm	8	-
Cargol métrica 6 mm	6	30 mm
Arandelamétrica 6 mm	14	-
Femella métrica 6 mm	8	-

Taula 9 Elements constitutius del banc de proves

6.2. Elements constitutius del banc de proves

En aquest apartar s'especifiquen els diferents elements que constitueixen el banc de proves. Posteriorment s'analitzarà cada component per separat per tal de conèixer les seves característiques.

6.2.1. Bancada banc de proves

- **Unitats: 1**

- **Material**

Per a la fabricació d'aquesta bancada s'utilitzarà un aliatge d'alumini: AlZn6MgCu (L 3710 segons UNE, 7075 segons AA). Aquest material forma part del grup d'aliatges d'alumini bonificats i més concretament dins del grup Al-Zn.

S'ha decidit utilitzar aquest tipus d'aliatge ja que la bancada consta de forats roscats. Per a la posterior unió amb altres elements, i gràcies a aquest material, es pretén aconseguir una elevada resistència mecànica. Malgrat aquesta característica imprescindible, aquest aliatge presenta una menor resistència a l'hora de soldar i també a la corrosió.

- **Descripció de l'element**

El disseny d'aquest element està bastat en la geometria general del banc de proves i és l'element que actua de bancada en el nostre conjunt.

Existeixen tres parts diferenciades en la bancada. Si s'observa la imatge següent la part A està dissenyada per subjectar el motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic. La part central (part B), és l'encarregada de contenir els elements que actuen de suport mòbil dels elements de transmissió mecànica (reductor, eix de transmissió i transductor de parell). Aquesta part central conté unes guies que serveixen per desplaçar els elements esmentats anteriorment de forma horitzontal, amb la finalitat d'adaptar els elements a les dimensions del motor a assajar. Finalment, la part C és l'encarregada de subjectar la plataforma mòbil on se situa el motor a assajar. Aquesta zona conté una guia horitzontal que contindrà al seu interior un patí a banda i banda que permetrà el desplaçament vertical de la plataforma on se subjectarà el motor d'assaig.

- **Dimensions de l'element**

La bancada del banc de proves, tal i com hem comentat anteriorment, esta diferenciat per tres parts. El conjunt en total, té unes dimensions de 1500 mm de llarg i 550 mm d'ample. Tot i així, cada una de les parts té una altura diferent conforme amb la activitat que ha de realitzar. La part A, té unes dimensions de 550x550x110 mm, aquesta part, té una altura més elevada necessària per dotar al banc de massa suficient per que no apareguin irregularitats i esforços innecessaris que facin que el banc sigui inviable de construir. La part B, té unes dimensions de 400x550x50 mm, les mides anteriors corresponen a les mides exteriors de la plataforma. A més a més existeix un rebaix en la part central de la part B de dimensions 400x490x30 mm. Aquest rebaix és necessari ja que els elements mòbils que s'han de desplaçar per les guies de la part B, necessiten estar subjectats mitjançant cargols amb una placa metàl·lica, la finalitat d'aquesta, és la de subjectar

a la posició desitjada la plataforma i aconseguir que aquesta no es pugui desplaçar. Finalment, la part C, té unes dimensions de 550x550x25 mm. Tal i com es pot observar en la figura de la bancada, la part C, conté una guia horitzontal a banda i banda de dimensions 10x10x30 mm que contindrà dos patins guia que faran que la plataforma que subjecta el motor sigui capaç de desplaçar-se verticalment.

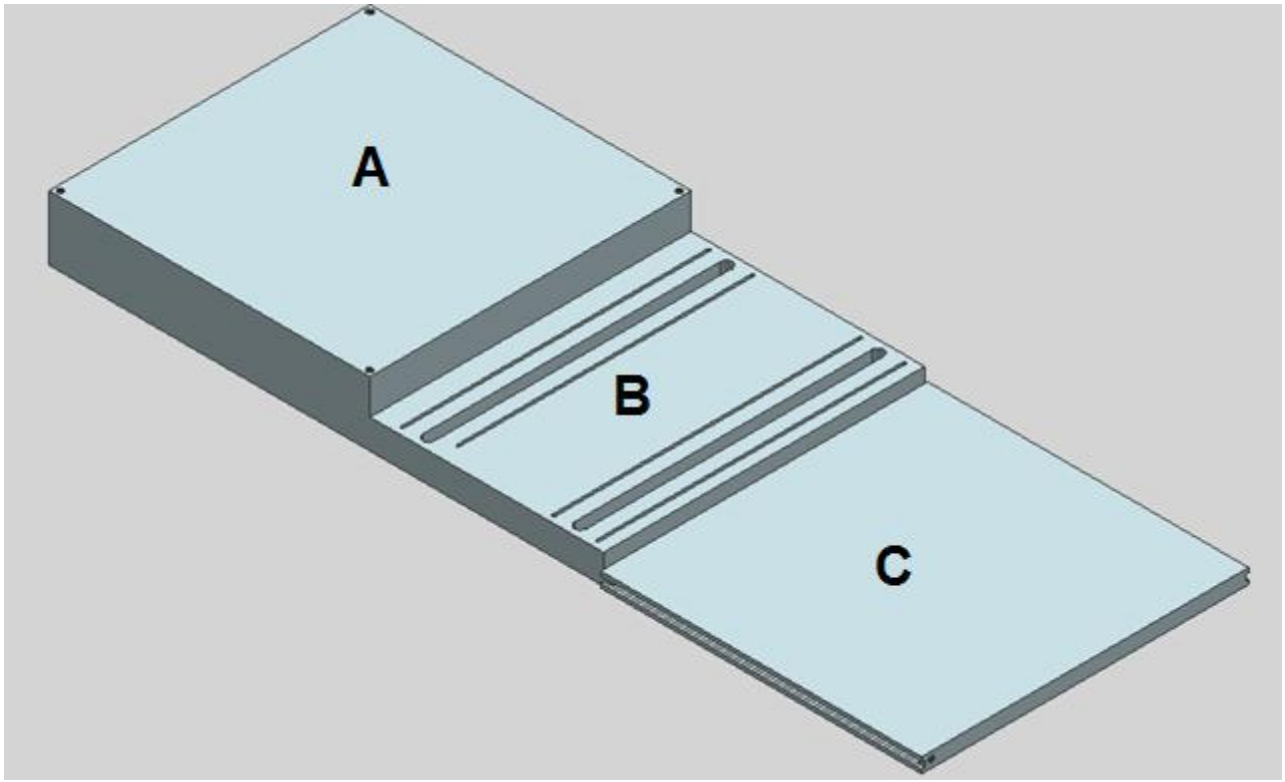

Figura 20 Bancada banc de proves

- **Fabricació de l'element**

Per a la fabricació de la bancada del banc de proves, es parteix d'un bloc del material descrit anteriorment de dimensions 1500x550x110 mm. Per a l'obtenció de la peça final, se sotmet el perfil inicial a un fresat per aconseguir el contorn desitjat. Posteriorment, un cop aconseguides totes les guies desitjades, es realitzaran els forats necessaris per subjectar el motor mitjançant un trepant en la part A de la bancada.

6.2.2. Plataforma banc d'assaig amb sistema d'elevació

- **Unitats: 1**

- **Material**

Per a la fabricació d'aquesta conjunt s'utilitzarà un aliatge d'alumini; AlZn6MgCu, igual que en el cas anterior.

- **Descripció del conjunt**

El següent conjunt és l'encarregat de subjectar el motor a assajar, que permet el moviment vertical d'aquest gràcies al sistema d'elevació dissenyat. Aquest sistema d'elevació consta de quatre barres, unides entre si dos a dos, que estan subjectades pels extrems amb uns patins. Els vuit patins existents tenen finalitats diverses. Primer cal mencionar que en el sistema existeixen quatre patins que són mòbils i permeten el desplaçament horitzontal per l'interior de les guies. A més a més, existeixen quatre patins més que són fixes i permeten la rotació de la barra respecte el punt d'unió d'aquests dos elements. Per aconseguir el moviment desitjat, és necessari aplicar un moviment de rotació sobre un volant que està situat a l'extrem esquerre de la plataforma. La funció d'aquest volant és la de transmetre al patí un moviment horitzontal, aconseguint un desplaçament d'aquest a través de la guia. Per poder transmetre aquest moviment, es fa ús d'un cargol amb un pas de rosca reduït (per aconseguir una major precisió de moviment). Aquest cargol, està solidari en el seu extrem al volant. Per aconseguir el desplaçament de tots els elements, s'utilitzen uns cilindres metàl·lics que van units d'un patí al seu homòleg a l'altra banda de la plataforma. El moviment es transmet al patí situat davant del volant, aquest patí en qüestió, conté una rosca en tot el seu cos que permet el desplaçament horitzontal quan volant es comença a moure's. Un cop inicialitzat el moviment, el patí primari (patí que rep el moviment del volant) transmet la seva posició al patí situat a l'altra banda, generant un moviment igual al seu patí homòleg gràcies a la unió que comparteixen aquests dos. Un cop aquests dos patins es desplacen, s'aconsegueix transmetre a les barres un moviment de rotació i translació a la vegada. Com que les quatre barres estan unides entre si dos a dos, s'aconsegueix que l'altra barra (que no depèn del patí primari ni del seu homòleg) es desplaci amb el mateix moviment que ho fa l'altra. Amb això s'aconsegueix que els patins mòbils de les altres barres també es comencin a desplaçar, provocant que la plataforma que subjecta el motor comenci a moure's verticalment, amb la finalitat d'alinear l'eix del motor amb l'eix de transmissió. L'altre conjunt de patins també conté una unió entre si mitjançant un cilindre metàl·lic.

- **Dimensions del conjunt**

El conjunt està format per diversos elements tal i com es pot observar en la imatge. S'ha decidit analitzar el conjunt com una sola peça ja que representa un conjunt molt important per al bon funcionament del banc de proves. El present conjunt, consta d'una plataforma de dimensions 550x550x25 mm que serveix com a punt de suport del motor a assajar. Aquesta plataforma conté dues guies als laterals de dimensions 530x10x10 mm, que són les encarregades de contenir els patins guia que fan possible el moviment. En el present meca-

nisme, hi ha vuit patins (quatre de mòbils i quatre de fixes) que es caracteritzen per tenir diverses propietats. Les dimensions de cada patí es caracteritza segons la seva posició. La característica principal de cadascuna ve donada per la necessitat de superposar les guies que els uneixen. Així doncs, hi ha quatre patins que sobresurten cap a l'exterior 10 mm més que els altres. Cada patí respon a unes dimensions que són comunes pels vuit. La geometria d'aquests és variable; existeix una part del pati que est a dins la guia, i una altra part que es troba a l'exterior. La part que està situada dins de la guia té unes dimensions de 30x30x10 mm. Cada un d'aquests patins està unit a dos elements: una barra que uneix un patí de la bancada (patí de baix) amb un patí de la plataforma (patí de dalt), i un cilindre que uneix un patí amb el seu homòleg a l'altra banda. Les dimensions de cada barra són idèntiques, 500x25x10 mm. També són idèntiques les mides dels cilindres d'unió, D6x490 mm.

A més a més, en el conjunt hi ha l'element encarregat de transmetre el moviment que fa l'individu al patí primari, el volant. Aquest element està constituït per dos tubs cilíndrics units entre ells per quatre cilindres més. El tub cilíndric exterior té un diàmetre de 140 mm i una espessor de 10 mm. El cilindre interior té un diàmetre de 40 mm i una espessor de 10 mm. Els dos elements estan units entre si per quatre cilindre de 10 mm de diàmetre i 100 mm de longitud. El volant en conjunt està unit al extrem del cargol que transmet el moviment al patí. El cargol té una longitud de 530 mm i és de mètrica 8 mm.

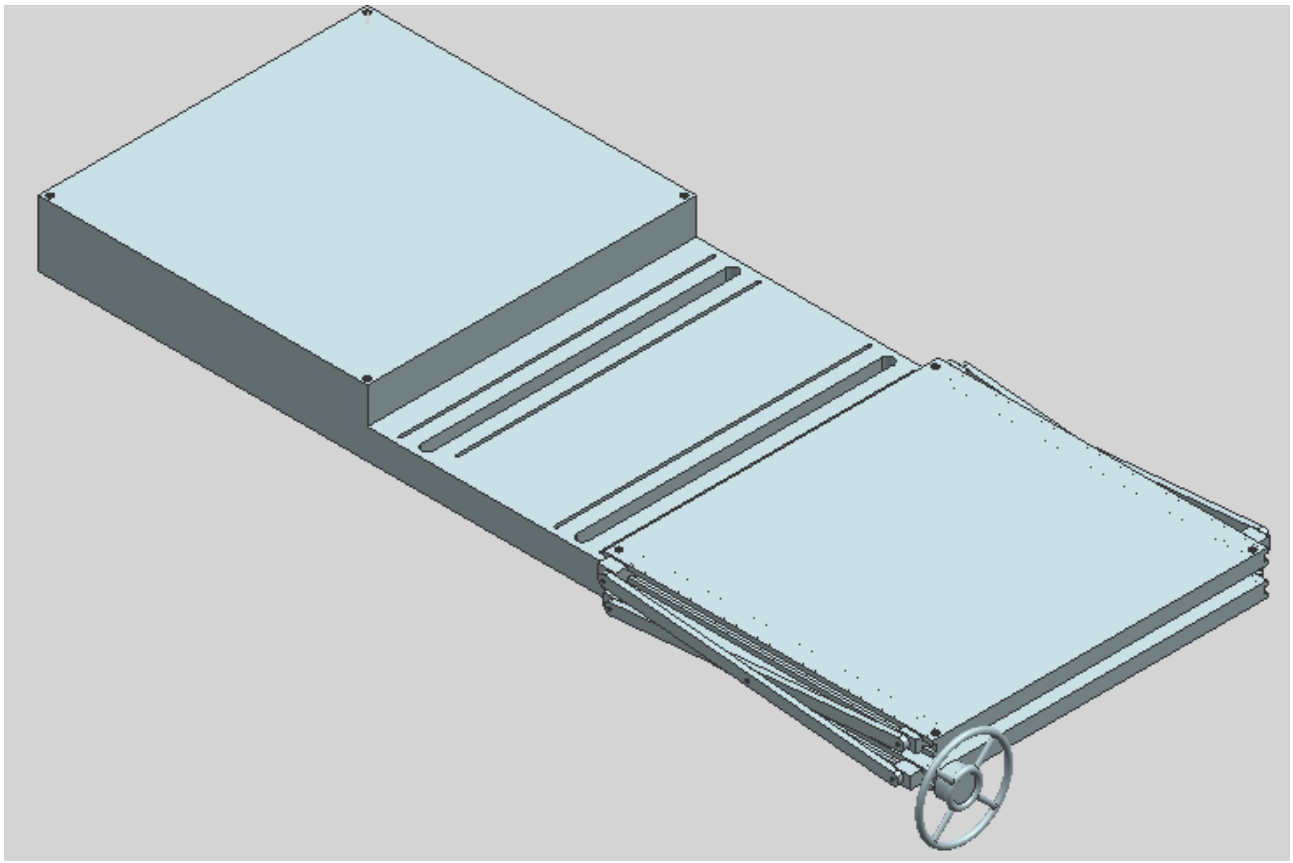

Figura 21 Plataforma banc d'assaig amb sistema d'elevació

Fabricació i muntatge del conjunt

Com és evident, per a la fabricació del conjunt, primer cal fabricar cada element per separat i tot seguit procedir al muntatge de tot el mecanisme. Així doncs és necessari realitzar blocs d'alumini de les dimensions nombrades anteriorment i, mitjançant un torn i una fresadora, s'aconsegueix el perfil desitjat. Un cop realitzats tots els components, s'inicia el muntatge del mecanisme.

Primer de tot, cal situar en les guies tots els patins i posteriorment es col·locarà el volant amb el cargol per fixar el pati primari i el seu homòleg. Un cop introduït tot el cargol, es procedirà a unir els patins amb les barres d'unió de forma horitzontal. Quan està construït tot el conjunt, es procedirà a realitzar les rosques necessàries en la plataforma per poder col·locar el elements restants.

6.2.3. Guia motor mòbil

- **Unitats: 4**

- **Material**

Per a la fabricació de la guia mòbil per al motor, s'utilitzarà el mateix material emprat anteriorment pels altres elements, es construirà amb aliatge d'alumini AlZn6MgCu.

- **Descripció de l'element**

Aquesta element consta de tres peces que confeccionen un sol conjunt. La finalitat d'aquest estri és el de dotar al motor de llibertat de moviment de forma horitzontal (eix Y). La barra horitzontal, està destinada a suportar el motor (tant d'assaig com de fre) al seu damunt, mentre que els elements situats a l'interior de la barra són els encarregats de collar el motor a la posició desitjada perquè aquest no es desplaci un cop iniciades les proves a realitzar. La guia està dotada de cargols en els seus extrems, que s'utilitzaran per donar mobilitat a la guia de forma horitzontal (eix X). Aquest conjunt consta d'una barra horitzontal en forma de U que es col·locarà al damunt de la plataforma pel motor. A l'interior de la barra, s'hi col·locarà els dos elements mòbils que subjectaran el motor. Aquests dos elements es podran desplaçar sense necessitat d'aixecar la barra horitzontal a través d'una guia que tindrà la pròpia barra.

- **Dimensions de l'element**

El conjunt consta d'una barra horitzontal de dimensions 30x510x30 mm. Aquesta barra té un rebaix en el seu interior que dota l'element d'una característica geomètrica en forma de U. Aquest rebaix és de dimensions 20x490x20 mm. La pròpia barra també conté una guia horitzontal que permet el moviment dels cubs que conté al seu interior, les dimensions de la guia són de 20x490x10 mm. El dos cubs es caracteritzen per tenir una forat amb rosca de mètrica 8 mm, les dimensions d'aquests són de 20x30x20 mm. El que s'aconsegueix amb el dimensionat dels dos cubs, és que permetin que s'hi pugui enroscar un cargol sense que aquest girin per la força d'aquest, ja que la seva geometria no ho permet. Per finalitzar, el conjunt té associat als extrems dos cilindres roscats de mètrica 8 mm i 30 mm de longitud.

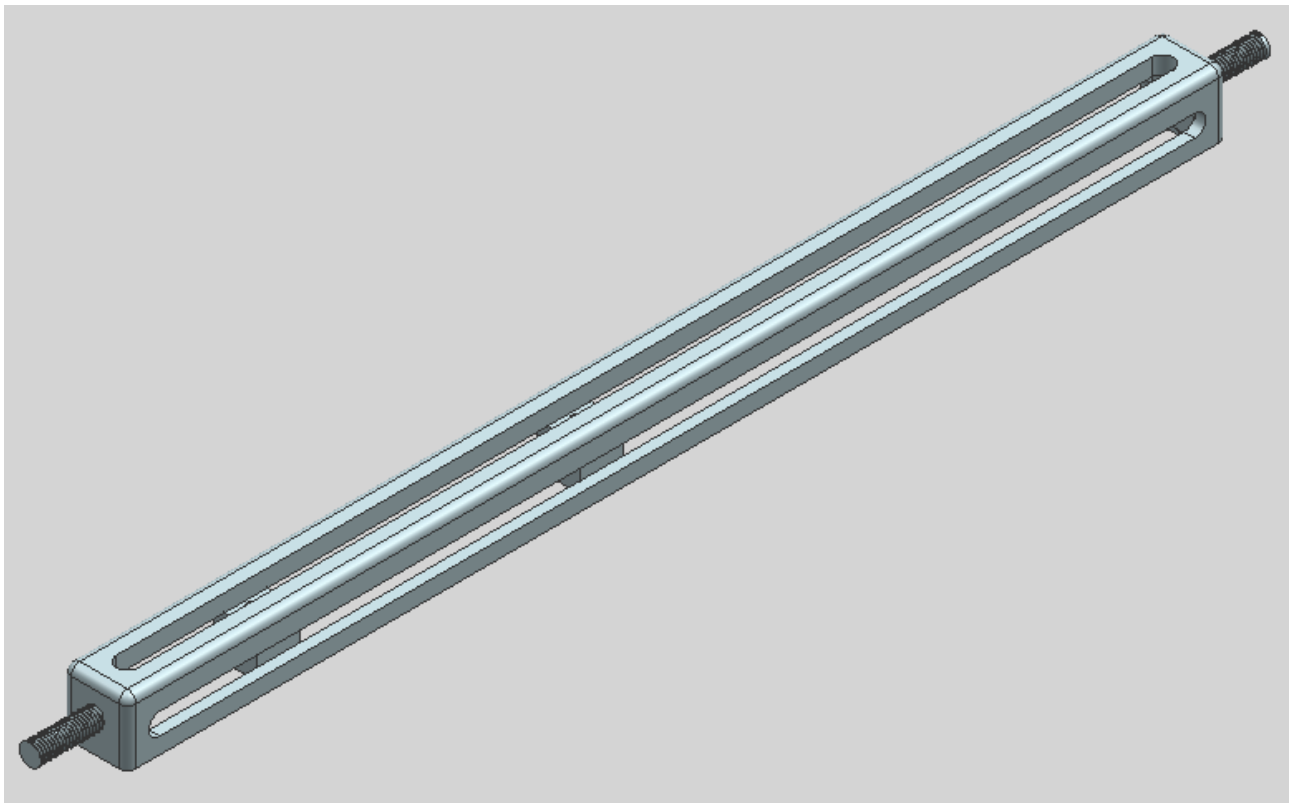

Figura 22 Guia motor mòbil

- **Fabricació de l'element**

La fabricació d'aquesta peça consta de dos processos de fabricació: fresat i tornejat. Primer de tot, es parteix d'un bloc de dimensions 30x510x30 mm i es procedeix a realitzar el rebaix desitjat. Tot seguit és creen els dos blocs que s'han de situar a l'interior de la guia i es procedeix a realitzar el forats roscats mitjançant un trepant. Finalment, se solda un cilindre roscat als extrems de la guia.

6.2.4. Guia plataforma banc

- **Unitats: 4**

- **Material**

Per a la fabricació de la guia per la plataforma, s'ha utilitzat novament l'aliatge d'alumini AlZn6MgCu. Aquest material forma part del grup d'aliatges d'alumini bonificats i més concretament dins del grup Al-Zn.

- **Descripció de l'element**

Aquest element consisteix en una guia fixa que se situa sobre la plataforma on es recolza el motor, tant els d'assaig com el motor de corrent continu. La finalitat d'aquesta peça és la de proporcionar a la guia del motor mobilitat horitzontal (eix X). La guia consisteix en una peça metàl·lica rectangular foradada per un guia horitzontal. En els extrem superiors, està dotada de dues rosques que, a través d'un cargol, uneixen la guia amb la plataforma dels motors. És un element clau per aconseguir la mobilitat del motor tant endavant com enrere.

- **Dimensions de l'element**

La guia per la plataforma consisteix en un rectangle de dimensions 550x20x30 mm. Per aconseguir la mobilitat de la guia per al motor, aquesta conté una guia centrada de dimensions 510x20x10 mm. A més, en la part superior de la guia, hi ha dos forats roscats allunyats 15 mm dels extrems de guia. Aquestes rosques recorren tota la peça ja que serveixen d'unió amb la bancada del motor. Les rosques tenen una mètricade 10 mm.

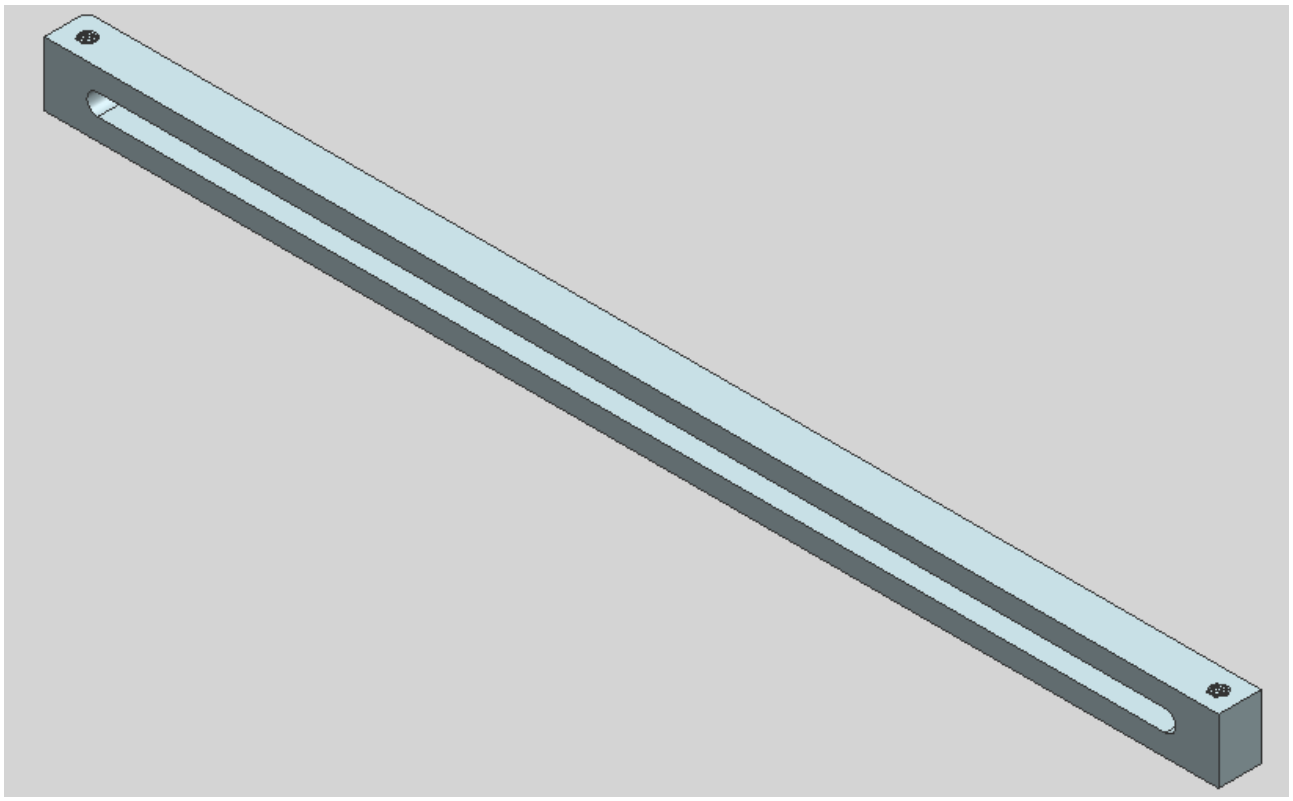

Figura 23 Guia plataforma banc

- **Fabricació de l'element**

La guia per la plataforma fixa té un procés de fabricació molt similar a l'anterior. És parteix d'un cub rectangular de dimensions 550x20x30 mm. Mitjançant una fresadora es crea la guia que s'utilitzarà per donar moviment al motor. Un cop aconseguit el perfil desitjat, amb l'ajut d'un trepant es realitzen els dos forats roscats als extrems de la guia per al seu posterior muntatge i fixació.

6.2.5. Plataforma transductor

- **Unitats: 1**

- **Material**

El material utilitzat per la plataforma del transductor de parell és aliatge d'alumini, AlZn6MgCu.

- **Descripció de l'element**

El disseny de la plataforma del transductor ve dimensionat per les característiques principals del transductor de parell escollit. Aquesta plataforma en qüestió, és l'encarregada de proporcionar col·linealitat al transductor amb els eixos de transmissió mecànics. Una altra característica principal d'aquesta plataforma és la seva mobilitat en horitzontal (eix Y) gràcies al sistema guiat de la bancada del banc de proves.

Aquesta plataforma està constituïda per dos elements ben diferenciats: la plataforma amb guia i la placa metàl·lica que serveix per ajustar i fixar l'element a la posició desitjada.

La plataforma ha estat dissenyada per facilitar a la persona que vulgui desplaçar-la una major comoditat i facilitat. Està constituïda per una plataforma rectangular a la base que s'uneix per una peça metàl·lica. Aquesta peça és l'encarregada de guiar la plataforma a través de les ranures que hi ha a la bancada. Una altra característica important de la plataforma, és que consta de dos forats roscats situats de forma diagonal. Aquests elements permeten una major subjecció de l'element. Cada un dels cargols emprats, té una guia en la bancada per facilitar, també, la seva mobilitat. Ja en la part superior d'aquesta, es troba un petit suport per a la disposició del transductor de parell, amb la finalitat de subjectar i immobilitzar aquest element. Finalment consta de dues parets perforades, alineades amb l'eix del transductor. En aquests forats, s'hi col·locaran posteriorment els rodaments mecànics necessaris per a un correcte funcionament del sistema.

L'altre element imprescindible de la plataforma és la peça metàl·lica. Aquest element s'utilitza per immobilitzar tota la plataforma. És un element rectangular que, al'igual que la plataforma, consta de dos forats roscats situats de forma diagonal. Una altra característica important, és que la peça metàl·lica està perforada allà on hi ha la guia, i això permet un major lliscament i aconseguir que la peça mai se separi de la plataforma, menys en el cas d'extracció total dels cargols.

Dimensions de l'element

La plataforma del transductor de parell està constituïda per diverses peces. Hi ha dues peces que fan d'unió entre la bancada del banc de proves i la plataforma del transductor de parell. Aquests dos elements contenen la rosca que servirà per unir la plataforma amb la placa metàl·lica de sota i té unes dimensions de 100x30x20 mm. Unit amb aquest element, es troba un cub rectangular de dimensions 100x100x120 mm, que té un rebaix en el seu interior de 100x70x110 mm. Aquest element és el que confecciona el tronc de la plataforma i fa d'unió amb la part superior. Tot seguit, es troba un cub rectangular a la part superior de dimensions 140x100x100, que conté un rebaix de 100x100x100 mm. Aquest últim element és el que conté el forat amb forma circular que contindrà posteriorment els rodaments. El forat d'aquests és de 40 mm de diàmetre i està situat al mig de la peça superior.

Una altra peça important, és l'element que fa de guia en la plataforma; aquesta té unes dimensions de 20x100x30 mm i uneix banda i banda de la plataforma amb la peça metàl·lica.

Ja per acabar, trobem la peça metàl·lica que conté, igual que la plataforma, dos forats roscats situats diagonalment, proporcionant així una millor subjecció. Els forats són de mètrica 6 mm i les dimensions de la placa metàl·lica són 100x130x20 mm.

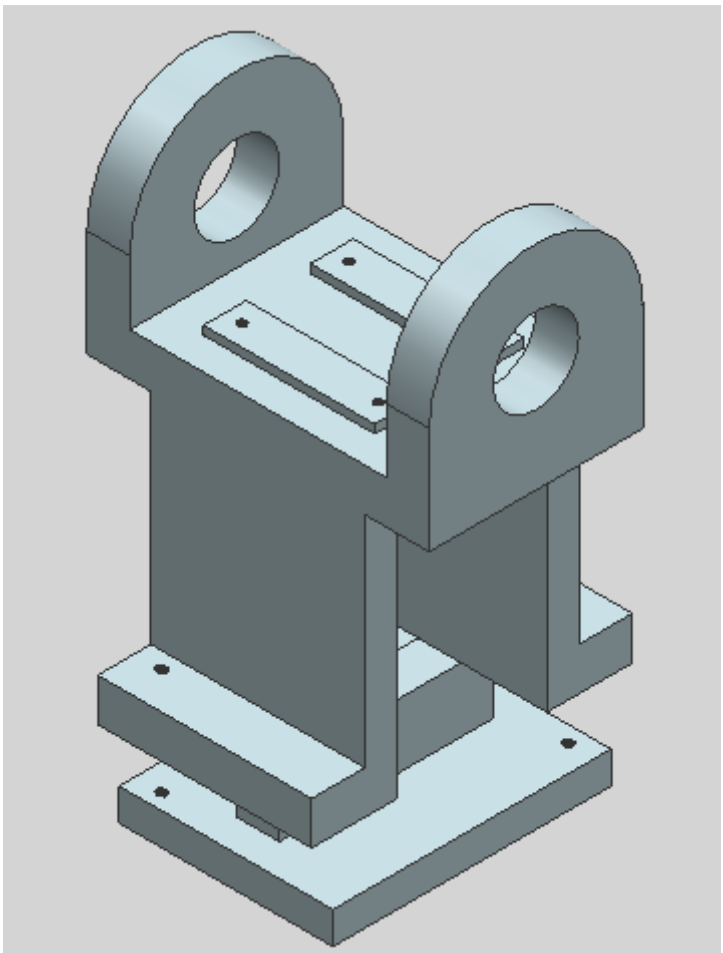

Figura 24 Plataforma transductor

- **Fabricació de l'element**

Per a la fabricació d'aquesta peça, s'ha de partir de tres blocs diferenciats per a la plataforma, un bloc per a la guia i un altre per a la placa metàl·lica. Fent ús d'una fresa s'aconsegueix el perfil desitjat i posteriorment s'utilitza una soldadura per unir un element amb l'altre. Finalment, s'utilitza un trepant per a realitzar les rosques tant en la part superior de la plataforma com en la placa metàl·lica.

6.2.6. Plataforma reductor o eix

- **Unitats: 2**

- **Material**

Per a la construcció d'aquest element, s'ha decidit utilitzar un aliatge d'alumini; AlZn6MgCu.

- **Descripció de l'element**

El disseny geomètric de la plataforma del reductor o guia ve marcat per les característiques principals del reductor. Aquest element, s'utilitza tant per donar mobilitat horitzontal al reductor, com per fixar aquest en la posició desitjada.

El disseny d'aquesta peça és molt similar a la de la plataforma del transductor de parell. La plataforma està composta per tres elements que s'uneixen entre si per confeccionar tot el conjunt. Cada un d'aquest elements aporta unes característiques necessàries per al bon funcionament de la plataforma.

L'element més important d'aquest conjunt és l'anomenada peça de subjecció o plataforma. Aquesta peça és l'encarregada d'alinear els eixos de transmissió mecànics amb el reductor. Es correspon a un cub rectangular amb un rebaix en el seu interior. La plataforma conté dos forats roscats situats diagonalment en la base que serveixen com a element d'unió entre la plataforma i la peça metàl·lica. També conté dos forats cilíndrics on, posteriorment, es col·locaran els rodaments per facilitar la transmissió mecànica dels eixos. La peça de subjecció ha de tenir unes dimensions suficients per contenir el reductor planetari escollit anteriorment.

Un altre element existent en el conjunt és la guia d'unió. Aquesta peça uneix l'element de subjecció amb la placa metàl·lica que serveix de fixació. És un element important ja que facilita el desplaçament horitzontal (eix Y) de tot el conjunt per les guies que hi ha a la bancada del banc de proves. Aquesta peça és idèntica a la guia de la plataforma del transductor de parell i respon a les mateixes funcions.

Finalment, trobem la peça metàl·lica que, de la mateixa manera que en la plataforma del transductor de parell, s'utilitza com a element de fixació de tot el conjunt. . És un element rectangular que, a l'igual que la plataforma, consta de dos forats roscats situats de forma diagonal. Una altra característica important és que la peça metàl·lica està perforada allà on hi ha la guia, cosa que permet un major lliscament i fa que la peça mai se separi de la plataforma, menys en el cas d'extracció total dels cargols.

Dimensions de l'element

Tal i com s'ha comentat anteriorment, la plataforma del reductor consta de tres peces ben diferenciades.

En primer lloc, es troba la plataforma de subjecció del reductor o eix. Aquest element té unes dimensions de 160x150x250 mm amb un rebaix en el seu interior de 120x150x230 mm. Aquest rebaix confereix una forma geomètrica característica en forma de U a la plataforma. Aquest element conté dos forats cilíndrics, a banda i banda, a una alçada de 135 mm. Aquests forats tenen una longitud de 20 mm i un diàmetre de 40 mm. Posteriorment s'utilitzaran per col·locar els rodaments per a facilitar la transmissió mecànica dels eixos.

Tot seguit, es troba una altra peça important, que és l'element que fa de guia en la plataforma. Aquesta té unes dimensions de 20x100x30 mm i uneix banda i banda de la plataforma amb la peça metàl·lica.

Ja per acabar, es troba la peça metàl·lica que conté, igual que la plataforma, dos forats roscats situats diagonalment, proporcionant així una millor subjecció. Els forats són de mètrica 6 mm i les dimensions de la placa metàl·lica són de 100x130x20 mm.

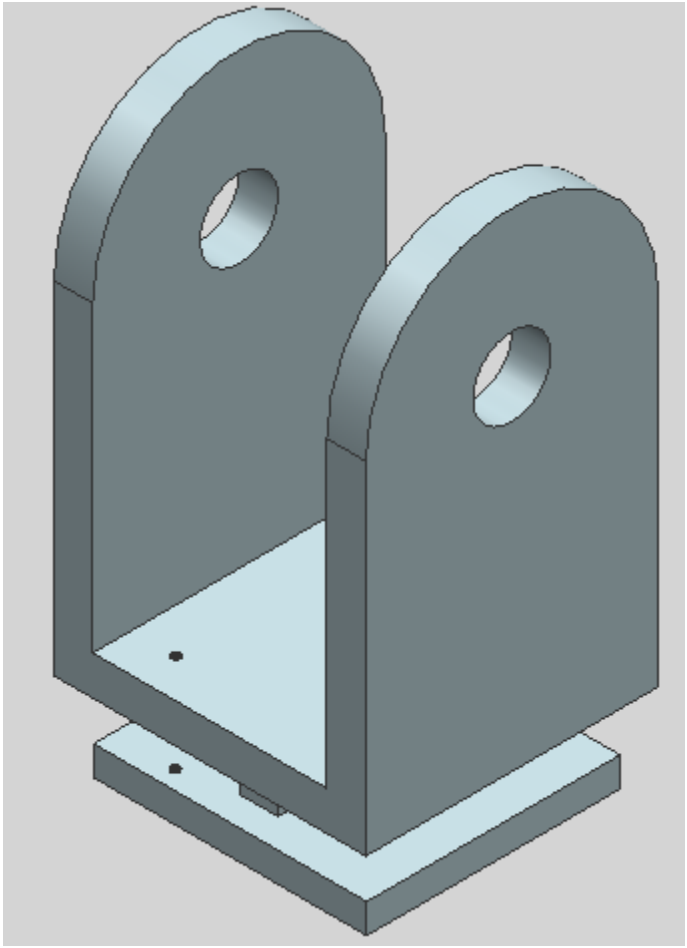

Figura 25 Plataforma reductor o eix

- **Fabricació de l'element**

Per a la fabricació d'aquest element, es parteix de tres blocs diferenciats: un per la plataforma, un per la guia i un per la placa metàl·lica. Mitjançant dos processos de fabricació, fresat i tornejat, s'aconsegueix el perfil exterior desitjat. Posteriorment s'uneix la plataforma amb la guia utilitzant una soldadura dura i finalment es procedeix a realitzar els forats roscats mitjançat un trepat.

6.2.7. Eix de transmissió

- **Unitats: 3**

- **Material**

Els arbres de petites dimensions i baixa responsabilitat es poden realitzar amb qualsevol tipus d'acer sense tractar.

El material escollit per a la fabricació de l'eix de transmissió és: Acer 2C25 UNE 36.054, indicat per arbres sotmesos a baixes sol·licitacions.

- **Descripció de l'element**

L'eix de transmissió és la peça encarregada de transmetre el moviment del motor d'assaig als altres elements que formen part del banc de proves, fins arribar finalment al motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic.

Aquest element està contínuament associat a l'acoblament mecànic que s'utilitza com a peça d'unió entre eixos. Els dos elements han d'estar degudament alineats per no desgastar les peces d'unió ni originar sobre-esforços perjudicials pel sistema. Per aconseguir aquesta unió, es dota a l'eix d'un rebaix rectangular en els seus extrems que permet unir l'eix amb l'acoblament mitjançant un cargol de regulació.

- **Dimensions de l'element**

Tots els eixos que hi ha en el banc de proves a dissenyar comparteixen les mateixes dimensions. El diàmetre de l'eix és de 20 mm i la longitud total de l'eix és de 340 mm.

Cada eix té un rebaix en els seus extrems de forma rectangular de dimensions 4x2x1 mm.

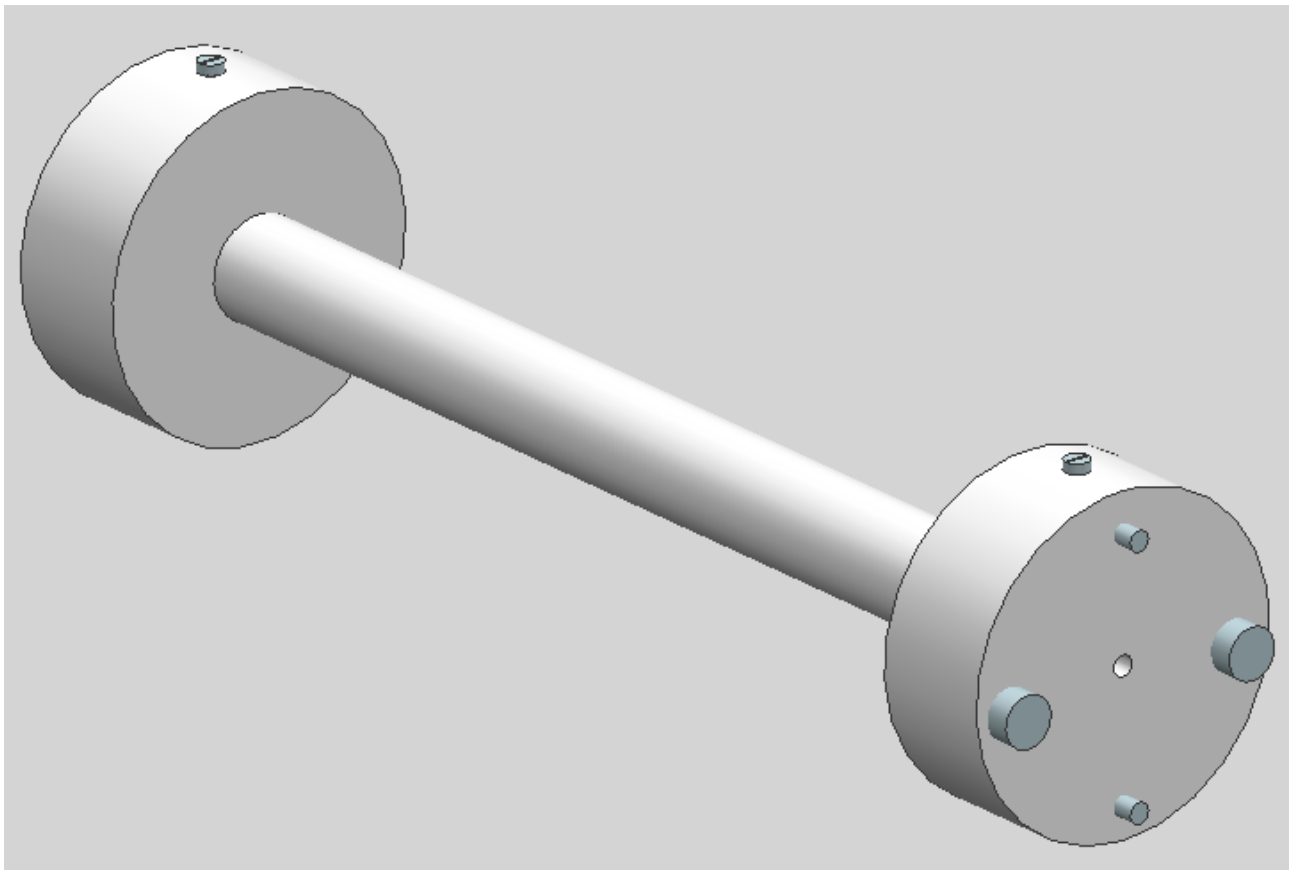

Figura 26 Eix de transmissió

- **Fabricació de l'element**

Per a la fabricació d'aquesta peça es parteix d'una barra cilíndrica d'Acer 2C25 de 30 mm de diàmetre. Tot seguit es procedeix a realitzar el rebaix fins aconseguir el diàmetre desitjat amb un torn. Posteriorment cal realitzar un rebaix en els extrems de l'eix perquè el cargol que fa d'element de subjecció no pugui lliscar.

6.2.8. Carretó banc de proves

- **Unitats: 1**

- **Material**

Per a la fabricació del carretó, s'utilitzarà el mateix material escollit per la bancada. S'ha decidit fabricar-lo amb aliatge d'alumini AlZn6MgCu per tal de disminuir el pes total del conjunt i obtenir una elevada resistència als esforços mecànics.

- **Descripció de l'element**

El carretó del banc de proves és un element clau en el disseny del banc de proves, ja que desenvoluparà diverses funcions importants en tot el conjunt.

En primer lloc, permet desplaçar el banc de proves mitjançant la incorporació de quatre rodes que té implantades en la part inferior. Aquesta és una opció interessant ja que dota al banc d'una dinàmica important que si fos fixe no tindria. La seva finalitat és facilitar a l'usuari l'ús del banc de proves i poder desplaçar-lo pels diferents laboratoris per a la realització d'assajos amb motors.

En segon lloc, s'utilitzarà el carretó per contenir en el seu interior tots els elements de connexió del banc de proves gràcies a la incorporació d'estanteries mòbils. Per facilitar la seva extracció, s'utilitzarà un sistema de guies implantades en les parets del carretó. D'aquesta manera, es pretén muntar a l'exterior tots els elements necessàries d'alimentació i control del banc i, posteriorment, introduir en les respectives ranures les estanteries. Mitjançant uns forats cilíndrics en la xapa posterior del banc es procedeix a la connexió de tots els sistemes d'alimentació i control amb els motors que formen part del banc de proves.

És d'interès mencionar que per tal de moure i redirigir el carretó, aquest està dotat d'una ansa de subjecció en un dels laterals que facilita la mobilitat d'aquest.

- **Dimensions de l'element**

El carretó està format per diverses peces que confeccionen tot el conjunt i el doten de les característiques nombrades anteriorment.

La part més important del carretó és la peça anomenada cos. Aquest element consisteix en un cub d'aliatge d'alumini de dimensions 1500x550x800 mm, que conté un rebaix en el seu interior de dimensions

1440x550x740 mm. En aquesta part es disposen les guies que s'utilitzaran posteriorment per introduir les estanteries. Hi ha quatre guies en la part interior del cos de dimensions 10x550x30 mm. Aquest quatre elements tenen una forma geomètrica de U que facilita el desplaçament de les estanteries en el seu interior. Estan disposades dos a dos a alçades diferents. La guia que està més elevada, es troba a una altura de 498 mm respecte la base del carretó i l'altre conjunt de guies es troba situat a una alçada de 249 mm respecte la base. Amb aquestes separacions, s'aconsegueix una distància funcional entre estanteries de 225 mm. Les estanteries tenen una dimensió de 1440x550x30 mm.

L'ansa que facilita la mobilitat del banc consisteix en tres tubs cilíndrics units entre si. Hi ha dos tubs situats en l'eix X de longitud 130 mm i un altre situat en l'eix Y de longitud 205 mm. Tots tres elements comparteixen el mateix diàmetre de dimensions 40 mm i estan units entre sí mitjançant un procés de soldat.

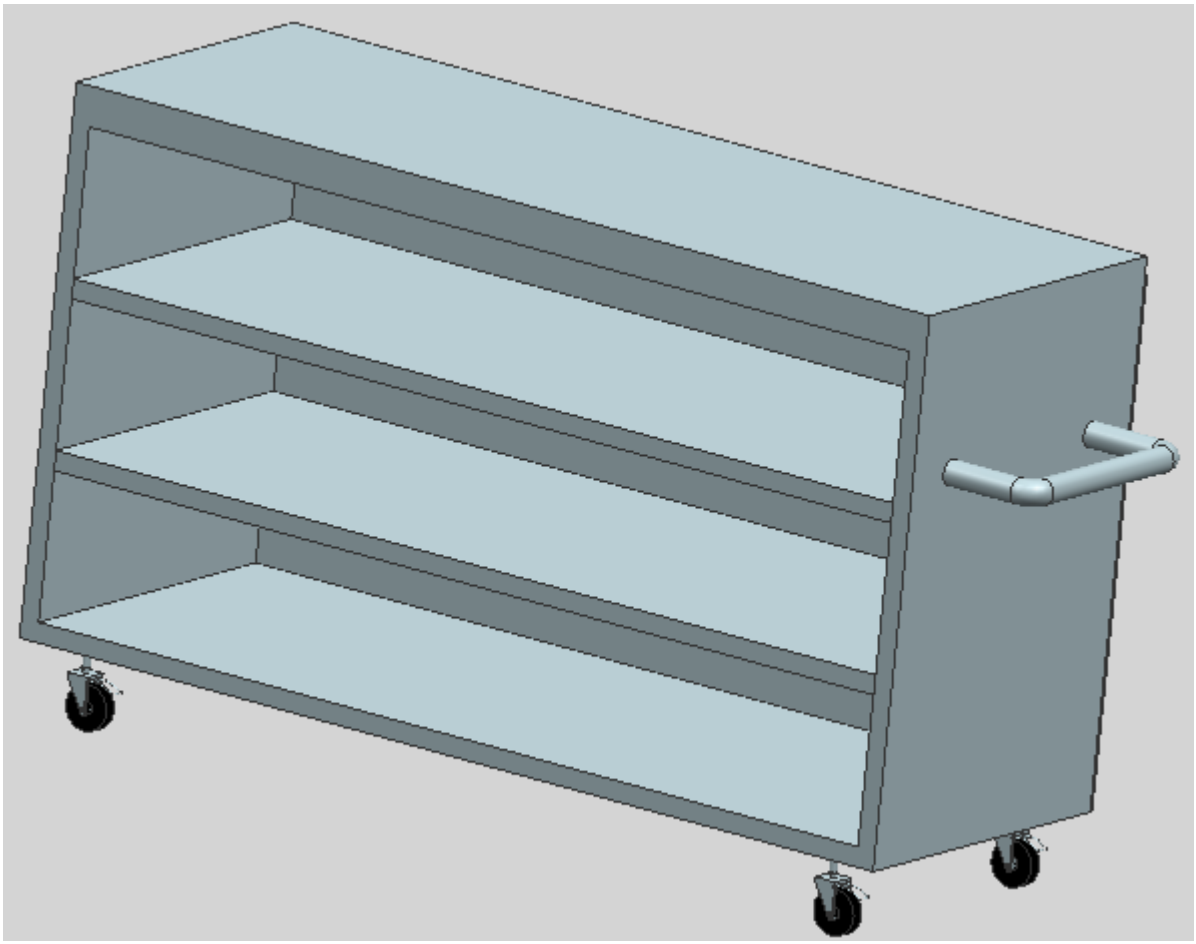

Figura 27 Carretó banc de proves

- **Fabricació de l'element**

Per tal de fabricar-lo, és necessari partir de quatre barres rectangular d'aliatge d'alumini que donaran forma al cos del carretó. Un cop unides, és realitzarà, mitjançant una fresadora, el relleu per a les guies que posteriorment seran col·locades.

Per tal de fer les guies, es parteix de quatre barres idèntiques i, mitjançant un procés de fresat i tornejat, se l'hi dóna el perfil desitjat. Finalment, s'utilitzaran dues estanteries d'aliatge d'alumini que es col·locaran en les guies ja disposades.

6.2.9. Roda carretó

- **Unitats: 4**

- **Material**

En el següent conjunt es troben diferents elements que estaran constituïts per diversos materials. Tots els elements metàl·lics existents en el conjunt de la roda estan formats per un aliatge de alumini, AlZn6MgCu.

En canvi, la roda pròpiament dita estarà fabricada amb poliuretà micro cel·lular. Aquest és un material estàndard en la fabricació de rodes per a carretons.

- **Descripció de l'element**

Les rodes del carretó serveixen per donar moviment al carretó i al banc de proves en conjunt. Està format per diversos elements que resulten necessaris per dotar a la roda de suficient llibertat per poder-se moure en totes direccions.

Aquest conjunt se situarà en la part de baix del carretó i estarà distribuït de forma equitativa i equidistant en cadascun dels quatre vèrtexs que conformen els respectius extrems del carretó per tal de repartir el pes de tot el conjunt.

Hi ha diverses peces que s'han hagut de considerar a l'hora de dissenyar les rodes. Un element important del conjunt és el de fixació de les rodes amb el carretó. S'ha dissenyat un tub cilíndric foradat unit a una placa metàl·lica en un dels seus extrems. El que es pretén amb aquest element és unir el carretó amb les rodes i, mitjançant un altre tub cilíndric que serà solidari amb la plataforma de la roda, proporcionar una mobilitat giratòria complerta de les rodes.

L'element d'unió entre roda i carretó és una peça metàl·lica que, com s'ha mencionat anteriorment, estarà unida a un tub cilíndric d'unes dimensions més reduïdes que l'anterior. A més a més, aquest element servirà de bancada a la roda en l'extrem on no hi ha el cilindre. Per dur a terme aquesta acció, és dotarà a la peça metàl·lica d'uns forats cilíndrics que contindran l'eix de gir de la roda. Alhora, aquest element contindrà dos forats cilíndrics més diminuts en la part superior dreta, que s'utilitzaran per col·locar el fre de la roda. Per a que aquestes funcions cobrin forma, la peça metàl·lica que serveix de bancada basarà la seva geometria en un polígon irregular amb forma de triangle rectangle.

Un altre element que forma part del conjunt és la roda pròpiament dita. Aquest element és una roda perforada al centre que conté una peça metàl·lica de forma cilíndrica que anirà solidària amb l'eix que surt de la bancada. L'únic element que es mou en el conjunt és la roda, que rota des del seu propi centre.

Finalment, cal plantejar la possibilitat d'incorporar un element que permeti bloquejar la roda. Aquest és imprescindible per tal que el banc no és pugui desplaçar un cop iniciat un assaig. Per dur a terme aquesta funció, s'ha dissenyat un element tubular que estarà unit a la bancada i abraçarà tota l'amplada de la roda. Aquest element tindrà un moviment rotacional per tal de poder bloquejar o desbloquejar la roda, segons convingui.

- **Dimensions de l'element**

Tal i com s'ha comentat anteriorment, les rodes del carro estan formades per varis elements.

L'element que serveix d'unió entre el carro i la bancada de la roda està format per una peça metàl·lica de dimensions 40x40x2 mm. Juntament amb aquest element, es troba un tub cilíndric buit que s'utilitzarà per connectar el carretó amb la bancada de la roda. Aquest té una longitud de 30 mm i un diàmetre de 12 mm.

Tal i com s'ha mencionat anteriorment, la bancada està formada per un tub cilíndric massís de 30 mm de longitud i 10 mm de diàmetre. Aquest element té unit un petit tub horitzontal que impedeix que l'element d'unió i la bancada s'uneixin. Està situat a una alçada de 3 mm del tub i té una longitud de 14 mm i un diàmetre de 4 mm.

La bancada de la roda està unida al tub vertical d'unió. Aquesta té unes dimensions rectangulars de 35x40x60 mm. No obstant, té un rebaix en diagonal que dóna a l'element una forma de polígon irregular similar a un triangle rectangle. Aquest element té un espaiat en el seu interior suficient per encabir la roda. Aquest rebaix confereix una forma geomètrica en U a la bancada i té unes dimensions de 35x30x50 mm. En

la part superior dreta de la plataforma, es troben dos forats cilíndrics de 2 mm de diàmetre que s'utilitzaran per encaixar l'element de frenada de la roda.

Com a últim element important a destacar, en la part inferior dreta, es troben dos forats cilíndrics de 4 mm de diàmetre. Aquests forats s'utilitzaran per col·locar un tub metàl·lic que farà d'eix de gir de la roda.

El tub cilíndric que és col·locarà en la bancada per facilitar el moviment de rotació de la roda tindrà una rosca en els extrem de mètricade 6 mm i una longitud total de 50 mm. Aquest element estarà unit a un tub més gran de 20 mm de diàmetre i 20 mm de longitud. El que és pretén aconseguir amb aquest últim tub és que la roda tingui un punt de recolzament des d'on poder girar.

Seguidament es troba la roda, que té un diàmetre de 70 mm i una longitud de 20 mm. Aquesta roda, té un rebaix en el centre de 18 mm de diàmetre i 20 mm de longitud per encabir el cilindre de recolzament.

Ja per finalitzar, el sistema consta d'un fre a la roda, que consisteix en quatre cilindres units irregularment de 2 mm de diàmetre. La unió d'aquests cilindres abraça tota la l'amplada de la roda i permet el seu bloqueig.

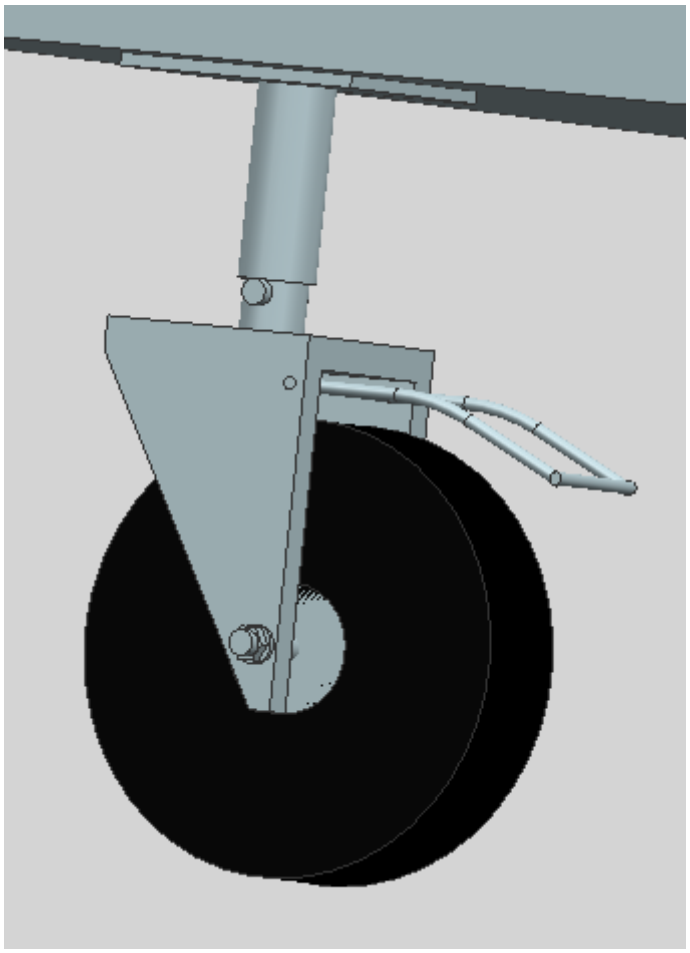

Figura 28 Roda carretó

- **Fabricació de l'element**

Com s'ha pogut comprovar en l'apartat de dimensions de l'element, aquest conjunt s'ha de fabricar per separat i posteriorment unir totes les seves peces. Així doncs, s'utilitzarà un torn i una fresadora per donar a cada un dels elements el perfil desitjat i posteriorment s'uniran entre si a través d'un procés de soldadura.

6.3. Disposició dels elements en el banc de proves

En aquest apartat es pretén mostrar la disposició de cada un dels elements del banc de proves. Aquest és un punt important del treball ja que mostra d'una forma real la distribució de tots els elements del banc i la seva funció.

6.3.1. Banc de proves sense carretó

La figura següent mostra la disposició final del banc de proves sense carretó. Com es pot observar, s'han representat tots els elements dissenyats en el projecte, i tots els elements que anteriorment s'han escollit per dur a terme les funcions que s'han de desenvolupar.

Tal i com s'ha explicat anteriorment, la bancada del banc se separà en tres zones ben diferenciades: zona A (zona de la dreta), zona B (zona central o de transmissió) i zona C (zona de l'esquerra).

En la zona A es troba representat el motor de corrent continu escollit que s'utilitzarà en el banc de proves com a sistema de frenat dinàmic. Aquest motor es troba falcat sobre les guies mòbils que, com s'ha comentat anteriorment, són imprescindibles per dotar al motor de moviment horitzontal (eix Y). També es pot observar que existeixen dos possibles opcions d'assaig. La primera opció és l'actual. Les proves s'efectuaran mitjançant la connexió mecànica entre els dos motors, passant pel transductor de parell i pel reductor planetari. L'altra opció existent és la que s'assoliria desplaçant tots els elements cap a la dreta, per tal de connectar-los sense utilitzar el reductor.

Com es pot observar, en la zona B hi ha tres elements diferenciats. Aquests elements són la bancada del reductor planetari, la bancada del transductor de parell i la bancada de l'eix de transmissió. Cada un d'aquests elements té un cert grau de mobilitat, que resulta necessari per tal d'efectuar tots els assajos que es pretenen realitzar en el banc. Aquesta mobilitat és gràcies a les guies que hi ha en la zona B.

Finalment, hi ha la zona C, que està representada principalment per la plataforma elevadora. Com s'ha comentat anteriorment en les característiques d'aquest conjunt, la plataforma és la part més important de tot el banc, ja que permetrà efectuar diferents assaigs de motors que tinguin alçades variades d'eixos. A més, el sistema de guies mòbils permetrà que el motor a assajar tingui llibertat de moviment en els tres eixos cartesians.

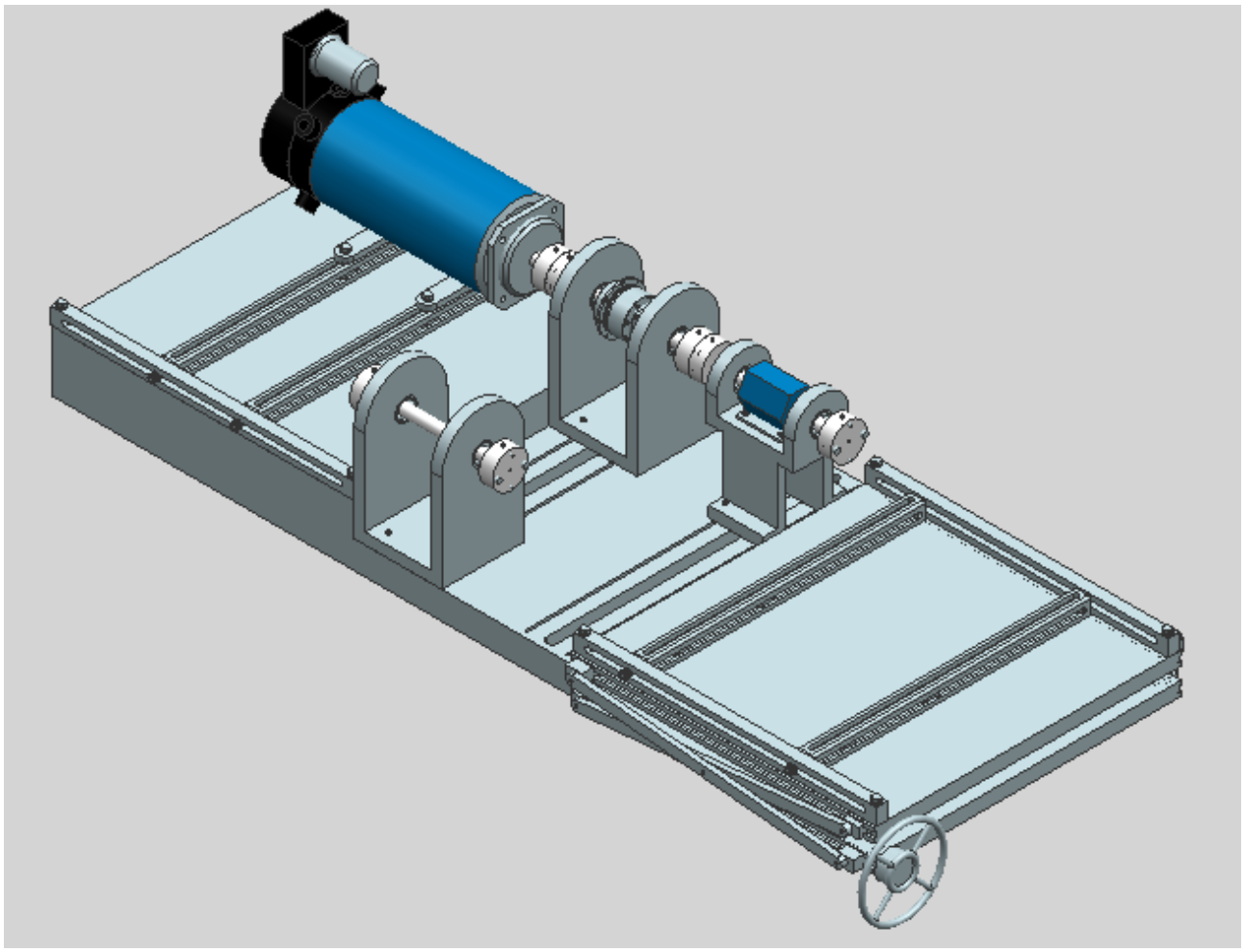

Figura 29 Banc de proves sense carretó

6.3.2. Banc de proves vist des de sota

S'ha considerat oportú fer una representació gràfica del sistema de fixació de la zona B. Tal i com es pot observar en la següent imatge, el sistema està basat simplement en tres plaques metàl·liques que, mitjançant uns cargols d'unió amb les plataformes, permeten el desplaçament i fixació d'aquestes en un punt desitjat. A l'hora de dissenyar aquests elements, s'ha decidit realitzar-ho d'aquesta manera per tal d'evitar problemes d'alineació d'eixos. Aquest era un dels principals problemes a solucionar per aconseguir un banc de proves funcional. Amb aquest sistema s'aconsegueix una fiabilitat d'anàlisi de motors que no es veu dificultat per les dimensions que aquests puguin tenir.

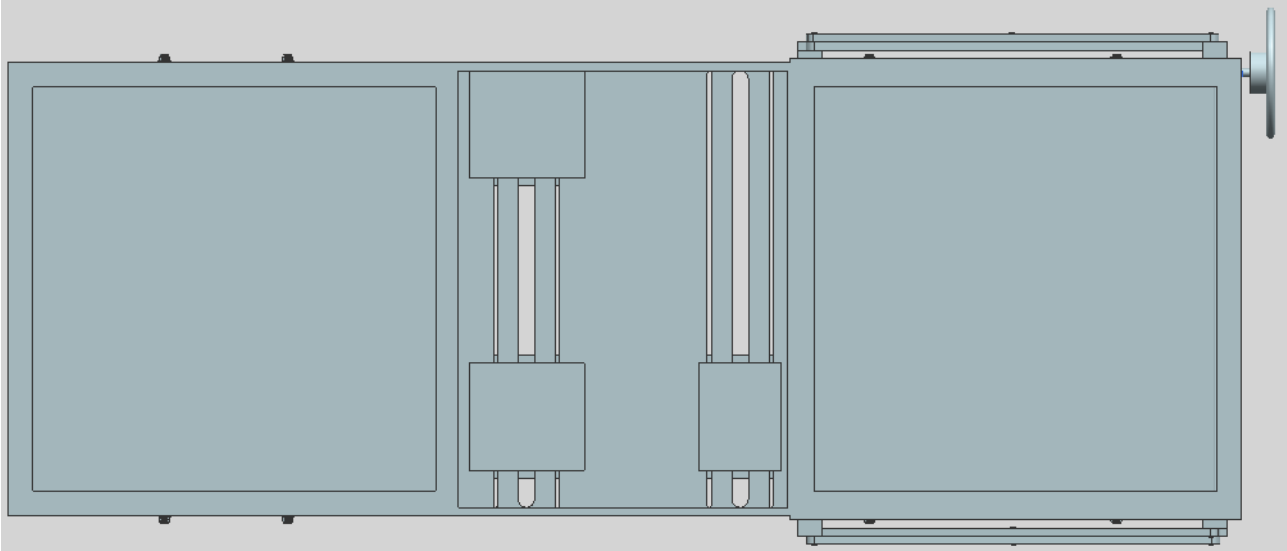

Figura 30 Banc de proves vist de sota

6.3.3. Transductor de parell

La següent imatge mostra la disposició del transductor de parell sobre la bancada de suport d'aquest. Com es pots observar, surten dos eixos del transductor de parell cap a direccions oposades. Un d'aquests eixos uneix mecànicament el transductor de parell amb el reductor planetari, i si es desplaça el transductor cap a la dreta, uneix aquest directament amb el motor de corrent continu. L'altre eix, uneix el motor d'assaig amb el transductor, tant en la posició actual com en l'altra.

L'altre element que es pot observar en la figura següent, és el rodament de boles. Com ja s'ha comentat anteriorment, aquest element s'utilitza per facilitar el rodament de l'eix amb tots els elements de connexió. A la bancada hi ha dos rodament, un per cada eix que surt del transductor.

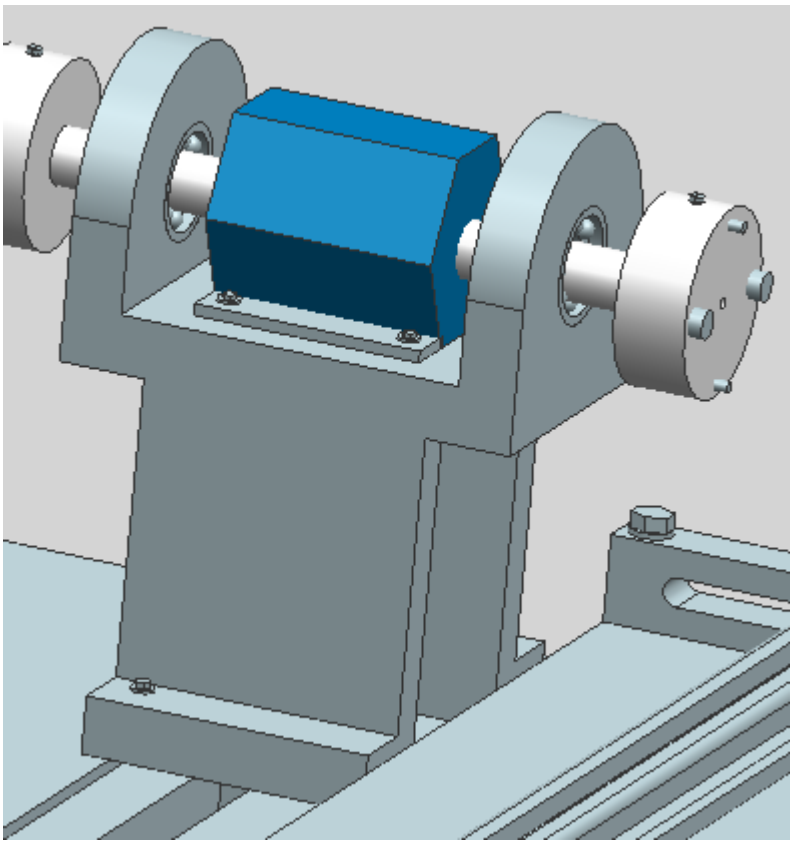

Figura 31 Transductor de parell

6.3.4. Reductor planetari

En la següent imatge, es pot observar la disposició del reductor planetari en el banc d'assaig. Aquest element s'uneix mitjançant els acoblaments mecànics escollits anteriorment. A l'igual que el transductor, també surten dos eixos de transmissió cap al reductor. Un d'aquests eixos connecta el motor de corrent continu amb el reductor, i l'altre connecta aquest amb el transductor de parell.

Igual que en la imatge anterior, es pot observar que també hi ha dos rodaments situats en els laterals de la bancada del transductor de parell.

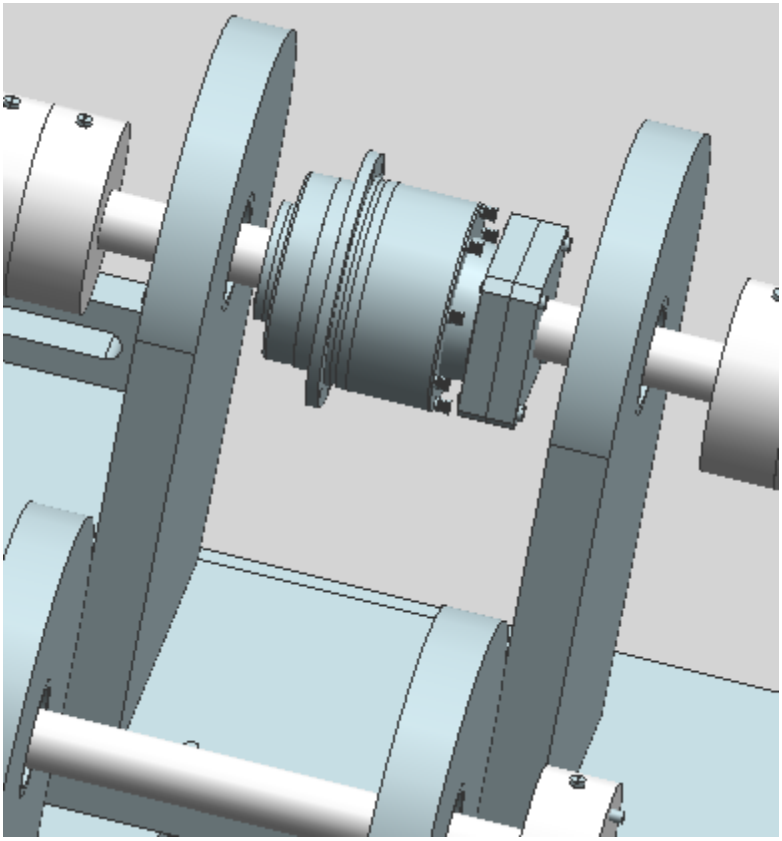

Figura 32 Reductor planetari

6.3.5. Motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic

En aquesta última imatge, es pot observar la disposició del motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic. En la imatge s'hi distingeix l'acoblament mecànic que tindrà el motor tant amb el reductor planetari com amb l'eix de transmissió de l'altra posició. La figura representada correspon, al detall, les característiques geomètriques principals del motor de corrent continu escollit.

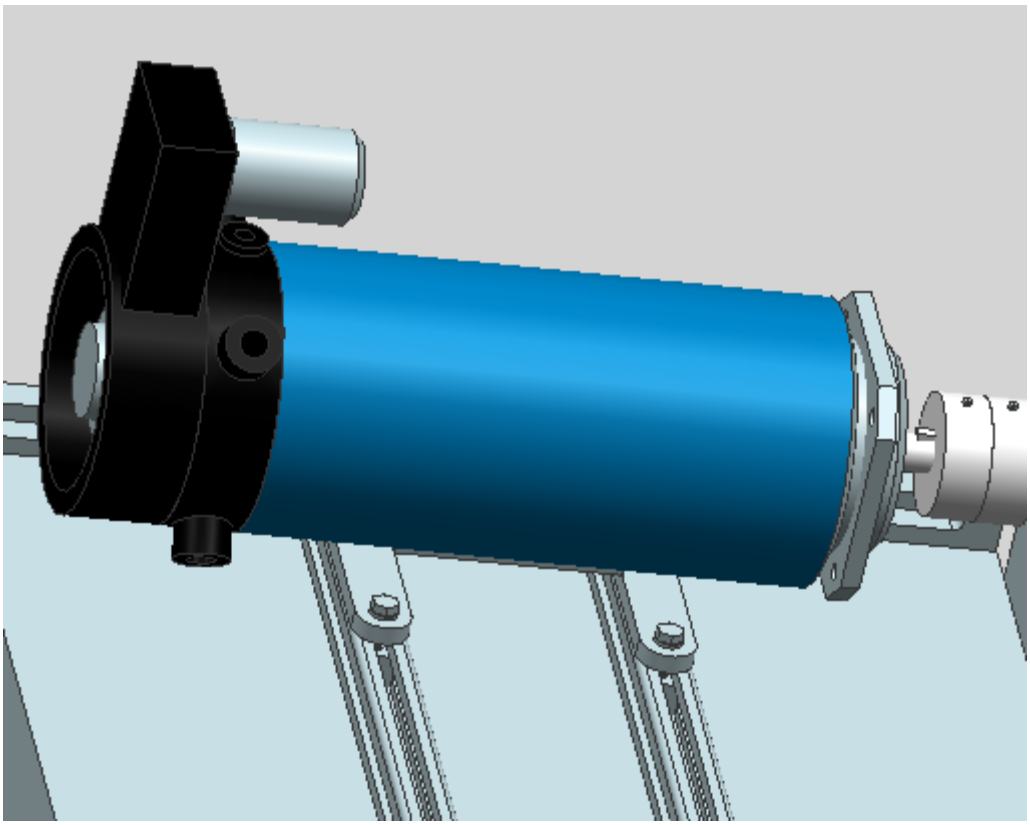

Figura 33 Motor de corrent continu que actua com a fre dinàmic

7. Pla de manteniment del banc de proves

El pla de manteniment del banc, és una part de vital importància per tal d'obtenir un correcte funcionament de tot el conjunt i una prolongació de la vida útil d'aquest. Per tal d'aconseguir una vida útil més elevada, s'ha decidit enumerar quins possibles factors poden malmetre el sistema i reduir la vida útil de cada un dels nostres components.

El que es pretén aconseguir amb aquest apartat és dotar a l'usuari d'una visió crítica de quins són aquests factors de desgast i per quins motius apareixen.

7.1. Manteniment del motor de corrent continu

Existeixen diversos factors que intervenen en l'esperança de vida útil d'un motor elèctric i, per tant, és difícil predir amb exactitud quant de temps pot arribar a durar un motor. La vida útil dels motors elèctrics oscil·la entre unes 1.000 i 3.000 hores. És lògic, però, pensar que com més òptimes siguin les condicions de treball del motor, més elevada serà la vida útil d'aquest.

Els factors citats a continuació són la principals causes de reducció de vida útil dels motors elèctrics:

- Càrrega elèctrica: com més elevada sigui la càrrega que s'injecta al motor, més alt és el desgast d'aquest.
- Velocitat: les altes velocitats provoquen un desgast elèctric i mecànic més elevat.
- Cicle de treball: Les condicions extremes de parada-arrancada, disminueixen la vida útil del motor.
- Condicions ambientals: temperatura, humitat, vibracions, etc.

7.2. Manteniment del reductor

Els reductor, en general, acostuma a tenir una vida útil de funcionament d'entre 1.000 i 3.000 hores a la màxima càrrega permesa i a la velocitat d'entrada recomanada.

Els factors citats a continuació són la principal causa de reducció de vida útil dels reductors:

- Sobrepassar el parell màxim permès: provoca un desgast excessiu dels components interns del reductor.
- Temperatura: l'augment de temperatura en la zona de contacte amb les dents dels engranatges, pot destruir el lubricant intern del reductor.

- Excés de la velocitat d'entrada: provoca un desgast excessiu dels components interns del reductor.

7.3. Manteniment dels rodaments

Els rodaments utilitzats en el disseny del banc de proves estan degudament calculats, assegurant així que aguanten sobradament les sol·licitacions del banc d'assaig [1.5.1.A, Pàg. A.15].

Els rodaments rígids de boles escollits, venen degudament lubrificats de fàbrica i, al ser estàtics, no cal preocupar-nos de la seva lubrificació.

Un cop el banc està en funcionament, és convenient comprovar el soroll del rodament. Per un correcte funcionament d'aquest, el soroll ha de ser suau. Si s'observa que és elevat i irregular pot ser un indicador del deteriorament del rodament.

7.4. Manteniment de les unions cargolades

En el disseny que s'ha realitzat, no existeixen unions cargolades de gran importància. No obstant, és recomanable revisar periòdicament aquests tipus d'unions.

8. Impacte ambiental

Una part important en la realització d'un projecte és tenir en compte els possibles efectes que la construcció del banc de proves pugui tenir sobre el medi ambient.

A continuació, es mostra la interacció que tindrà el banc de proves amb el medi ambient en tres fases diferents de la seva vida.

8.1. Impacte ambiental en la construcció del banc de proves

La totalitat de les peces que composen el banc d'assaig es fabriquen amb dos materials que estan catalogats com a no contaminants. Aquests són l'acer 2C25 i l'aliatge d'alumini AlZn6MgCu.

La fabricació dels elements es realitzarà mitjançant un mecanitzat clàssic. La ferritja obtinguda en el procés de fabricació, caldrà ser recollida, classificada segons el tipus de material i posteriorment, transportada a una deixalleria específica per a la recollida de materials de tipus metall per poder ser reciclada.

8.2. Impacte ambiental en el funcionament del banc de proves

Durant el funcionament i d'acord amb el pla de manteniment del banc, caldrà revisar cada un dels components emprats. Per tal de no malmetre el medi, cal realitzar un manteniment periòdic de la lubrificació dels rodaments utilitzats. Els residus dels productes de lubrificació cal dipositar-los en un contenidor específic i portar-los a la deixalleria per al seu posterior reciclatge.

A més a més, tots aquells components que puguin resultar danyats durant el funcionament del banc d'assaig, cal separar-los segons el tipus de material i posteriorment dipositar-los en contenidors específics. Finalment han de ser transportats a la deixalleria.

El banc de proves en general, és respectuós amb el medi ambient degut a que té un baix consum d'energia.

8.3. Impacte ambiental en el desballestament del banc de proves

Un cop finalitzada la vida útil del banc de proves dissenyat, cal desmuntar cada un dels elements que el formen i tot seguit inspeccionar-los per comprovar si algun element es pot aprofitar. Un cop finalitzat aquest procés, cal classificar els elements que no es poden aprofitar per dur-los a la deixalleria per un posterior reciclatge.

9. Pressupost

9.1. Introducció

En aquest apartat, es detalla el pressupost previst pel desenvolupament, fabricació i construcció del banc de proves per a motors i generadors de potència fraccionària.

S'ha tingut en compte diferents partides a l'hora de preveure el cost total del projecte:

- Cost dels components sèrie.
- Cost de fabricació dels components de disseny.
- Cost d'enginyeria.

S'ha considerat l'impost sobre el valor afegit (I.V.A) en cada una de les partides citades anteriorment.

9.2. Cost dels components sèrie

Els components sèrie són aquells elements que no requereixen fabricació pròpia sinó que corresponen als elements escollits mitjançant catàlegs de diversos proveïdors i que, per tant, poden ser adquirits íntegrament sense necessitat d'incorporar un muntatge pròpiament dit.

Els elements sèrie escollits pel disseny del banc de proves són els següents:

- Motor
- Reductor
- Encòder
- Transductor de parell
- Rodaments
- Elements de fixació

Tot seguit es mostra una taula amb els preus finals de cada component sèrie. S'ha tingut en compte l'impost sobre el valor afegit (I.V.A) en cada un dels elements escollits.

Concepte	Preu [€]	Unitat	Preu final + 18 % IVA [€]
Motor MGpF 80/4/7	628.3	1	741.4
Reductor AD047	204.65	1	241.48
Rodament POP 6212	12.68	6	89.77
Acoblament Soinflex-F	95.51	4	450.80
Encòder EL30E	87.64	1	103.41
Transductor DR-2477	1033.95	1	1220.06
Cost total components de sèrie (18% IVA inclòs)			**2846.93**

Taula 10 Cost dels components sèrie

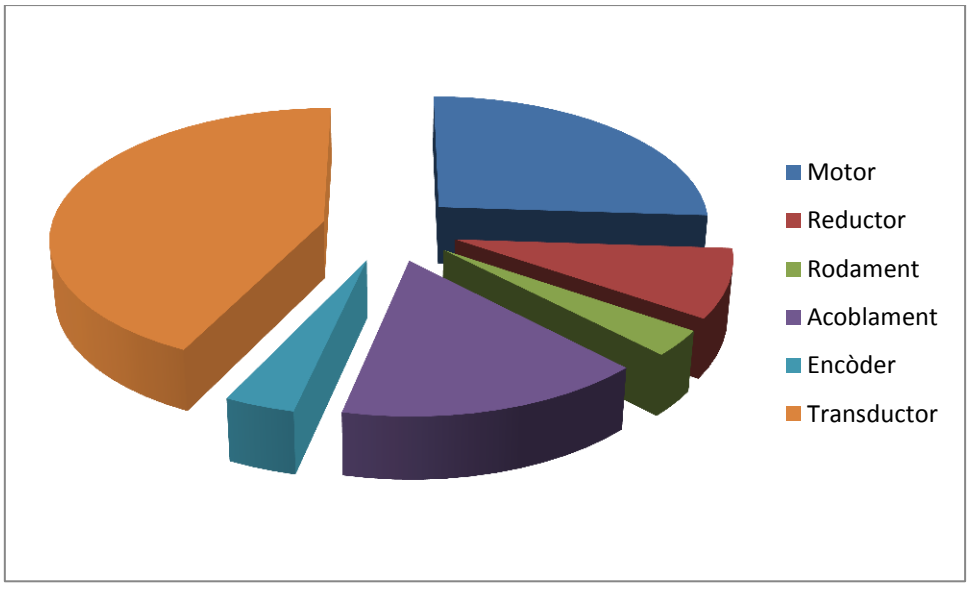

Figura 34 Cost dels components sèrie

Tal i com s'observa en la figura anterior, es pot apreciar que el que suposa una inversió més important és la compra del transductor, seguidament del motor i l'acoblament.

9.3. Cost de fabricació dels components de disseny

Els components de disseny són tots aquells elements que formen part del banc de proves i que han estat dissenyats especialment per a la realització d'una funció en concret. Per tant, requereixen l'adaptació personalitzada d'un sistema, i és per això que aquest fet suposa un cost afegit.

Per al correcte pressupostat de tots aquests elements, és necessari realitzar un estudi de cost de material i un de cost de fabricació. [2.A, Pàg. A.33]. Així doncs, cal tenir en compte els dos costos següents:

- Cost del material necessari per a la fabricació de les peces.
- Cost de fabricació dels elements.

Concepte	Subtotal + 18% IVA [€]
Cost de material	2.663,86
Cost de fabricació	311,815
Cost total dels elements de disseny (18% IVA inclòs)	**2.975,68**

Taula 11 Cost total dels elements de disseny

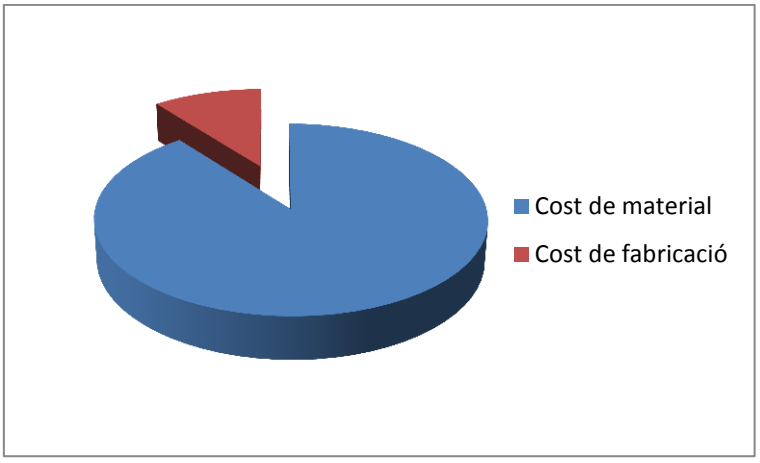

Figura 35 Cost de fabricació dels elements de disseny

Tot i que el que suposa una inversió superior és fer la compra del material, no es pot menysprear el cost de fabricació.

9.4. Cost d'enginyeria

En aquest apartat es realitza el pressupost d'enginyeria. Aquest contempla el cost de les hores invertides en documentació, disseny, càlculs, elaboració de plànols i muntatge del banc d'assaig. Per a la realització del banc d'assaig, cal tenir en compte la intervenció de diferents professionals.

Concepte	Professional	Preu [€/h]	Temps [h]	Preu [€]
Documentació	Enginyer	50	10	500
Disseny	Enginyer	50	50	2.500
Càlculs	Enginyer	50	15	750
Elaboració de plànols	Delineant	20	10	200
Muntatge i posta apunt	Muntador	25	10	250
Subtotal				4.200
Cost total d'enginyeria (18% IVA inclòs)				**4.956**

Taula 12 Cost d'enginyeria

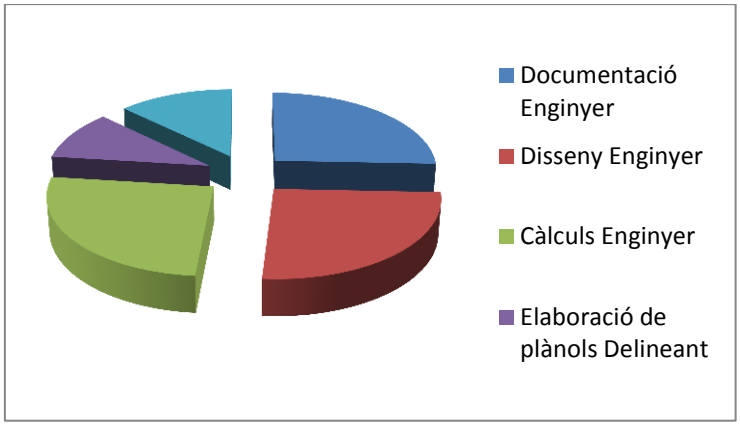

Figura 36 Cost d'enginyeria

Així doncs, es pot observar que el que suposa un cost superior és fer el disseny del banc de proves, seguidament dels càlculs previs que s'ha hagut de dur a terme per a la seva consecució.

9.5. Pressupost final del projecte

En la següent taula, es realitza la suma de les partides anteriors per a obtenir el pressupost final del projecte.

Concepte	Subtotal (18% IVA inclòs)
Cost dels elements de sèrie	2.846,93
Cost dels elements de disseny	2.975,68
Cost d'enginyeria	4.956
Cost total del projecte	**10.778,61**

Taula 13 Pressupost final del projecte

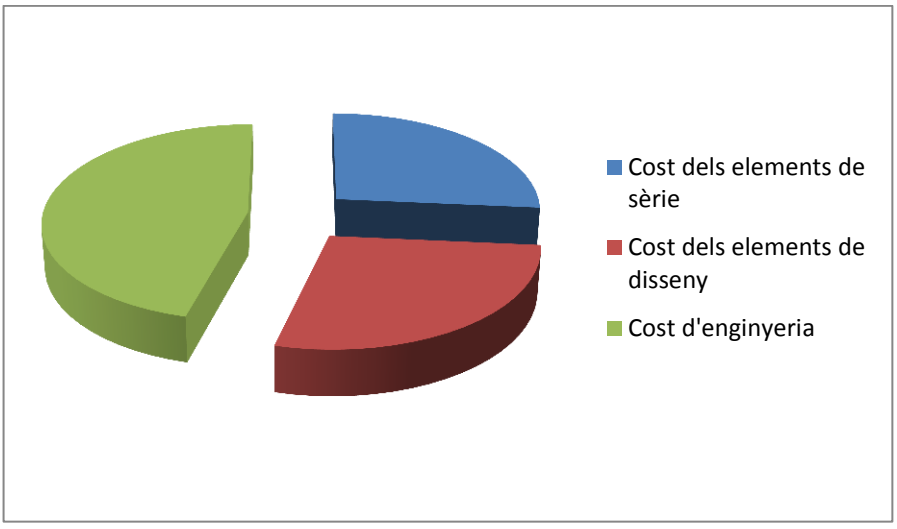

Figura 37 Pressupost final del projecte

D'aquesta manera, es pot apreciar com el cost superior de les tres fases per al disseny del banc de proves ve donat pel cost d'enginyeria. Tanmateix, no deixa de ser considerable l'aportació econòmica que caldrà fer per a la compra dels elements tant de sèrie com els que posteriorment s'haurà de dissenyar d'una manera personalitzada.

Conclusions

En el transcurs d'aquest projecte, s'han obtingut diverses conclusions que fan referència a cadascun dels elements escollits i dissenyats del banc de proves, així com aspectes econòmics i mediambientals a tenir en consideració per a la realització d'aquest projecte.

En primer lloc, l'elecció del motor de corrent continu que actuarà com a fre dinàmic es justifica amb el fet que aquest permet la reversibilitat en els assajos. Així doncs, aquest tipus de fre pot actuar tant de motor com de generador.

A més, en l'alimentació del motor que actuarà com a fre, s'utilitzarà un trossejador reversible que permetrà controlar el corrent del motor i el "dutycycle" de treball d'aquest. D'aquesta manera s'aconsegueix que el fre pugui revertir ràpidament la seva funció de treball, aconseguint que actuï com a motor o com a generador.

És necessari introduir un reductor en el banc de proves per tal de poder optar a assajar a velocitats superiors a les que ofereix el motor escollit com a fre. S'ha utilitzat un reductor planetari ja que permet la col·linealitat entre eixos, factor imprescindible per al bon funcionament del banc.

S'ha incorporat un transductor de parell al sistema per tal de poder obtenir la característica parell-velocitat del motor a assajar mitjançant la obtenció d'una gràfica. Això permet visualitzar d'una forma ràpida i precisa les característiques del motor sense necessitat de realitzar càlculs posteriors. Tanmateix, la incorporació d'aquest element al banc de proves suposa una inversió considerable.

Ha estat necessari els càlculs justificatius dels elements de transmissió mecànics per tal de no sobredimensionar i encarir el pressupost final del projecte. Exemples d'aquests elements són els rodaments i els acoblaments elàstics.

El sistema d'elevació permet assolir l'alçada necessària per a poder acoblar el motor a assajar amb el motor que actua com a fre. Aquest és un aspecte essencial per aconseguir no malmetre els components mecànics de transmissió, reduir sobreesforços i aconseguir així una col·linealitat entre elements. Aquest sistema permet la seva elevació gràcies a un volant que s'activarà de forma manual. En la seva construcció, cal disposar d'un dimensionat precís i estricte, ja que un error de càlcul pot impedir el seu correcte funcionament. Conseqüentment, és interessant disposar d'un sistema de funcionament similar, mesurar les seves dimensions i extrapolar-ho en proporció a les mides del present sistema d'elevació.

En el banc dissenyat s'ha considerat essencial la mobilitat de tots els seus elements en els tres eixos cartesians. Aquesta mobilitat és necessària ja que el banc disposa de dues posicions per a realitzar els assajos, una amb reductor i l'altra sense. Aquest factor s'aconsegueix mitjançant guies mòbils i el sistema d'elevació manual.

El disseny d'aquest banc permet la mobilitat del conjunt gràcies al carretó que té la funció de suport i desplaçament del sistema. D'aquesta manera, pot esdevenir un instrument de treball útil no tan sols en els laboratoris d'Enginyeria Elèctrica.

El material utilitzat per a la construcció del banc de proves és adient quant a aspectes ambientals, ja que preserven la integritat del medi ambient. Malgrat tot, la utilització d'aliatge d'alumini suposa un encariment del pressupost prou considerable.

Fent l'anàlisi de pressupost s'ha arribat a la conclusió que la realització d'aquest projecte suposaria una forta inversió per a la Universitat. Malgrat aquesta inversió, el banc dissenyat no tindria cap garantia en la seva construcció. És per això que s'ha realitzat un estudi d'alternatives en el mercat per determinar si existeixen bancs de proves amb les condicions desitjades. Un cop efectuat, s'ha pogut comprovar que hi ha suficients proveïdors que tenen bancs de proves amb característiques similars al dissenyat i que, per tant, proporcionarien una garantia en el producte utilitzant una inversió de capital similar.

Els resultats obtinguts un cop finalitzat el projecte s'ajusten als objectius proposats a l'inici del projecte.

Agraïments

M'agradaria agrair a totes aquelles persones que han aportat el seu granet de sorra en la consecució d'aquest projecte i sense les quals no hauria estat possible.

Vull agrair especialment l'ajut rebut per part del meu tutor, Pere Andrada, per tot el temps dedicat durant aquest mesos i per aconsellar-me en tot el que ha estat possible.

També vull agrair al professorat del departament d'Enginyeria Mecànica tot l'assessorament donat al llarg d'aquest temps.

Però sobretot, vull agrair a la meva família i parella tot el suport i ajut que m'han donat durant la realització del projecte.

Bibliografia

Llibres

[1] MUHAMMAD H. RASHID. "Electrónica de potencia". Ed. Pearson, 2004.

[2] A.E. FITZGERALD, CHARLES KINGSLEY, STEPHEN D. UMANS. "Máquinas eléctricas". Ed. Mc Graw Hill, 2004.

[3] DIANA BALSAMEDA URIARTE. "Manual Práctico CAD Básico y Avanzado NX5". Ed. Servicios Informativos DAT, S.L, 2007.

[4] ROBERT L. MOTT, VIRGILIO GONZÁLEZ POZO. "Diseño de elementos de maquinas", Ed. Pearson, 2006.

[5] FERDINANAD P. BEER, E. RUSSELL JOHNSTON, ELLIOT R. EISENBERG. "Mecánica vectorial para ingenieros, estàtica". Ed. Mc Graw Hill, 2007.

[6] JOSÉ M. AURIA APILLUELO, PEDRO IBÁÑEZ CARABANTES, PEDRO UBIETO ARTUR. "Dibujo industrial, conjuntos y despieces". Ed. Thomson, 2005.

[7] WILLIAM, D. CALLISTER, Jr. "Ciéncia e Ingeniería de los Materiales". Ed. Reverté, 2001.

[8] J.L. MERIAM, L.G. KRAIGE. "Mecánica para ingenieros, dinámica". Ed. Reverté, 2007.

Recursos en xarxa consultats

Les pàgines web mostrades a continuació s'han visitat durant la realització del projecte entre els mesos de Març i Juny de 2011.

- MAGTROL. Banc de proves.
  [www.magtrol.com]
- LORENZ MESSTECHNICK. Banc de proves i catàleg transductor de parell.
  [www.lorenz-messtechnick.de]
- SENSING. Catàleg transductor de parell.
  [www.sensing.es]
- GRUPO NKE. Catàleg rodaments.

[www.nke.at]

- GRUPO SKF. Catàleg rodaments.
  [www.skf.com]
- TECNOPOWER. Catàleg reductors.
  [www.tecnopower.es]
- TRANSTECNO. Catàleg reductors.
  [www.transtecno.es]
- SOCIEDAD INDUSTRIAL DE TRANSMISIONES S.A. Catàleg acoblaments.
  [www.sitsa.es]
- ABB. Catàleg Motors.
  [www.abb.es]
- VASCAT. Catàleg Motors.
  [www.vascat.es]
- CROUZET. Catàleg Motors.
  [www.crouzet.com]
- SIEMENS. Catàleg Motors.
  [www.siemens.com]
- MOTOREL. Catàleg Motors.
  [www.motorel.com]
- AUTOMATITZACIÓ SIEMENS. Tutorial Unigraphics.
  [www.plm.automation.siemens.com]