

Treball Fi de Grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol:

**BANC DE PROVES PER A L'OBTENCIÓ DE LES CORBES
CARACTERÍSTIQUES DEL MOTOR ELÈCTRIC D'UNA
MOTOCICLETA**

Document: Núm. 1 Memòria

Alumne: Ivan Ruiz Cózar

Director/tutor: Joan Andreu Mayugo Majó

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria mecànica

Convocatòria: Setembre del curs 2014/15

ÍNDEX

| | |
|--|-----------|
| MEMÒRIA | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓ | 7 |
| 1.1. Antecedents | 7 |
| 1.1.1. Peticionari | 8 |
| 1.1.2. Necessitat del peticionari | 8 |
| 1.2. Objecte del projecte | 9 |
| 1.3 Especificacions | 9 |
| 1.3.1. Especificacions del projecte | 9 |
| 1.3.2. Abast del projecte | 9 |
| 2. DESCRIPCIÓ CONCEPTUAL | 10 |
| 2.1. Motor elèctric ELMOTO PL000 | 11 |
| 2.2. Banc de proves dinamomètric APICOM FR 6 | 12 |
| 3. DESCRIPCIÓ DELS ELEMENTS | 13 |
| 3.1. Bancada del conjunt de l'estructura del motor | 14 |
| 3.2. Conjunt de l'estructura del motor | 15 |
| 3.3. Adaptació del pinyó al banc de proves | 20 |
| 3.4. Suport accelerador de la motocicleta | 21 |
| 4. FABRICACIÓ | 22 |
| 5. PROVA | 24 |
| 6. RESUM DEL PRESSUPOST | 26 |
| 7. CONCLUSIONS | 26 |
| 8. RELACIÓ DE DOCUMENTS | 27 |
| 9. BIBLIOGRAFIA | 28 |

| | |
|---|-----------|
| ANNEX A. PREDISSENY | 29 |
| A.1. INTRODUCCIÓ | 30 |
| A.2. DISSENY | 31 |
| A.2.1. Banc de proves mitjançant el sistema de frenada de la motocicleta | 31 |
| A.2.2. Banc de proves mitjançant una corretja | 33 |
| A.2.3. Banc de proves dinamomètric | 35 |
| A.2.4. Avaluació dels diferents dissenys | 36 |
| A.3. SOLUCIÓ DE LA FIXACIÓ DELS PINYONS | 39 |
| A.3.1. Fixació dels pinyons mitjançant un eix estriat | 40 |
| A.3.2. Fixació dels pinyons amb unitats còniques | 41 |
| A.3.3. Fixació dels pinyons mitjançant cargols | 42 |
| A.3.4. Pinyons alternatius | 43 |
| A.3.5. Avaluació de les diferents fixacions dels pinyons | 44 |
| | |
| ANNEX B. CÀLCULS | 46 |
| B.1. INTRODUCCIÓ | 47 |
| B.2. RELACIÓ DE TRANSMISSIÓ | 48 |
| B.3. CÀLCULS ESTRUCTURALS | 52 |
| B.3.1. Càlcul de les reaccions de l'eix intermedi | 52 |
| B.3.2. Coeficient de seguretat de l'eix intermedi | 54 |
| B.3.3. Comprovació de la resistència i vida dels rodaments | 59 |
| B.3.4. Coeficient de seguretat de la cadena de transmissió de la segona etapa | 61 |
| B.4. CONCLUSIONS | 62 |

| | |
|---|-----------|
| ANNEX C. DESCRIPCIONS TÈCNIQUES | 63 |
| C.1. ELEMENTS DE LA MOTOCICLETA | 64 |
| C.1.1 Motor elèctric de la motocicleta | 64 |
| C.1.2. Bateria de la motocicleta | 65 |
| C.2. BANC DE PROVES DINAMOMÈTRIC | 66 |
| C.3. ELEMENTS DE L'ESTRUCTURA MOTOR | 67 |
| C.3.1. Peces de fabricació | 67 |
| C.3.2. Rodaments | 68 |
| C.3.3. Transmissió | 68 |
| | |
| ANNEX D. PROCÉS DE FABRICACIÓ I MUNTATGE | 70 |
| D.1. PROCÉS DE FABRICACIÓ | 71 |
| D.1.1. Eix intermedi | 71 |
| D.1.2. Adaptador corona motor | 72 |
| D.1.3. Biga estructura motor | 73 |
| D.1.4. Base estructura motor | 74 |
| D.1.5. Subconjunt soldadura estructura motor | 75 |
| D.1.6. Tensor lleva excèntrica | 77 |
| D.1.7. Pivot tensor | 78 |
| D.1.8. Corona | 79 |
| D.1.9. Pinyó | 80 |
| D.1.10. Adaptador pinyó | 81 |
| D.2. PROCÉS DE MUNTATGE | 82 |
| D.2.1. Procés de muntatge electrònic | 82 |
| D.2.2. Procés de muntatge mecànic | 82 |

| | |
|---|------------|
| ANNEX E. MANUAL D'USUARI I MANTENIMENT | 85 |
| E.1. INTRODUCCIÓ | 86 |
| E.2. NORMES DE SEGURETAT I SALUT | 87 |
| E.3. PROCEDIMENT DE LA PROVA | 89 |
| E.3.1. Comandaments | 89 |
| E.3.2. Configuració del programa | 90 |
| E.3.3. Prova tipus rampa | 96 |
| E.3.3. Prova estacionaria | 96 |
| E.4. MANTENIMENT | 98 |
| | |
| ANNEX F. RESULTATS DE LES PROVES | 99 |
| F.1. INTRODUCCIÓ | 100 |
| F.2. RESULTATS DE CADA PROVA | 103 |
| F.2.1. Prova 1 | 103 |
| F.2.1. Prova 2 | 105 |
| F.2.1. Prova 3 | 107 |
| F.2.1. Prova 4 | 109 |
| F.3. COMPARACIÓ DE LES PROVES | 111 |
| F.4. CONCLUSIONS | 116 |

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

A la Escola Politècnica Superior (EPS) de la Universitat de Girona (UdG) hi ha un grup d'estudiants que a l'any 2013 va crear l'Associació UdG Racing Team (UdGRT) per participar a la competició Barcelona Smart Moto Challenge (Barcelona SMC), entre d'altres. Aquesta és una competició on el seu objectiu principal és dissenyar i construir una motocicleta elèctrica que compleixi amb el Reglament Europeu núm. 168/2013, referent a l'homologació de vehicles de dos o tres rodes.

En l'edició d'aquest any 2015 la motocicleta ha de complir amb l'objectiu de millorar la mobilitat de petites empreses de transport. Degut això, els principals requisits que ha de complir la motocicleta són:

Disposar d'una capacitat equivalent al volum de tres caixes de pizza.

Disposar d'una aplicació telefònica per controlar el nivell de la bateria, la geolocalització i el nivell de vibració que produeix el paviment per on circula la motocicleta.

L'esdeveniment esportiu té lloc al Circuit de Barcelona-Catalunya (Circuit de Montmeló) i participen 11 equips de diferents països.

L'organització de la competició s'encarrega de subministrar el motor elèctric de la marca ELMOTO model PL0002, la electrònica per controlar el motor i la bateria. D'aquesta forma garanteix una igualtat entre els equips. Però no dona cap tipus de característica mecànica del motor i tampoc deixa modificar la electrònica del controlador. Per aquest motiu, els membres de l'equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT han realitzat un assaig amb el banc de proves inercial, situat al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure Figura 1. On han utilitzat la motocicleta de l'edició anterior, que porta el mateix model de motor i d'electrònica, i han obtingut de forma aproximada les corbes característiques del motor elèctric. A la Figura 1 es pot veure que el motor genera una parell màxim de 105 Nm, una potència màxima de 1,62 kW i arriba a un règim de gir màxim de 475 rpm.

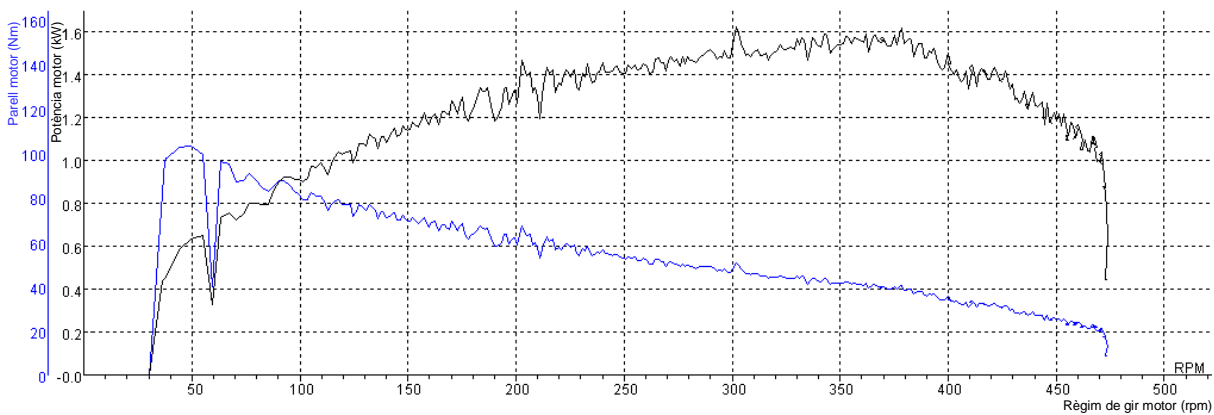


Figura 1. Corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002 de l'edició anterior (any 2014) obtingudes amb un banc de proves inercial.

Al laboratori també es disposa d'un banc de proves dinamomètric amb fre motor de la marca APICOM de la sèrie FR 6 per mesurar la potència dels motors.

Com a novetat a la propera edició de la competició, a l'any 2016, es podrà modificar la electrònica del controlador del motor elèctric. D'aquesta forma es permet desenvolupar els coneixements que han adquirit els membres dels equips en els seus estudis i aconseguir millorar la eficiència del motor. Aquesta modificació a la normativa de la competició genera la necessitat de comprovar experimentalment la variació de les corbes característiques del motor per a cada variació dels paràmetres del controlador.

1.1.1. Peticionari

Institució: Associació UdG Racing Team.

Secció: Barcelona Smart Moto Challenge.

Adreça: C/ M^a Aurèlia Capmany, 17003 Girona.

1.1.2. Necessitat del peticionari

Els membres de l'equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT necessiten obtenir les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002, que subministra l'organització de la competició, per poder realitzar un disseny el més eficient possible.

1.2. Objecte del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és doble, en primer lloc es dissenyarà un equip per obtenir les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002, que utilitzen els membres de l'equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT per a construir la motocicleta elèctrica. En segon terme es construirà i es realitzaran els assajos per obtenir les corbes.

1.3 Especificacions

1.3.1. Especificacions del projecte

Pel que fa les especificacions que demana el client, l'equip ha de permetre obtenir les dades de parell motor màxim, parell d'arrancada, potència màxima, règim de gir màxim i les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002. També s'han de poder obtenir dades a diferents càrregues de treball i a velocitats constants.

L'equip ha de suportar un mínim de 50 assajos, ha de complir les normatives pertinents i tenir unes dimensions inferiors a 3x3x3 m.

A més, l'equip ha d'estar dissenyat amb peces de fàcil fabricació, s'ha de poder muntar i desmuntar amb facilitat i el seu manteniment ha de ser mínim.

També, es demana poder utilitzar l'equip un cop la motocicleta elèctrica estigui construïda.

1.3.2. Abast del projecte

Aquest projecte cal que contingui el disseny i tots els documents necessaris per a la construcció del banc de proves del motor elèctric ELMOTO PL0002. També ha de tenir un manual d'usuari per conèixer el seu correcte funcionament.

A més, ha d'incloure la documentació de les proves realitzades amb el motor elèctric i els resultats i conclusions finals.

2. DESCRIPCIÓ CONCEPTUAL

Per satisfer la necessitat del client s'ha adaptat el motor elèctric ELMOTO PL0002 al banc de proves dinamomètric APICOM FR 6. Tot el muntatge es troba situat al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure plànol 4.00 del Document núm. 2 Plànols.

En primer terme s'ha dissenyat i construït l'adaptació del motor elèctric al banc de proves. En segon terme s'ha configurat el banc de proves per assajar el motor elèctric. Finalment s'han obtingut les corbes característiques del motor.

Per realitzar les proves s'ha utilitzat l'electrònica de la motocicleta. D'aquesta forma els membres de l'equip de Barcelona SMC de la UdGRT poden determinar com afecten les modificacions electròniques de la unitat de control al motor elèctric de la motocicleta.

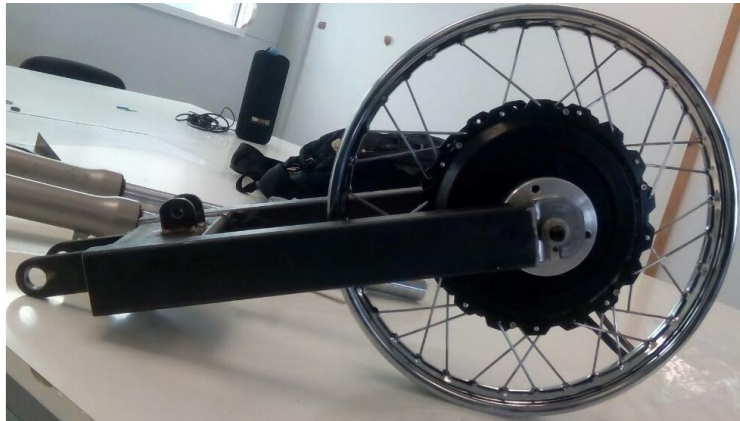
Aquest projecte no ha de complir la Directiva Europea 2006/42/CE relativa a màquines. Perquè aquesta directiva exclou a les màquines especialment dissenyades i fabricades amb vistes a la investigació per a ús temporal en laboratoris (art.1 apartat 2.h).

2.1. Motor elèctric ELMOTO PL000

El motor ELMOTO PL0002 és un motor elèctric de corrent continu sense escobretes anomenat Brushless. En aquest model de motor la part mòbil o rotor és la carcassa i la part fixa o estator és el seu eix. Aquesta configuració facilita el muntatge del motor elèctric a la roda posterior de la motocicleta, com es pot veure a la Figura 2.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Motor elèctric ELMOTO PL0002. (b) Motor elèctric ELMOTO PL0002 muntat amb la llanta posterior de la motocicleta.

L'estator d'aquest motor elèctric està format per un conjunt de bobines alimentades directament amb corrent continu. Aquesta corrent genera un camp electromagnètic que interacciona amb el camp magnètic creat pels imants permanents que formen el rotor. Això provoca que aparegui una força electromotriu que genera el moviment del rotor, és a dir, genera el moviment de la carcassa del motor i per tant de la roda de la motocicleta.

La corrent continu que alimenta el bobinat de l'estator es troba dividida en tres fases i en forma de polsos rectangulars desfasats entre ells 120° . Per augmentar o disminuir la velocitat de gir del motor es varia la freqüència de la corrent d'alimentació. Aleshores es fa imprescindible disposar d'una unitat de control més complexa que la d'un motor de corrent continu amb escobretes.

2.2. Banc de proves dinamomètric APICOM FR 6

El banc de proves dinamomètric APICOM FR 6 es troba situat a la sala de proves del Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure plànol 4.00 del Document núm. 2 Plànols.

Aquest tipus de banc de proves transforma l'energia mecànica del motor que s'assaja en calor. Aquesta calor s'elimina mitjançant un sistema de refrigeració per aigua. Per realitzar aquest procés es disposa d'un fre motor. Aquest està format per dues càmeres de refrigeració per on circula un camp magnètic generat per una bobina d'excitació de corrent contínua. Entre les dues càmeres de refrigeració es troba el rotor format per un eix amb un disc. Quan el rotor gira el disc travessa el camp magnètic i genera una corrent a la superfície de les càmeres de refrigeració que s'oposa a la seva rotació.

Com es pot veure a la Figura 3, el banc de proves disposa d'una cèl·lula de càrrega per mesurar el parell resistent. També, disposa d'un encoder per mesurar el règim de gir del rotor del banc de proves.



Figura 3. Banc de proves APICOM FR 6.

3. DESCRIPCIÓ DELS ELEMENTS

A la Figura 4 es pot veure el muntatge final del motor elèctric adaptat al banc de proves, amb la motocicleta d'aquesta edició 2015 al darrere. Tot el muntatge es troba situat a l'interior de la sala de proves del Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure plànol 4.00 del Document núm. 2 Plànols.



Figura 4. Muntatge final del motor elèctric al banc de proves.

Degut a les característiques mecàniques del motor elèctric i del banc de proves, s'ha dissenyat una transmissió formada per dues etapes. La primera etapa transmet el moviment del motor a un eix intermedi. La segona etapa transmet el moviment de l'eix intermedi a l'eix del banc de proves. Cada etapa està formada per una corona de 52 dents i un pinyó de 11 dents, units mitjançant una cadena de transmissió. Per a més informació veure l'apartat B.2. Relació de transmissió de l'Annex B. Càlculs d'aquest document.

Les principals parts de l'adaptació del motor elèctric al banc de proves s'expliquen a continuació i són:

Bancada del conjunt de l'estructura del motor.

Conjunt de l'estructura del motor.

Adaptació del pinyó al banc de proves.

Suport accelerador de la motocicleta.

3.1. Bancada del conjunt de l'estructura del motor

La bancada del conjunt de l'estructura del motor elèctric està formada per unes bigues IPN muntades en un carro amb quatre rodes, per facilitar el seu transport, veure Figura 5. Aquesta bancada ja es troba disponible al Laboratori de motors tèrmics.



Figura 5. Bancada del conjunt de l'estructura motor.

3.2. Conjunt de l'estructura del motor

El conjunt de l'estructura del motor elèctric està format principalment per dues bigues soldades a una base rectangular, com es pot veure a la Figura 6. Aquesta estructura té la missió de subjectar el motor elèctric i l'eix intermedi.



Figura 6. Estructura motor.

L'eix del motor elèctric es troba guiat a cada extrem per les ranures superiors de les bigues. Amb l'ajuda dels tensors amb forma de lleva excèntrica, el motor es pot desplaçar verticalment 40 mm per aquestes guies (veure plànol 1.01 del Document núm. 2 Plànols) i permet tensar la cadena de transmissió de la primera etapa. Finalment per fixar el motor elèctric a la posició desitjada s'utilitza una femella a cada extrem del seu eix. Tal com es pot veure a la Figura 7.

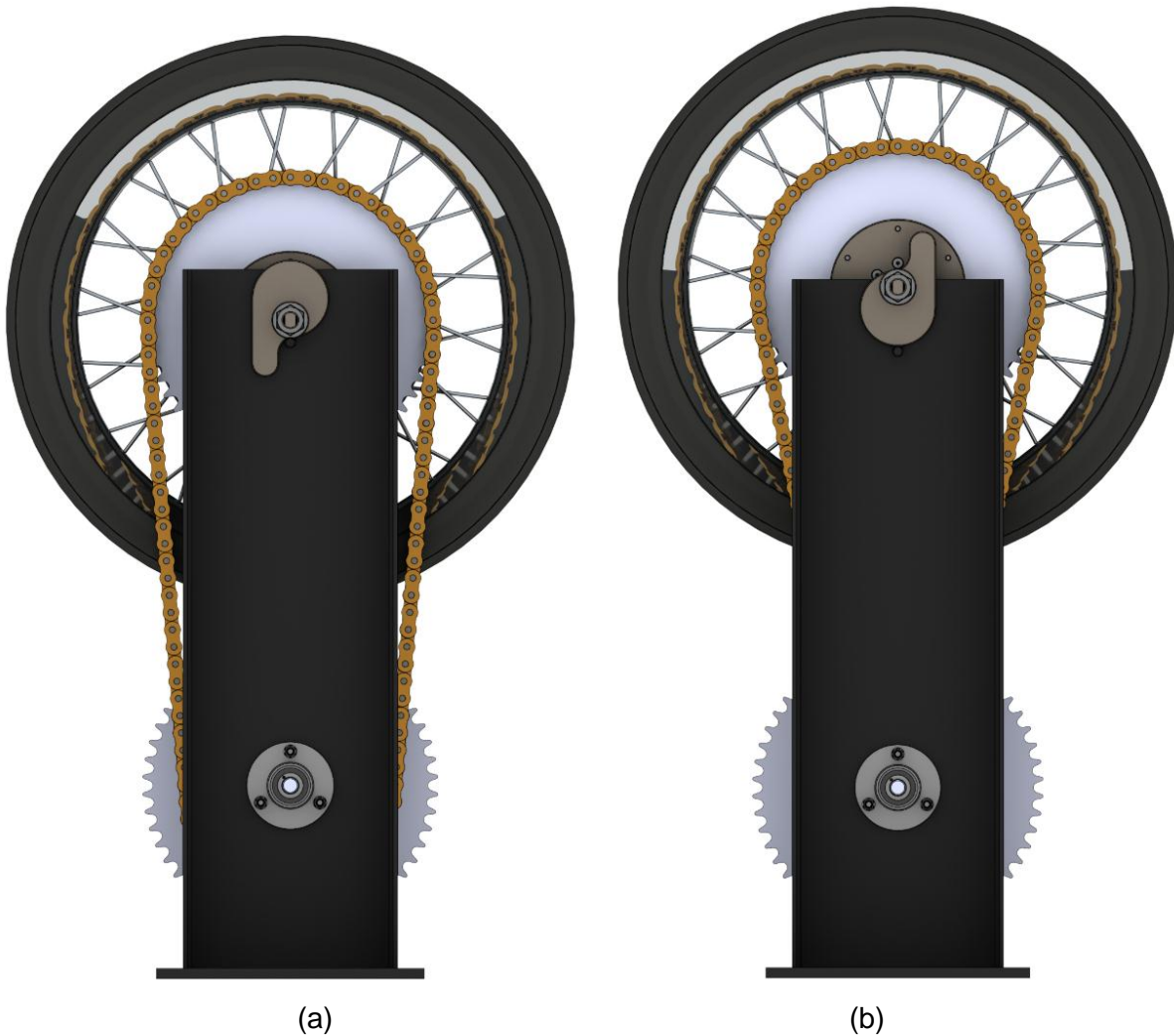


Figura 7. Moviment vertical del motor per tensar la cadena de transmissió de la primera etapa.

On: (a) cadena destensada i (b) cadena tensada

El motor transmet el moviment i el parell a la corona de la primera etapa mitjançant una peça intermèdia i sis cargols a cada banda, com es pot veure a la Figura 8. A continuació aquest parell i moviment es transmet al pinyó de la primera etapa mitjançant la corresponent cadena.

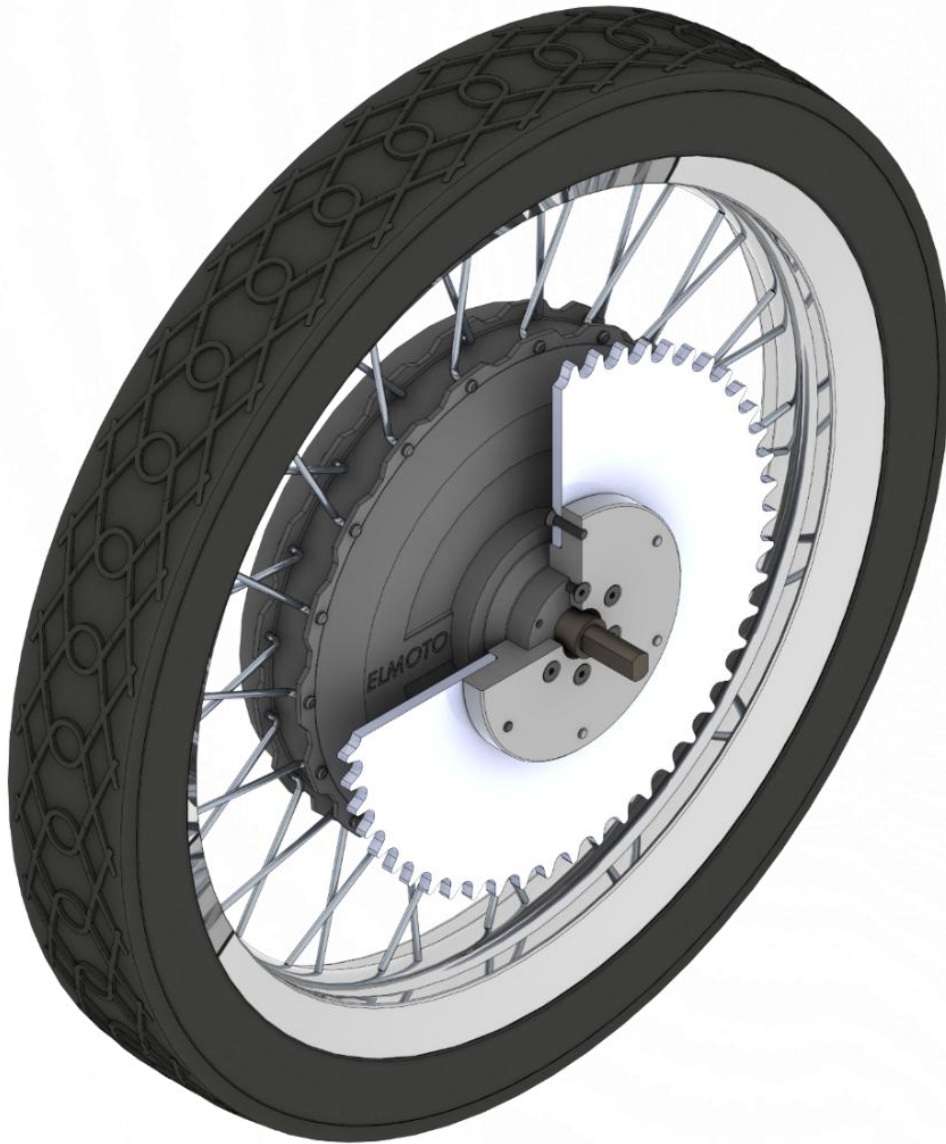


Figura 8. Fixació de la corona motor.

Per transmetre el parell entre el pinyó de la primera etapa i l'eix intermedi s'utilitza una xaveta. També es munta una volandera de seguretat a l'eix intermedi per evitar el desplaçament axial del pinyó, tal com es pot veure a la Figura 9. Per transmetre el moviment i el parell entre l'eix intermedi i la corona de la segona etapa s'utilitzen sis cargols.

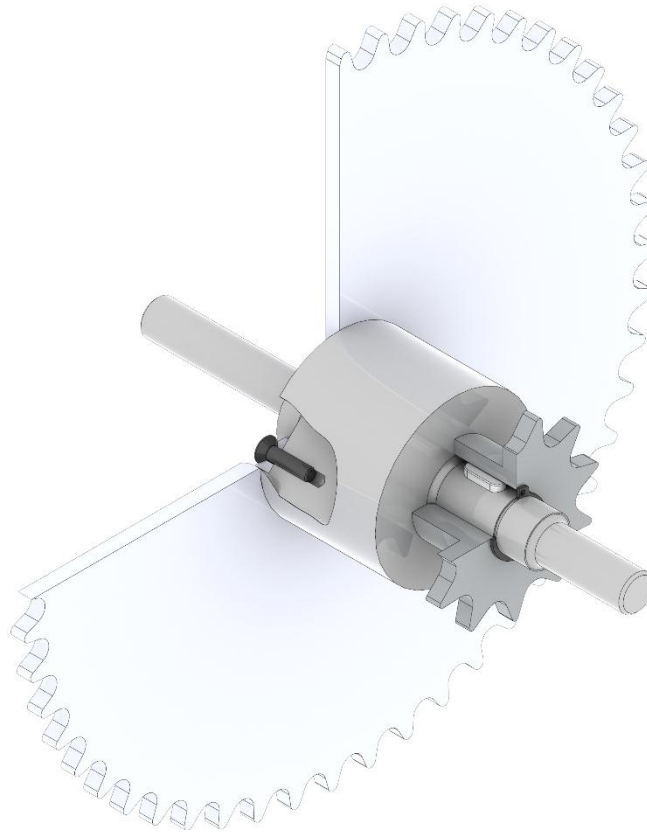


Figura 9. Secció per visualitzar la fixació del pinyó i la corona a l'eix intermedi.

Per tensar la cadena de transmissió de la segona etapa es desplaça horitzontalment l'estructura del motor. On els espais entre les bigues de la bancada del conjunt de l'estructura motor realitzen la funció de guies, veure Figura 10.

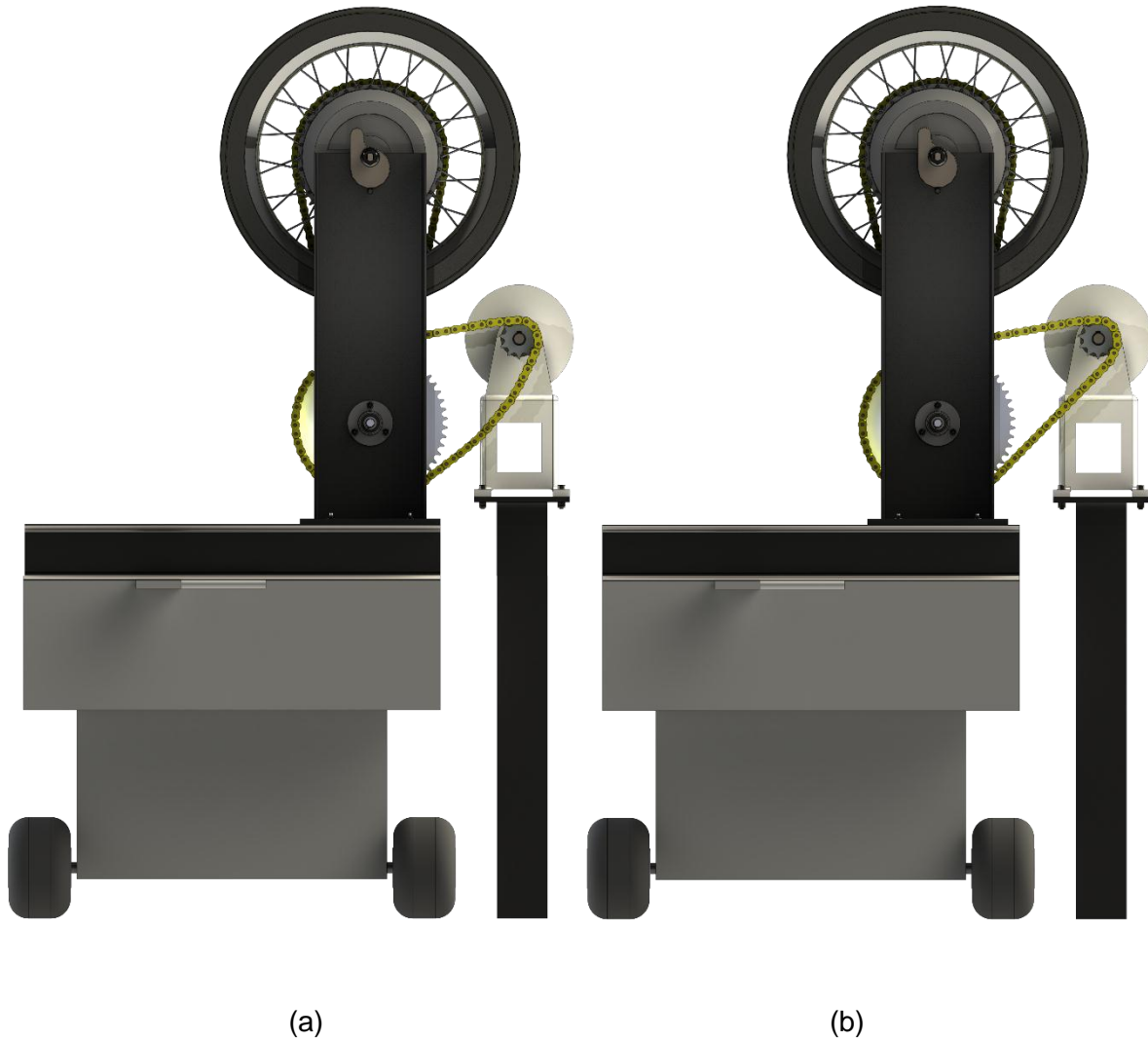


Figura 10. Moviment horitzontal de l'estructura del motor per tensar la cadena de transmissió de la segona etapa. On: (a) cadena segona etapa destensada i (b) cadena segona etapa tensada

L'eix intermedi està muntat a les bigues mitjançant un rodament autoalineant a cada extrem. Aquest tipus de rodament admet uns graus de desalineament de l'eix i faciliten el seu muntatge.

3.3. Adaptació del pinyó al banc de proves

L'adaptador del pinyó del banc de proves de la Figura 11 permet transmetre el moviment i el parell entre el pinyó de la segona etapa i el banc de proves. El pinyó es fixa a l'adaptador mitjançant el mateix sistema de fixació del pinyó de la primera etapa, és a dir, mitjançant una xaveta i una volandera de seguretat. L'adaptador es fixa al banc de proves mitjançant quatre cargols.

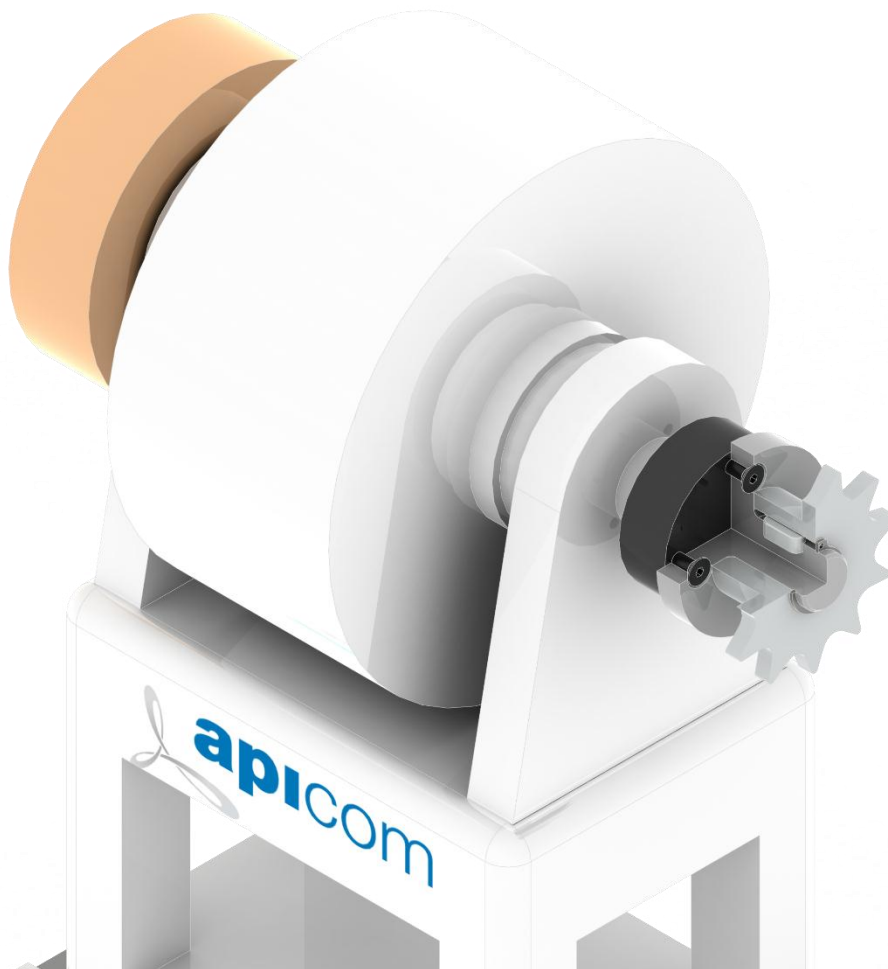


Figura 11. Adaptador del pinyó al banc de proves.

3.4. Suport accelerador de la motocicleta

L'operari que realitza la prova, i qualsevol altra persona, ha d'estar fora de la sala de proves, veure plànol 4.00 del Document núm. 2 Plànols. Per aquest motiu l'accionament del motor elèctric ha d'estar fora d'aquesta sala. Llavors s'ha dissenyat i construït el suport de la Figura 12. En aquest suport es munta un accelerador de motocicleta i d'aquesta forma es pot governar el motor des de l'exterior de la sala.



Figura 12. Suport de l'accelerador.

La base d'aquest suport és un tub de secció quadrada on s'ha tallat una de les seves cares. A la part inferior té un forat amb una femella soldada, per poder subjectat tot el conjunt a una taula. D'aquesta manera es facilita a l'operari la utilització de l'accelerador.

4. FABRICACIÓ

Per adaptar el motor elèctric al banc de proves dinamomètric s'han fabricat els següents conjunts:

L'estructura del motor.

L'adaptador del pinyó del banc de proves.

El suport de l'accelerador.

Tots els elements s'han fabricat a l'interior d'un taller mecànic per personal qualificat amb la següent maquinaria:

Torn de control numèric.

Fresa de control numèric.

Màquina de tall làser.

Equip de soldadura MIG.

Premsa.

Serra de cinta automàtica.

A l'Annex D. Procés de fabricació i muntatge d'aquest document es pot veure amb detall quin ha sigut el procés de fabricació de les peces més importants del projecte i el procés de muntatge tot l'equip.

En la fabricació de les peces han aparegut alguns problemes. Com es pot veure a la Figura 13 els forats centrals de la biga per fixar els rodaments no es troben equidistants. Aleshores s'han tingut que fer uns nous forats amb les cotes correctes.



Figura 13. Error de mecanització dels forats dels cargols de fixació dels rodaments.

També s'ha hagut de tornar a mecanitzar l'eix intermedi perquè no tenia les mides del plànol 1.04 del Document núm. 2 Plànols.

5. PROVA

Per realitzar les proves del motor elèctric primer s'ha de configurar el banc de proves. On en primer terme s'han de configurar els canals de sortida, és a dir, les variables que es volen mesurar. En segon terme s'ha de configurar el controlador del tipus PID del fre motor del banc de proves. Tot el procediment es troba a l'Annex E. Manual d'usuari i manteniment d'aquest document.

Per obtenir les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002 s'han realitzat quatre proves amb diferents condicions de treball. Aquestes condicions són: l'estat de la càrrega de la bateria i la utilització de l'enllumenat de la motocicleta. Finalment s'ha arribat a la conclusió que aquestes dues variables influeixen lleugerament al parell i la potència generades pel motor elèctric. També s'ha arribat a la conclusió que el parell màxim, la potència màxima i el règim de gir màxim s'obtenen amb la bateria carregada al màxim i sense utilitzar l'enllumenat de la motocicleta, veure Figura 14. Per més informació consultar l'Annex F. Resultats de les proves d'aquest document.

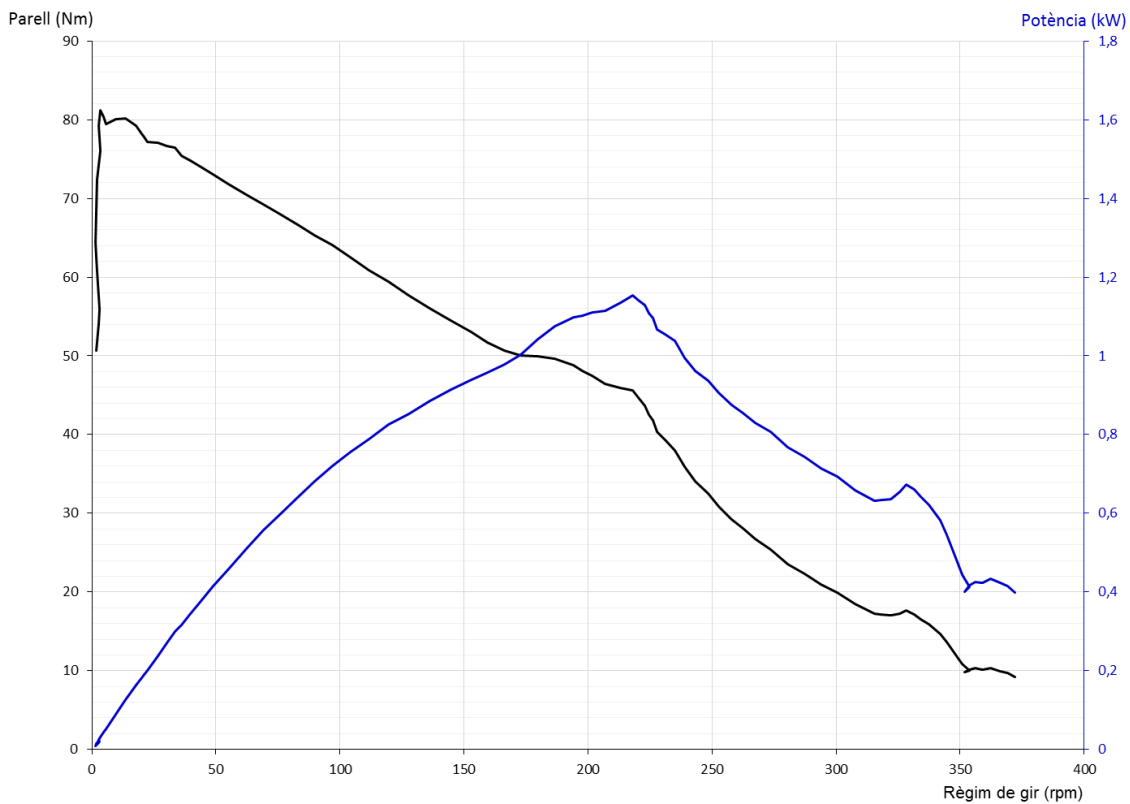


Figura 14. Corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002.

A la Taula 1 es troben els punts més importants de les corbes característiques del motor elèctric de la Figura 14.

Taula 1. Punts més importants de les corbes característiques del motor ELMOTO PL0002.

| Característica mecànica | Valor |
|--------------------------------|--------------|
| Parell màxim | 81 Nm |
| Parell d'arrancada | 81 Nm |
| Potència màxima | 1,16 kW |
| Règim de gir màxim | 372 rpm |

6. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost d'aquest projecte a falta d'IVA és de MIL VUIT-CENTS SETANTA-CINC EUROS AMB SEIXANTA-UN CÈNTIMS (1875,61 €).

7. CONCLUSIONS

En aquest projecte s'ha assolit l'objectiu de dissenyar i construir un equip per adquirir les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002, segons les especificacions del client, l'equip de Barcelona SMC de la UdGRT. On s'ha realitzat un disseny amb les limitacions de fabricació que disposa el taller mecànic de la EPS de la UdG.

Amb els documents d'aquest projecte queden suficientment definides totes i cadascuna de les peces de fabricació i els articles de comerç que formen l'equip. També queda ben definit el procediment de fabricació i de muntatge que s'ha realitzat. Així com el procediment d'utilització de tot l'equip. A més amb les proves realitzades al motor elèctric queda justificat el correcte funcionament de l'equip.

8. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte consta dels següents documents:

Document núm. 1 Memòria

Memòria

Annexes

A. Predisseny

B. Càlculs

C. Descripcions tècniques

D. Procés de fabricació i muntatge

E. Manual d'usuari i manteniment

F. Resultats de les proves

Document núm. 2 Plànols

Document núm. 3 Plec de condicions

Document núm. 4 Estat d'amidaments

Document núm. 5 Pressupost

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Richard G. Budynas i J. Keith Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Octava edició. McGraw-Hill. 2008.
- [2] Basilio Ramos i Esteban García. Dibujo técnico. Segona edició. AENOR. 2006.
- [3] APICOM. Frenos dinamométricos a corrientes parásitas "Serie FR 6-15". 2012.
- [4] INA , fabricant de rodaments. (<http://www.schaeffler.es>, maig de 2015).
- [5] IRIS, fabricant de cadenes de transmissió. (<http://iris-chains.com>, maig de 2015).
- [6] Parlament Europeo, Reglament Europeo núm. 134/2014, requisits d'eficiència mediambiental i rendiment de la unitat de propulsió. 16 de desembre de 2013.
- [7] Web Plot Digitizer, aplicació per obtenir els punts d'una corba (<http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer>, juny de 2015)
- [8] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. (<http://www.aenor.es>, juny de 2015).
- [9] Organitzador competició Barcelona Smart Moto Challenge (www.smartmotochallenge.org, març de 2015).

ANNEX A.

PREDISSENY

A.1. INTRODUCCIÓ

En aquest annex es presenten els diferents dissenys que s'han estudiat fins arribar al disseny final d'aquest projecte. On s'exposen els avantatges i inconvenients de cada disseny.

Primer s'exposen els diferents dissenys que s'han analitzat i es selecciona el millor. Finalment es mostren diferents alternatives per fixar el pinyó de 11 dents al seu corresponent eix i es determina quina és la millor solució.

Amb la intenció de valorar objectivament cada disseny i solució, s'han ponderat les característiques tècniques que ha de tenir el banc de proves per poder mesurar el parell i el règim de gir. A continuació s'han comparat els diferents dissenys i solucions fins escollir el disseny final.

A.2. DISSENY

Els dissenys que s'han analitzat són:

Realitzar un banc de proves on el moment resistent estigui generat pel sistema de frenada de la motocicleta.

Realitzar un banc de proves on el moment resistent estigui generat per una corretja recolzada en una politja fixada al motor elèctric.

Adaptar el banc de proves dinamomètric APICOM FR 6 del Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG.

En els següents subapartats s'exposen de forma més detallada cada disseny.

A.2.1. Banc de proves mitjançant el sistema de frenada de la motocicleta

A la Figura A1 es mostra el primer disseny. On s'utilitza el propi sistema de frenada de la motocicleta per generar un parell resistent al moment motor.



Figura A1. Disseny 1: Parell resistent mitjançant un disc de fre.

Per conèixer el parell resistent s'ha d'adaptar un transductor de pressió al circuit de frenada de la motocicleta, és a dir, s'ha de modificar el circuit hidràulic del sistema de frenada. D'aquesta forma es pot incorporar un sensor per mesurar la pressió a la que es troba el fluid de fre a cada instant. La senyal elèctrica generada pel transductor s'envia a l'ordinador mitjançant un aparell d'adquisició. A continuació aquesta senyal elèctrica es transforma en pressió.

En funció de la pressió del circuit de frenada s'obté el parell resistent $T_{r,disc}$ generat pel disc de fre. On el parell resistent és

$$T_{r,disc} = (\theta_2 - \theta_1) f \int_{r_i}^{r_o} p r^2 dr \quad (\text{a.1})$$

on $(\theta_2 - \theta_1)$ és l'angle que formen les cares externes de les pastilles de fre (veure Figura A2), f és el coeficient de fricció entre les pastilles i el disc de fre, p és la pressió interna del circuit hidràulic del sistema de frenada (obtingut amb els transductor de pressió), r és el radi efectiu on s'aplica la força de frenada en el disc de fre. Procediment de càlcul segons Shigley [1].

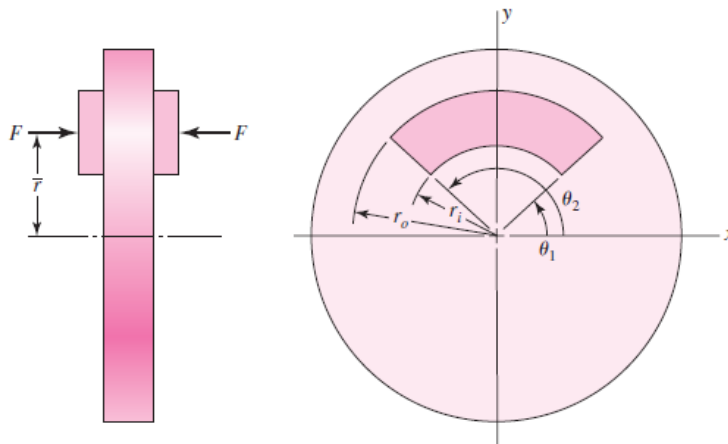


Figura A2. Geometria de l'àrea de contacte d'un disc de fre (Font: Shigley [1]).

Per obtenir el règim de gir del motor s'utilitza un sensor encoder muntat a l'eix del motor, que genera una senyal elèctrica que es recollida pel sistema d'adquisició i introduïda a l'ordinador.

Finalment el parell resistent i el règim de gir s'han de sincronitzar en el temps, mitjançant el corresponent programari, per obtenir les corbes característiques del motor.

L'assaig començaria amb el règim de gir màxim del motor elèctric. Seguidament s'accionaria la palanca de fre fins aturar el motor. L'accionament de la palanca del fre es realitzaria mitjançant un actuator lineal, per aconseguir un accionament progressiu. L'assaig s'hauria de realitzar amb l'accelerador del motor elèctric sempre en la seva posició màxima.

El major inconvenient d'aquest disseny és la pèrdua d'energia produïda per la calor generada per la fricció de la frenada. En aquest disseny no es té en compte aquesta pèrdua d'energia perquè no és fàcil de mesurar. Aleshores les dades del parell resistent no són precises.

A.2.2. Banc de proves mitjançant una corretja

Com es pot veure a la Figura A3, el segon disseny estudiat consisteix en generar un moment resistent mitjançant una corretja fixa. Amb l'ajuda d'una roda excèntrica es pot regular el moment resistent que genera la corretja.



Figura A3. Disseny 2: Parell resistent mitjançant una corretja.

Per determinar el parell resistent s'ha d'utilitzar una cèl·lula de càrrega connectada a la corretja. On mitjançant un aparell d'adquisició es recull la senyal elèctrica generada per la cèl·lula de càrrega i s'introdueix a l'ordinador. A continuació la senyal elèctrica es transforma en força.

Per calcular el parell resistent $T_{r,corretja}$ generat per la corretja s'ha d'aplicar la següent fórmula

$$T_{r,corretja} = F_c r \quad (\text{a.2})$$

on F_c és la força de la corretja (obtinguda per la cèl·lula de càrrega) i r és el radi de la politja muntada en l'eix del motor on es recolza la corretja.

Per obtenir el règim de gir del motor s'utilitza un sensor encoder muntat a l'eix del motor, que genera una senyal elèctrica que es recollida pel sistema d'adquisició i introduïda a l'ordinador.

Finalment el parell resistent i el règim de gir s'han de sincronitzar en el temps, mitjançant el corresponent programari, per obtenir les corbes característiques del motor.

L'assaig començaria amb el règim de gir màxim del motor elèctric, amb la corretja destensada. A continuació es giraria el tensor fins generar el moment resistent màxim i aturar el motor elèctric. L'accionament de la politja tensora es realitzaria amb un segon motor, per obtenir un accionament progressiu. L'assaig s'hauria de realitzar amb l'accelerador del motor sempre en la seva posició màxima.

El major inconvenient d'aquest disseny també és la pèrdua d'energia produïda per la calor. En aquets cas generada per la fricció entre la politja del motor i la corretja. En aquest disseny tampoc es té en compte aquesta pèrdua d'energia perquè no és fàcil de mesurar. Aleshores les dades del parell resistent no són precises.

A.2.3. Banc de proves dinamomètric

El tercer disseny estudiat consisteix en adaptar el motor elèctric de la motocicleta al banc de proves dinamomètric APICOM FR 6, situat del Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, que es pot veure a la Figura A4. Per poder adaptar el motor s'ha de construir una estructura i mitjançant una cadena de transmissió unir el motor amb el banc de proves.

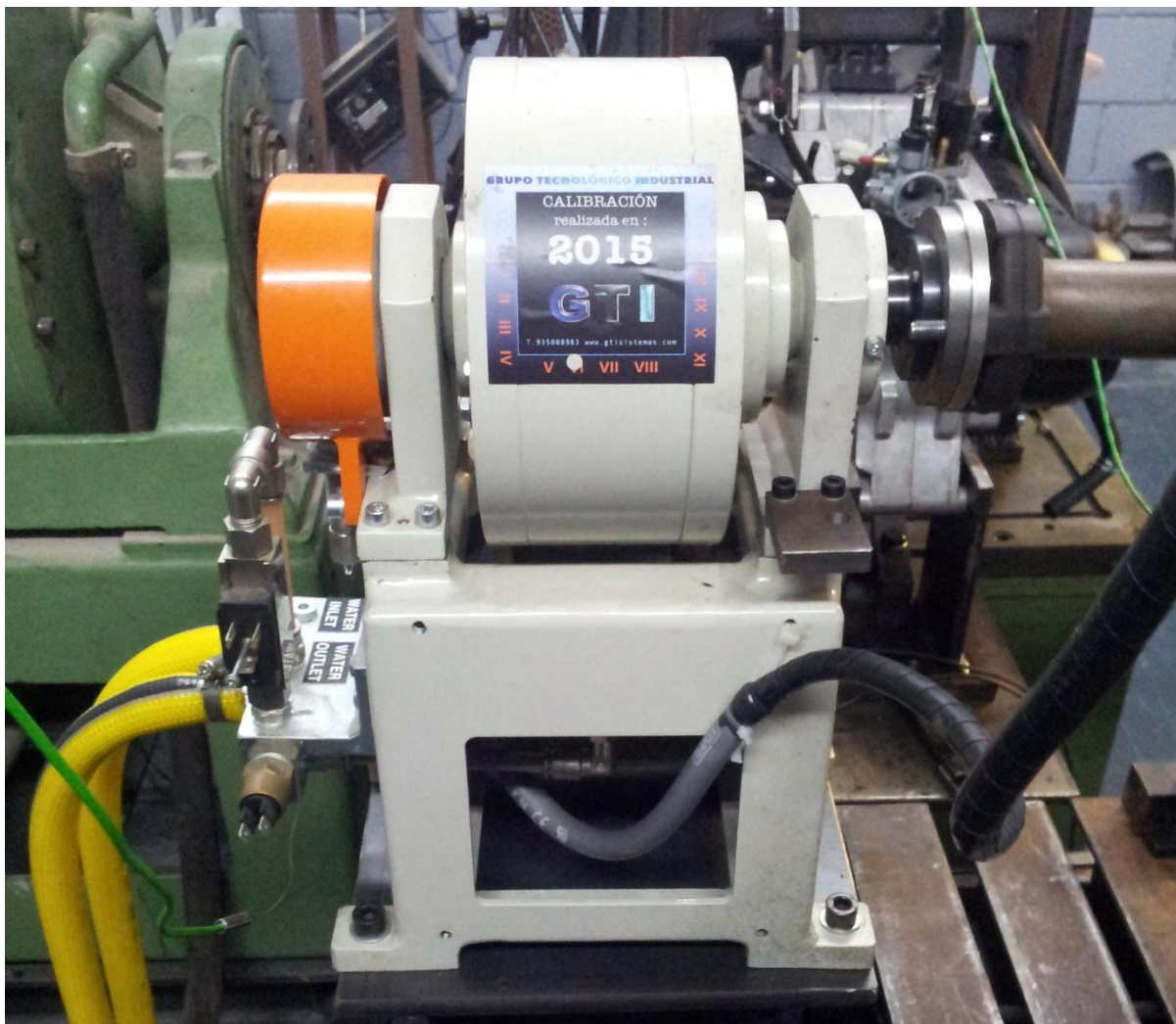


Figura A4. Banc de proves APICOM FR 6 de la UdG.

El banc de proves dinamomètric genera un moment resistent mesurat per una cèl·lula de càrrega. Mitjançant el corresponent aparell d'adquisició de dades i programari es capaç de transformar la senyal elèctrica en el parell motor.

El banc de proves utilitza un sensor encoder per obtenir el règim de gir del fre motor i mitjançant el programari el transforma al règim de gir del motor.

Per realitzar l'assaig es seguirien les instruccions del banc de proves.

A.2.4. Avaluació dels diferents dissenys

A la Taula A1 es poden veure els criteris que s'han seguit per seleccionar el disseny final i la seva ponderació.

Taula A1. Criteris de selecció del disseny final.

| Característiques tècniques | Valor | Ponderació |
|---|---------|------------|
| Fiabilitat dels resultats (fins a 30 sobre 100) | Si | 30 |
| | No | 0 |
| Dificultat d'utilització (fins a 20 sobre 100) | Fàcil | 20 |
| | Difícil | 5 |
| Dificultat de la programació dels sensors (fins a 15 sobre 100) | Fàcil | 15 |
| | Difícil | 5 |
| Compatibilitat amb la motocicleta muntada (fins a 10 sobre 100) | Si | 10 |
| | No | 5 |
| Dificultat del muntatge electrònic (fins a 10 sobre 100) | Fàcil | 10 |
| | Difícil | 5 |

Els criteris de ponderació econòmics seran amb una assignació de 15 punts a la oferta més econòmica, 7 a la intermèdia i 5 a la més cara.

A la següent taula es realitza un resum de les característiques tècniques de cada disseny. On: el disseny A fa referència al banc de proves mitjançant el sistema de frenada de la motocicleta; el disseny B al banc de proves mitjançant una corretja i el disseny C a l'adaptació del motor al banc de proves dinamomètric.

Taula A2. Descripció de cada disseny.

| Característiques tècniques | Dissenys | | |
|---|----------|---------|--------|
| | A | B | C |
| Fiabilitat dels resultats | No | No | Si |
| Dificultat d'utilització | Difícil | Difícil | Fàcil |
| Dificultat de la programació dels sensors | Difícil | Difícil | Fàcil |
| Compatibilitat amb la motocicleta muntada | Si | Si | Si |
| Dificultat del muntatge electrònic | Fàcil | Fàcil | Fàcil |
| Cost econòmic aproximat | 1950 € | 1825 € | 1500 € |

A la Taula A3 es troben els valors de cada criteri en funció del disseny. On per determinar el disseny final s'ha realitzat la suma de les ponderacions i s'ha triat el disseny amb més puntuació.

Taula A3. Puntuació de cada disseny.

| Característiques tècniques | Dissenys | | |
|---|----------|----|-----|
| | A | B | C |
| Fiabilitat dels resultats | 0 | 0 | 30 |
| Dificultat d'utilització | 5 | 5 | 20 |
| Dificultat de la programació dels sensors | 5 | 5 | 15 |
| Compatibilitat amb la motocicleta muntada | 10 | 10 | 10 |
| Dificultat del muntatge electrònic | 10 | 10 | 10 |
| Cost econòmic aproximat | 5 | 7 | 15 |
| Suma ponderada | 35 | 35 | 100 |

Amb una qualificació màxima de 100 punts, el disseny final escollit és el disseny C, és a dir, l'adaptació del motor elèctric al banc de proves dinamomètric del Laboratori de motors tèrmics.

A.3. SOLUCIÓ DE LA FIXACIÓ DELS PINYONS

Un cop triat el disseny final per satisfer la necessitat del client, s'han estudiat diferents solucions per adaptar els pinyons de motocicleta subministrats per un patrocinador de l'equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT, veure la Figura A5. Aquests pinyons són d'un aliatge d'acer amb níquel, crom i molibdè, amb un tractament superficial de cimentació i enduriment. Aquesta configuració augmenta de forma considerable la resistència del pinyó.



Figura A5. Pinyó subministrat per un patrocinador de l'Associació UdGRT.

Les solucions estudiades són:

Fixar els pinyons als eixos mitjançant eixos estriats.

Fixar els pinyons als eixos mitjançant unions còniques.

Fixar els pinyons mitjançant cargols.

Utilitzar uns pinyons de màquina alternatius als subministrats pel patrocinador de l'equip.

A.3.1. Fixació dels pinyons mitjançant un eix estriat

La primera solució consisteix en realitzar el muntatge dels pinyons de la Figura A5 mitjançant un eix estriat. On les ranures internes dels pinyons engranen amb les ranures dels corresponents eixos i es transmet el parell. A la Figura A6 es pot veure l'eix intermedi amb aquest tipus de muntatge. Per fixar axialment els pinyons s'utilitza una volandera de seguretat a cada costat.

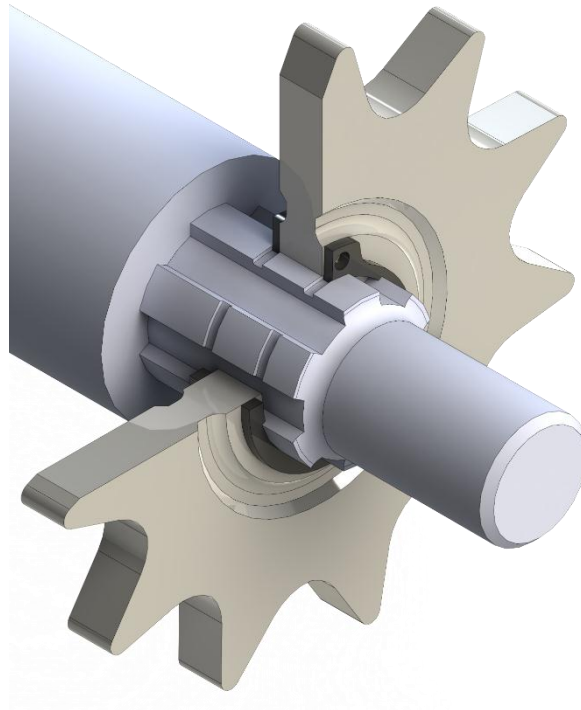


Figura A6. Sistema de fixació del pinyó de l'eix intermedi amb un eix estriat.

L'inconvenient d'aquesta solució és la fabricació de l'eix estriat. Degut a què l'estriat no és normalitzat, al mercat no hi han eixos estriats amb aquestes mides. Aleshores s'ha de mecanitzar i realitzar un tractament superficial per endurir la superfície per evitar el desgast.

A.3.2. Fixació dels pinyons amb unitats còniques

La segona solució consisteix en realitzar el muntatge dels pinyons de la Figura A5 amb unitats còniques de comerç. Mitjançant un sistema de falca es transmet el parell entre l'eix i el pinyó. A la Figura A7 es pot veure una secció de l'eix del banc de proves amb aquest tipus de sistema.

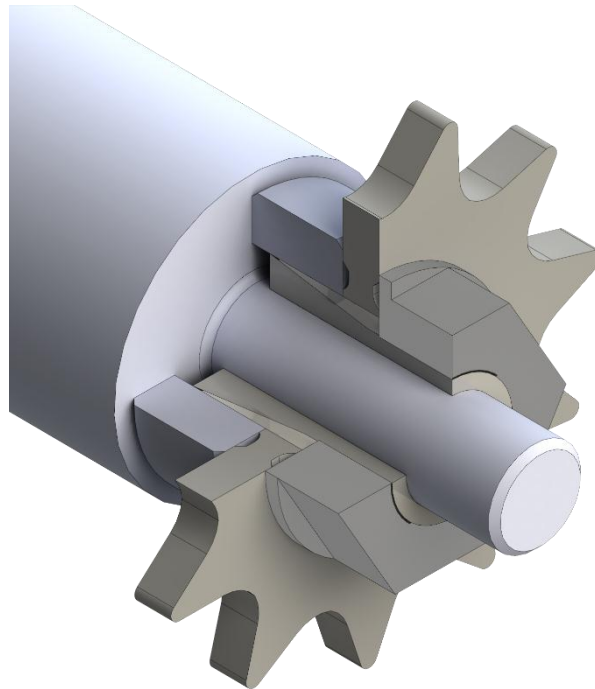


Figura A7. Sistema de fixació del pinyó del banc de proves mitjançant una unitat cònica de comerç.

L'inconvenient d'aquesta solució és la soldadura i la mecanització dels pinyons. Per poder muntar aquest tipus de sistema de fixació s'ha de soldar un cilindre al pinyó per augmentar la seva amplada i augmentar el forat del centre del pinyó. Aquestes dues operacions tenen un preu molt elevat. Perquè degut a l'aliatge i tractament superficial són complicats de soldar i a l'augmentar la resistència són molt difícils de mecanitzar.

A.3.3. Fixació dels pinyons mitjançant cargols

La tercera solució consisteix en realitzar uns forats als pinyons de la Figura A5 per fixar-los a l'eix mitjançant cargols. A la Figura A8 es pot veure l'eix intermedi amb aquest tipus de muntatge.

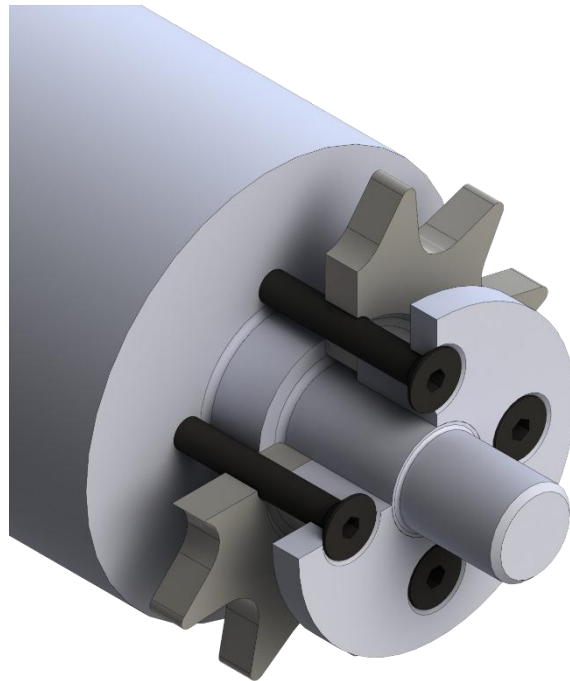


Figura A8. Sistema de fixació del pinyó de l'eix intermedi mitjançant cargols.

L'inconvenient d'aquesta solució és semblant a l'anterior. La mecanització dels forats té un cost elevat degut a l'aliatge i tractament que tenen els pinyons.

A.3.4. Pinyons alternatius

La quarta solució consisteix en utilitzar un altre tipus de pinyons, en concret els de la Figura A9. Aquest pinyons són d'acer 1C40.



Figura A9. Pinyó màquina.

Mitjançant una xaveta es transmet el parell entre el pinyó i l'eix, i amb una volandera de seguretat es fixa el pinyó axialment. En aquesta solució s'han de mecanitzar els nous pinyons. S'ha de reduir l'amplada de la dent, augmentar el forat central i mecanitzar la ranura de la xaveta.

L'inconvenient d'aquesta solució és que no s'utilitzen els pinyons que subministra el patrocinador de l'equip i s'han de comprar uns altres.

A.3.5. Avaluació de les diferents fixacions dels pinyons

De la mateixa forma que s'han analitzat els diferents dissenys, també s'han analitzat les diferents solucions per fixar els pinyons. A la Taula A4 es poden veure els criteris que s'han seguit per seleccionar la solució final.

Taula A4. Criteris de selecció de la fixació del pinyons.

| Característiques tècniques | Valor | Ponderació |
|--|---------|------------|
| Dificultat de mecanització (fins a 25 sobre 75) | Fàcil | 25 |
| | Difícil | 0 |
| Realització de tractament superficial (fins a 15 sobre 75) | No | 20 |
| | Si | 5 |
| Realització de soldadura (fins a 10 sobre 75) | No | 10 |
| | Si | 5 |

Els criteris de ponderació econòmics seran amb una assignació de 20 punts a la oferta més econòmica, 5 a la més cara i de forma proporcional a la resta.

A la següent Taula A5 es realitza un resum de les característiques tècniques de cada solució. On: la solució A fa referència a la fixació dels pinyons mitjançant un eix estriat; la solució B a la fixació dels pinyons amb unitats còniques de comerç; la solució C a la fixació del pinyons mitjançant cargols i la solució D als pinyons alternatius.

Taula A5. Descripció de cada solució.

| Característiques tècniques | Solucions | | | |
|---------------------------------------|-----------|---------|---------|-------|
| | A | B | C | D |
| Dificultat de mecanització | Fàcil | Difícil | Difícil | Fàcil |
| Realització de tractament superficial | Si | No | No | No |
| Realització de soldadura | No | Si | No | No |
| Cost econòmic aproximat | 600 € | 500 € | 200 € | 100 € |

A la Taula A6 es troben els valors de cada criteri en funció de la solució.

Taula A6. Puntuació de cada solució.

| Característiques tècniques | Solucions | | | |
|---------------------------------------|-----------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Dificultat de mecanització | 25 | 0 | 0 | 25 |
| Realització de tractament superficial | 5 | 20 | 20 | 20 |
| Realització de soldadura | 10 | 5 | 10 | 10 |
| Cost econòmic aproximat | 5 | 8 | 17 | 20 |
| Suma ponderada | 45 | 33 | 47 | 75 |

Amb una qualificació màxima de 75 punts, la solució final escollida per fixar els pinyons és la solució D, és a dir, la utilització d'uns pinyons alternatius als subministrats pel patrocinador de l'equip.

ANNEX B.

CÀLCULS

B.1. INTRODUCCIÓ

En aquest annex es presenten els càlculs que s'han realitzat per determinar les dimensions i els materials dels elements de l'equip.

S'han realitzat els càlculs per determinar la relació de transmissió entre el motor elèctric i el banc de proves dinamomètric. També, s'han calculat els coeficients de seguretat de cada peça i només es justifiquen els càlculs de les peces més desfavorables. En aquest cas són:

Eix intermedi.

Rodaments de l'eix intermedi.

Cadena de transmissió de la segona etapa.

Les dades generals que s'han utilitzat per realitzar els càlculs són les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002 de l'edició anterior (any 2014). Obtingudes amb el banc de proves inercial, situat al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, per l'equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT, veure Figura B1.

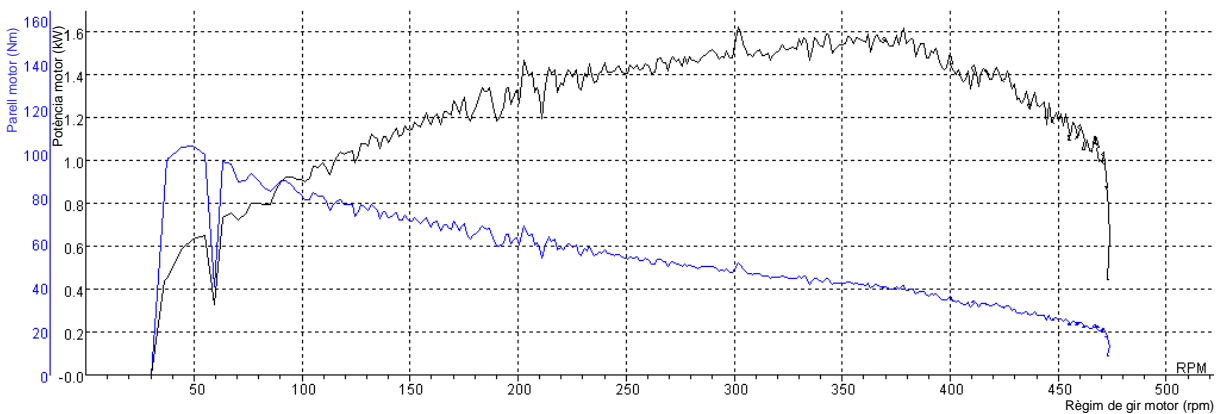


Figura B1. Corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002 de l'edició anterior (any 2014) obtingudes amb un banc de proves inercial.

B.2. RELACIÓ DE TRANSMISSIÓ

Per realitzar els càlculs de la relació de transmissió entre el motor elèctric i el banc de proves, es disposa de la corba de parell límit a la que pot treballar el banc de proves dinamomètric APICOM FR 6, del Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure Figura B2.

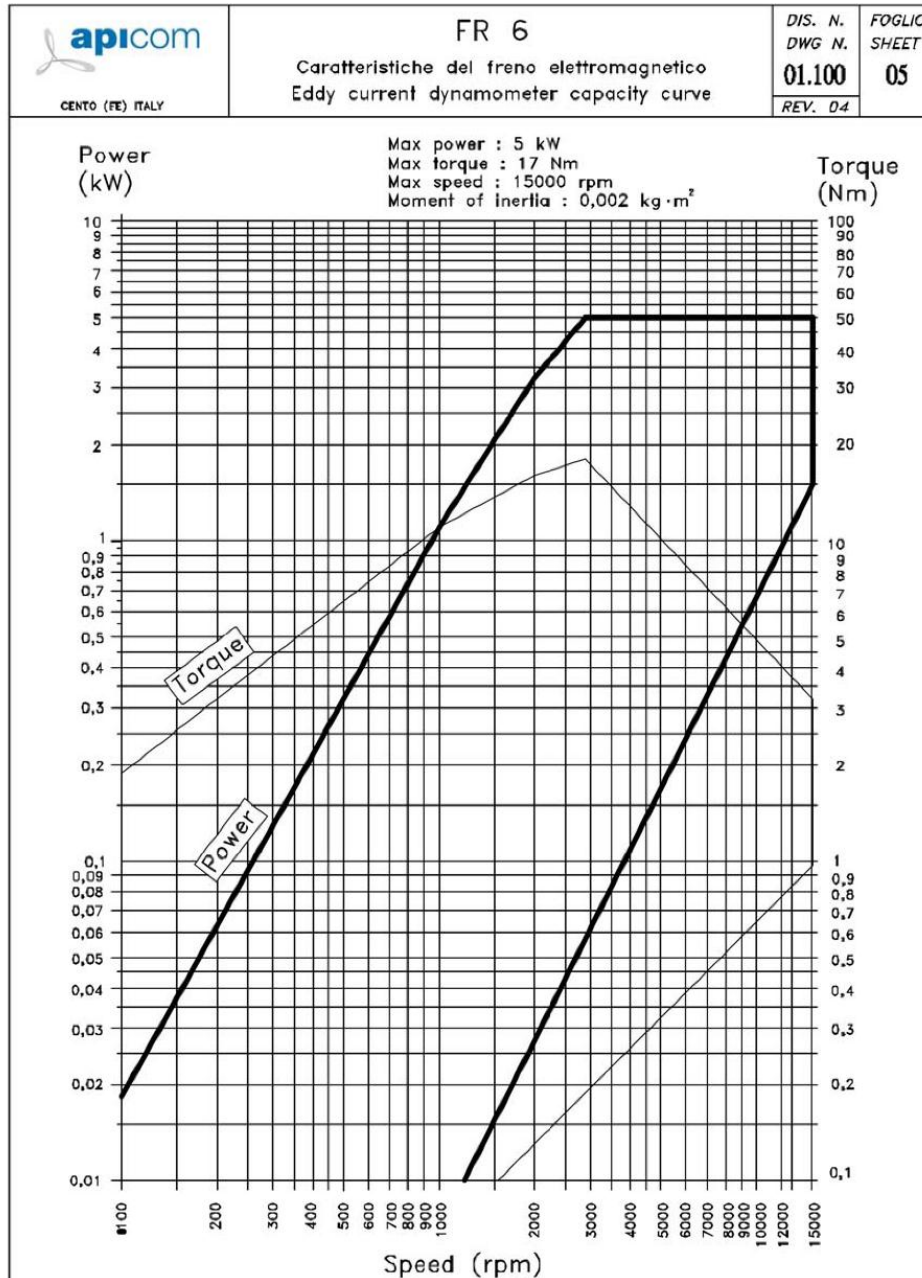


Figura B2. Corba de potència i parell límit del banc de proves dinamomètric APICOM FR 6 (Font: APICOM [3]).

Amb la corba de parell del motor elèctric de la Figura B1 es pot determinar el parell màxim $M_{motor,màx}$ i el règim de gir màxim $\omega_{motor,màx}$ que pot generar el motor. A més, amb la corba de parell del banc de proves dinamomètric de la Figura B2 es pot determinar el parell màxim $M_{banc,màx}$ i el règim de gir màxim $\omega_{banc,màx}$ al que pot treballar el banc de proves. Aquestes dades es recullen a la Taula B1.

Taula B1. Dades del parell màxim i règim de gir màxim del motor elèctric i del banc de proves dinamomètric.

| | Parell màxim (Nm) | Règim de gir màxim (rpm) |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Motor elèctric ELMOTO PL0002 | 105 | 473 |
| Banc de proves APICOM FR 6 | 17 | 15000 |

Degut a les característiques del motor i del banc de proves dinamomètric, la relació de transmissió màxima ve determinada pel règim de gir de cada element i és

$$i_{màx} = \frac{\omega_{banc,màx}}{\omega_{motor,màx}} \quad (b.1)$$

i la relació de transmissió mínima és

$$i_{mín} = \frac{M_{motor,màx}}{M_{banc,màx}} \quad (b.2)$$

A la Taula B2 es poden veure els resultats de cada relació de transmissió.

Taula B2. Relació de transmissió entre el motor elèctric ELMOTO PL0002 i el banc de proves APICOM FR 6.

| | |
|---|-------|
| Relació de transmissió màxima $i_{màx}$ | 31,71 |
| Relació de transmissió mínima $i_{mín}$ | 6,18 |

Per triar la relació de transmissió més òptima s'ha comparat la corba del parell resistent límit del banc de proves de la Figura B2 amb la corba de parell que pot generar el motor a l'eix del banc de proves, veure Figura B3. Per obtenir aquesta darrera corba s'han utilitzat les següents equacions

$$\omega_{banc} = i \omega_{motor} \quad (b.3)$$

$$M_{banc} = \frac{M_{motor}}{i} \quad (b.4)$$

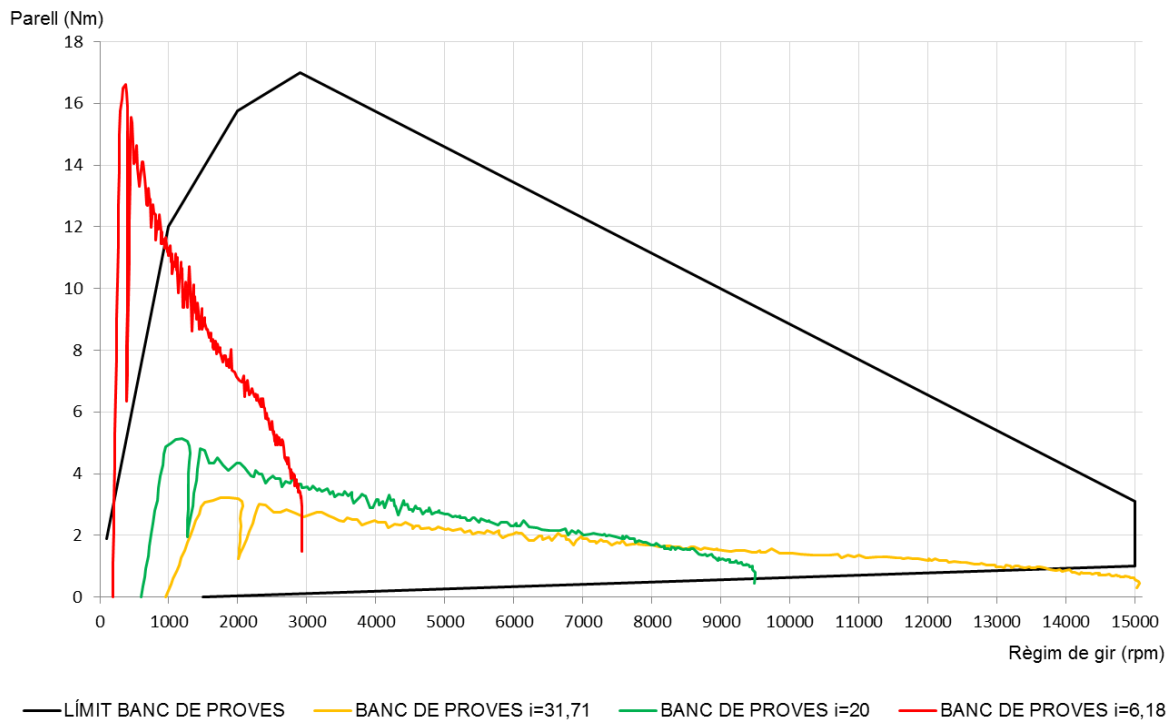


Figura B3. Comparació de la corba de parell límit del banc de proves amb les corbes de parell generades pel motor a l'eix del banc de proves, a diferents relacions de transmissió.

La relació de transmissió escollida ha de generar una corba de parell motor a l'eix del banc de proves que estigui dins de la corba límit del banc de proves. Aleshores, la relació de transmissió ha de ser la més propera a la màxima calculada anteriorment ($i_{m\grave{a}x}=31,71$), perquè quan més gran sigui aquesta relació menor serà el parell que es transmet al banc de proves.

Amb les corones i pinyons que hi ha al mercat no es pot realitzar aquesta relació de transmissió amb una única etapa. Llavors, s'ha decidit fer aquesta transmissió amb dues etapes. On la primera etapa està formada per una corona de 52 dents muntada a l'eix del motor elèctric i un pinyó de 11 dents muntat a l'eix intermedi. La segona etapa està formada per una corona de 52 dents muntada a l'eix intermedi i un pinyó de 11 dents muntat a l'eix del banc de proves. Amb aquesta configuració s'obté una relació de transmissió total de 22,35. On a la Figura B4 es pot observar la corba de parell generada pel motor elèctric a l'eix del banc de proves amb aquesta nova relació de transmissió.

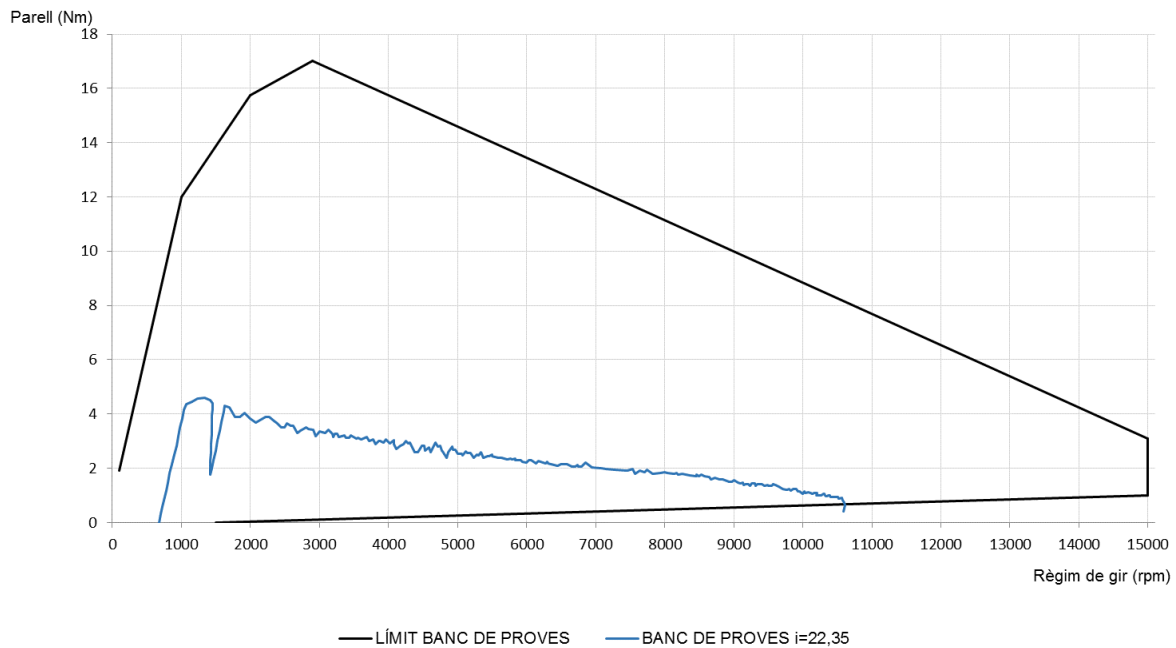


Figura B4. Comparació de la corba de parell límit del banc de proves amb la corba de parell generada pel motor a l'eix del banc de proves, amb una relació de transmissió de $i = 22,35$.

B.3. CÀLCULS ESTRUCTURALS

En aquest capítol es justifica l'elecció dels materials, dimensions i tipus d'elements de les peces més desfavorables de l'equip. Primer s'han calculat les reaccions en cada element crític i a continuació s'ha aplicat el corresponent mètode de càlcul per determinar el seu coeficient de seguretat i/o temps de vida.

Els elements més crítics són:

L'eix intermedi. Degut als esforços als que està sotmès i als canvis de secció.

Els rodaments. Perquè es troben sotmesos a una càrrega de treball important.

La cadena de transmissió de la segona etapa. Perquè arriba a una velocitat elevada.

Els pinyons i corones no s'han calculat perquè són peces que s'utilitzen en màquines industrials i motocicletes de gran potència, respectivament. No es justifiquen la resta d'elements perquè el seu coeficient de seguretat es troba per sobre de 8.

B.3.1. Càlcul de les reaccions de l'eix intermedi

Per calcular les reaccions de l'eix intermedi s'ha realitzat el corresponent sumatori de moments i forces i s'han igualat a zero. Perquè s'ha considerat que l'equip es troba treballant a la seva capacitat màxima, és a dir, quan el motor elèctric transmet el seu parell màxim (105 Nm), encara que no és real però s'obtenen uns resultats molt conservadors. També s'ha considerat que l'eix es troba recolzat a cada extrem per un rodament, on aquests tenen aplicada la seva reacció al seu centre. A més, s'ha estimat que la força axial i radial que poden provocar les corones i pinyons es menyspreable i només s'ha considerat la força tangencial.

A la Figura B5 es pot veure el diagrama de cos lliure de l'eix intermedi.

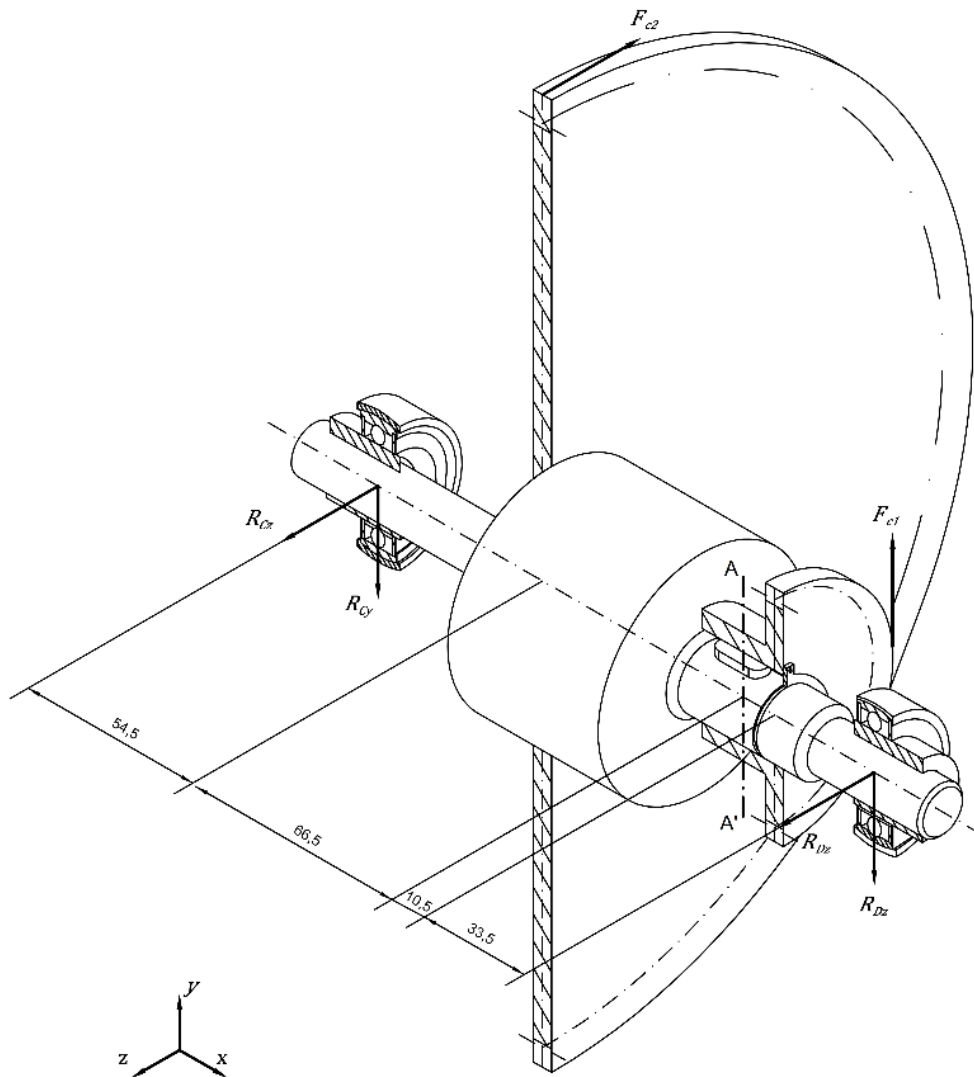


Figura B5. Diagrama de cos lliure de l'eix intermedi. Mides segons plànol 1.00 i 106 del Document núm. 2 Plànols.

La força produïda per la corona de l'eix del motor de la primera etapa F_{c1} es transmet al pinyó de l'eix intermedi a través de la cadena de transmissió i es calcula com

$$F_{c1} = \frac{2 M_{motor}}{d_c} \quad (b.5)$$

on M_{motor} és el moment motor màxim que es troba a la Taula B1 i d_c és el diàmetre primitiu de la corona de 52 dents de l'eix del motor i es calcula com

$$d_c = \frac{P}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z_c}\right)} \quad (\text{b.6})$$

on P és el pas de la cadena de transmissió ($P = 5/8''$) i z_c és el nombre de dents de la corona. Fórmula segons Shigley [1].

A la Taula B3 es troben els resultats de les reaccions de l'eix intermedi.

Taula B3. Resultats de les reaccions de l'eix intermedi.

| Reacció | Valor (N) |
|---|--------------|
| Reacció del rodament dret en la direcció y R_{Cy} | 162 |
| Reacció del rodament dret en la direcció z R_{Cz} | 115 |
| Reacció de la corona de la segona etapa F_{c2} | 171 |
| Reacció del pinyó de la primera etapa F_{c1} | 798 |
| Reacció del rodament esquerre en la direcció y R_{Dy} | 636 |
| Reacció del rodament esquerre en la direcció z R_{Dz} | 57 |

B.3.2. Coeficient de seguretat de l'eix intermedi

Per determinar el coeficient de seguretat de l'eix intermedi s'ha considerat que aquest ha de suportar 50 assajos, tal com demana el client. On s'estima que cada prova dura 10 min a un règim de gir del motor de 473 rpm. Perquè es considera que primer es realitzen diferents assajos de prova per calibrar l'equip i finalment es realitza l'assaig definitiu. Amb aquesta consideració s'obté un nombre de cicles $N = 1,12 \cdot 10^6$ cicles. Aleshores s'ha de realitzar un càlcul de vida il·limitada, és a dir, a fatiga.

Amb les estimacions exposades anteriorment el resultat del coeficient a fatiga és molt conservador. Perquè s'ha considerat el parell motor màxim i la seva velocitat màxima, en comptes de considerar valors mitjans.

La secció més desfavorable de l'eix intermedi és la secció $A - A'$, que es troba al centre del claveter, veure Figura B5. En aquesta secció hi ha un moment flector respecte l'eix y M_y i un altre moment flector respecte l'eix z M_z , que sumats trigonomètricament generant un moment flector altern M_a , veure Figura B6. També hi ha un moment de torsió mitjà T_m . La tensió produïda pels esforços tallants són menyspreables en front a la tensió que generen els moments, degut això s'han menyspreat.

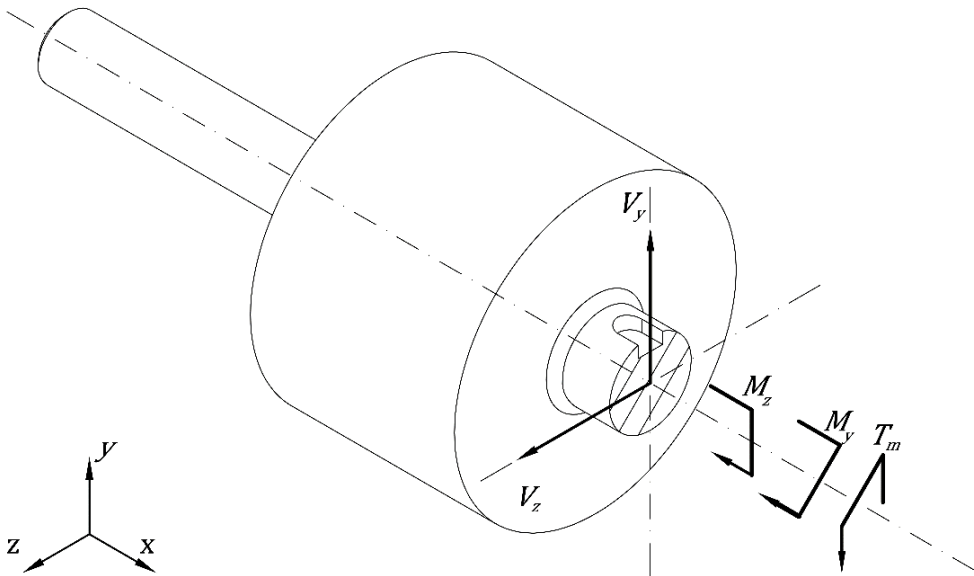


Figura B6. Secció $A - A'$ de l'eix intermedi.

El coeficient de seguretat a fatiga de l'eix intermedi n_f és

$$\frac{1}{n_f} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2} \quad (\text{b.7})$$

On d és el diàmetre del eix en la secció analitzada, S_e és la resistència a fatiga i S_y és el límit elàstic del material, k_f i k_{fs} són factors de concentració de tensions produïdes pel claveter degut als esforços alterns i mitjans, respectivament.

La resistència a fatiga S_e de l'eix intermedi es calcula com

$$S_e = S_e(pr)k_a k_b k_c k_d k_e \quad (\text{b.8})$$

on la resistència de la proveta $S_e(pr)$ és la meitat de la resistència a tracció S_{ut} i k_i són coeficients de correcció.

El factor de superfície de la peça k_a és

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{b.9})$$

on a i b són coeficients que varien segons el mètode de fabricació de la peça.

El factor de dimensió k_b es calcula com

$$k_b = \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,107} \quad (\text{b.10})$$

El factor de càrrega k_c és 1 perquè la secció analitzada treballa a flexió i torsió. El factor de temperatura k_d és 1 perquè treballa a una temperatura inferior a 250°C. El factor d'efectes diversos k_e és 1 perquè la fórmula del coeficient de seguretat de l'eix ja té en compte el factor de concentració de tensions.

El factor de concentració de tensions altern k_f es determina com

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (\text{b.11})$$

on q és la sensibilitat a l'osca del material a fatiga, que es troba en funció del radi de l'osca r i en cas d'un claveter és $r = \frac{d}{40}$, i k_t és el coeficient de concentracions teòric.

El factor de concentració de tensions mitjana k_{fs} és 1 perquè la sensibilitat a l'osca del material en el cas d'acer en estàtic és 0.

Procediment de càlcul segons Shigley [1].

A la Taula B4 es troba el coeficient de seguretat a fatiga de l'eix intermedi i les dades per poder calcular-lo amb un acer màquina 1C45 en estat normalitzat. On es pot veure que l'eix intermedi pot suportar les càrregues a les que està sotmès perquè el coeficient a fatiga és superior a la unitat ($n_f = 3,98$).

Taula B4. Dades i resultat del càlcul a fatiga de l'eix intermedi.

| Descripció | Valor |
|--|-------------------------|
| ¹ Diàmetre de la secció d | 20 mm |
| Moment flector respecte y M_y | 2490 Nmm |
| Moment flector respecte z M_z | 19600 Nmm |
| Moment flector altern M_a | 19800 Nmm |
| Moment de torsió mitjà T_m | 22500 Nmm |
| ² Coeficients del factor de superfície (mcanitzat) | $a = 4,45$ $b = -0,265$ |
| Factor de superfície de la peça k_a | 0,83 |
| Factor de dimensió k_b | 0,90 |
| ² Factor de càrrega k_c | 1,00 |
| ² Factor de temperatura k_d | 1,00 |
| ² Factor d'efectes diversos k_e | 1,00 |
| ² Sensibilitat a l'osca a fatiga q (on $r = \frac{d}{40} = 0,5$) | 0,84 |
| ² Coeficient de concentració altern teòric k_t | 2,14 |
| Coeficient de concentració altern k_f | 1,96 |
| ³ Resistència a tracció S_{ut} | 560 MPa |
| ³ Límit elàstic S_y | 275 MPa |
| Resistència a fatiga de l'eix intermedi S_e | 210 MPa |
| Coeficient a fatiga de l'eix intermedi n_f | 3,98 |

¹ Cota segons plànol 1.06.² Dada segons el llibre Shigley [1].³ Dada segons la norma UNE-EN 10083-2:2008.

B.3.3. Comprovació de la resistència i vida dels rodaments

Per determinar la vida dels rodaments s'ha considerat que treballant sempre a plena càrrega, és a dir, quan el motor elèctric genera el seu parell màxim (105 Nm). També s'ha estimat que el règim de gir dels rodaments és de 473 rpm. Encara que això no és real, proporciona un resultat molt conservador.

El rodament més crític és el de la dreta de la Figura B5 perquè té un esforç tangencial F_r major. Aleshores

$$F_r = \sqrt{R_{dy}^2 + R_{dz}^2} \quad (\text{b.12})$$

Llavors la vida del rodament amb una probabilitat del 90% és

$$L_{90\%} = \left(\frac{C}{F_r}\right)^3 \quad (\text{b.13})$$

on C és la capacitat de càrrega dinàmica.

Per determinar si suporta la càrrega estàtica es comprova que

$$F_r < C_0 \quad (\text{b.14})$$

on C_0 és la capacitat de càrrega estàtica.

En aquets tipus de rodament on el suport és de fàbrica també s'ha de comprovar si aquest pot suportar la càrrega de treball, on

$$F_r < C_{0,sup} \quad (\text{b.15})$$

on $C_{0,sup}$ és la capacitat de càrrega del suport del rodament.

Per finalitzar s'ha de comprovar que el règim de gir màxim de l'eix $\omega_{màx,etapa}$ sigui inferior al règim de gir límit del rodament ω_{rod} . On

$$\omega_{màx,etapa} = \omega_{motor,màx} \frac{z_c}{z_p}. \quad (b.16)$$

Procediment de càlcul segons Shigley [1].

A la Taula B5 es poden veure els resultats dels càlculs per a uns rodaments del fabricant INA model RAY15. On es pot determinar que els rodaments suporten amb un gran marge de seguretat la càrrega amb la que es troben sol·licitats durant 50 assajos. Perquè el nombre de cicles admissibles és de $3951,54 \cdot 10^6$ cicles, molt per sobre dels $1,12 \cdot 10^6$ cicles als que es volen fer treballar. També la càrrega admissible del rodament i la del suport és molt superior a les sol·licitacions a les que estan sotmesos. Finalment el règim de gir màxim del rodament és molt superior al règim de gir màxim de l'eix intermedi on van muntats.

Taula B5. Dades i resultats del rodament del costat dret INA RAY15.

| Descripció | Valor |
|---|-----------------------------|
| Força tangencial F_r | 639 N |
| ¹ Capacitat de càrrega dinàmica C_0 | 10100 N |
| ¹ Capacitat de càrrega estàtica C_0 | 4750 N |
| ¹ Capacitat de càrrega del suport $C_{0,sup}$ | 2700 N |
| Vida del rodament amb una probabilitat del 90% $L_{90\%}$ | $3951,54 \cdot 10^6$ cicles |
| Règim de gir màxim de l'eix intermedi $\omega_{màx,etapa}$ | 2236 rpm |
| ¹ Règim de gir límit del rodament ω_{rod} | 18100 rpm |

¹ Dades segons el Fabricant INA [4].

B.3.4. Coeficient de seguretat de la cadena de transmissió de la segona etapa

Per determinar el coeficient de seguretat de la cadena de transmissió IRIS FB'RING de la segona etapa s'han utilitzat les dades que proporciona el fabricant IRIS [5]. Aquestes dades són la càrrega mitjana de ruptura i la velocitat límit a la que pot girar el pinyó.

El coeficient de seguretat de la cadena de transmissió n és

$$n = \frac{W_r}{F_{c2}} \quad (\text{b.17})$$

on W_r és la càrrega mitjana de ruptura de la cadena i F_{c2} és la reacció de la corona de la segona etapa.

Per finalitzar s'ha de comprovar que el règim de gir màxim del pinyó de la segona etapa $\omega_{m\grave{a}x,banc}$ sigui inferior al règim de gir límit de la cadena ω_{cad} . On

$$\omega_{m\grave{a}x,banc} = \omega_{motor,m\grave{a}x} \left(\frac{z_c}{z_p} \right)^2 \quad (\text{b.18})$$

A la següent taula es pot veure que la cadena de transmissió pot suportar la càrrega de treball estimada. Perquè el coeficient de seguretat és de $n = 206,38$ i la cadena de transmissió no té cap limitació de velocitat.

Taula B6. Resultats de la cadena transmissió IRIS FB'RING de la segona etapa.

| Descripció | Valor |
|---|-------------|
| Força tangencial F_{c2} | 171 N |
| Velocitat màxima del pinyó de la segona etapa $\omega_{m\grave{a}x,banc}$ | 10600 rpm |
| ¹ Càrrega mitjana de ruptura de la cadena W_r | 35316 N |
| ¹ Velocitat límit de la cadena ω_{cad} | Sense límit |
| Coeficient de seguretat de la cadena de transmissió n | 206,38 |

¹Dades segons el Fabricant IRIS [5].

B.4. CONCLUSIONS

Determinats els coeficients de seguretat i les comprovacions pertinents, es considera que cada peça i element ha de ser del corresponent material, com es pot veure a la Taula B7, i dimensions establertes als corresponents plànols del Document núm. 2 Plànols.

Taula B7. Material o referència dels elements més crítics de l'equip.

| Descripció | Material o referència |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Eix intermedi | Acer 1C45 en estat normalitzat |
| Rodaments | INA RAY15 |
| Cadenes de transmissió | IRIS FB'Ring pas 5/8" |

També es pot concloure que el coeficient de seguretat de l'estructura ve determinat pel càlcul a fatiga de l'eix intermedi, veure Taula B4.

ANNEX C.

DESCRIPCIONS TÈCNIQUES

C.1. ELEMENTS DE LA MOTOCICLETA

C.1.1 Motor elèctric de la motocicleta

El motor elèctric que utilitza la motocicleta és de la marca ELMOTO model PL0002. Consisteix en un motor elèctric de corrent continu de tres fases sense escombretes. On l'estator és l'eix i el rotor és la carcassa.

A la Taula C1 es poden veure les característiques mecàniques segons el fabricant, aquestes poden variar en funció de l'electrònica del controlador.

Taula C1. Característiques mecàniques del motor elèctric segons el fabricant.

| Descripció | Valor |
|------------------|---------------|
| Marca i model | ELMOTO PL0002 |
| Potència màxima | 2 kW |
| Potència nominal | 1,7 kW |
| Parell màxim | 55 Nm |

C.1.2. Bateria de la motocicleta

La bateria de la motocicleta és una bateria recarregable d'ió de liti amb tretze cel·les. A la Taula C2. es poden veure les seves característiques tècniques.

Taula C2. Característiques tècniques de la bateria de la motocicleta.

| Descripció | Valor |
|----------------------|------------------|
| Voltatge nominal | 48 V cc |
| Capacitat | 31,5 Ah |
| Recarregable | Si |
| Tensió d'alimentació | 230 V monofàsica |

C.2. BANC DE PROVES DINAMOMÈTRIC

El banc de proves dinamomètric és de la marca APICOM model FR 6. A la Taula C3 es troben les seves característiques tècniques.

Taula C3. Característiques tècniques del banc de proves dinamomètric.

| Descripció | Valor |
|------------------------------|------------------------|
| Marca i model | APICOM FR 6 |
| Potència màxima | 5 kW |
| Parell màxim | 17 Nm |
| Tensió d'alimentació | 230 V monofàsica |
| Corrent màxima | 7 A |
| Règim de gir màxim | 15000 rpm |
| Moment d'inèrcia | 0,002 kgm ² |
| Rang de lectura de l'encoder | 50÷17000 rpm |

C.3. ELEMENTS DE L'ESTRUCTURA MOTOR

C.3.1. Peces de fabricació

Totes les peces que s'han fabricat són del mateix material. A la Taula C4 es troben les propietats mecàniques del material empleat per a fabricar les següents peces:

L'eix intermedi, segons la normativa UNE-EN 10060:2004.

L'adaptador de la corona motor, segons la normativa UNE-EN 10060:2004.

Les bigues de l'estructura motor, segons la normativa UNE-EN 10029:2011.

La base de l'estructura motor, segons la normativa UNE-EN 10029:2011.

Els tensors amb forma de lleva excèntrica, segons la normativa UNE-EN 10029:2011.

Els pivots de recolzament dels tensors, segons la normativa UNE-EN 10060:2004.

L'adaptador del pinyó al banc de proves dinamomètric, segons la normativa UNE-EN 10060:2004.

Taula C4. Propietats mecàniques del material de les peces de fabricació.

| Descripció | Valor |
|-----------------------|--------------------------------|
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat |
| Resistència a tracció | 560 MPa |
| Límit elàstic | 275 MPa |
| Mòdul d'elasticitat | 207 GPa |
| Mòdul de rigidesa | 79,3 GPa |
| Pes específic | 76,5 kN/m ³ |

C.3.2. Rodaments

Els rodaments utilitzats en l'eix intermedi són de la marca INA model RAY15. Aquest tipus de rodament incorpora de fàbrica un suport de fosa tipus brida. L'anell exterior del suport on es recolza el rodament és esfèric. Degut això, admet un error d'alineació radial.

A la Taula C5 es poden veure les característiques tècniques dels rodaments INA RAY15.

Taula C5. Característiques tècniques del rodament.

| Descripció | Valor |
|--|-----------|
| Marca i model | INA RAY15 |
| Capacitat de càrrega del suport | 2700 N |
| Capacitat de càrrega dinàmica del rodament | 10100 N |
| Capacitat de càrrega estàtica del rodament | 4750 N |
| Diàmetre de l'eix | 15 mm |
| Pes | 0,16 kg |
| Nombre de cargols del suport | 3 |
| Tipus de cargols del suport | M 6 |

C.3.3. Transmissió

Per transmetre el moviment del motor elèctric al banc de proves dinamomètric s'utilitzen dues etapes amb unes corones i uns pinyons units mitjançant les corresponents cadenes de transmissió.

A la següent taula es troben les característiques tècniques de les cadenes de transmissió que s'han utilitzat en el muntatge.

Taula C6. Característiques tècniques de les cadenes de transmissió.

| Descripció | Valor |
|---------------------------------|--------------|
| Marca i model | IRIS FB'RING |
| Pas de la cadena dentada | 5/8" |
| Diàmetre del rodet de la cadena | 10,16 mm |
| Pes de la cadena | 0,99 kg/m |
| Càrrega mitjana de ruptura | 35316 N |
| Velocitat límit | Sense límit |

Les corones utilitzades en el projecte són peces que s'utilitzen en motocicletes d'alta cilindrada i els pinyons són peces que s'utilitzen en màquines industrials. Tots dos elements s'han adaptat per utilitzar-los en el projecte. Les característiques de cada element es troben a la Taula C7.

Taula C7. Característiques tècniques de les corones i dels pinyons de transmissió.

| Descripció | Corona | Pinyó |
|--------------------|--------|---------|
| Nombre de dents | 52 | 11 |
| Diàmetre primitiu | 263 mm | 56,4 mm |
| Pas | 5/8" | |
| Amplada de la dent | 6 mm | |

ANNEX D.

PROCÉS DE FABRICACIÓ I

MUNTATGE

D.1. PROCÉS DE FABRICACIÓ

La fabricació de les peces s'ha realitzat per personal qualificat i de forma íntegra a dins d'un taller de mecànic.

En els següents subapartats es resumeix el procés de fabricació de les peces més importants i complexes del projecte.

D.1.1. Eix intermedi

A la Taula D1 es detalla el procés de fabricació de l'eix intermedi del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D1. Procés de fabricació de l'eix intermedi.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Eix intermedi. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.06 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Serra, torn, fresa, mascle i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha tallat un rodó de diàmetre superior al major diàmetre de l'eix. S'ha centrat i fixat el rodó al torn de control numèric amb el corresponent programa i aquest ha realitzat les operacions de cilindratge, ranuratge (per a la volandera de seguretat) i refrentament. A continuació s'ha centrat i fixat la peça a la fresa de control numèric amb el corresponent programa i aquesta ha realitzat la ranura (per fer el claveter) i els forats dels cargols. Després amb el corresponent mascle s'han realitzat les rosques de forma manual. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.2. Adaptador corona motor

A la Taula D2 es detalla el procés de fabricació de l'adaptador de la corona del motor del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D2. Procés de fabricació de l'adaptador de la corona del motor.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Adaptador corona motor. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.10 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Serra, torn, fresa, mascle i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha tallat un rodó de diàmetre superior al major diàmetre de l'adaptador. S'ha centrat i fixat el rodó al torn de control numèric amb el corresponent programa i aquest ha realitzat les operacions de cilindratge i refrentament. A continuació s'ha centrat i fixat la peça a la fresa de control numèric amb el corresponent programa i aquesta ha realitzat els forats centrals i els dels cargols. Després amb el corresponent mascle s'han realitzat les rosques de forma manual. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.3. Biga estructura motor

A la Taula D3 es detalla el procés de fabricació de la biga del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D3. Procés de fabricació de la biga de l'estructura motor.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Biga estructura motor. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.04 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Màquina de tall làser, premsa i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha introduït el plànol en el format corresponent que admet la màquina de tall làser. S'ha preparat la màquina amb el material a utilitzar i s'ha procedit amb el tall amb làser. Després s'han eliminat les arestes vives. Finament s'ha introduït la xapa a la premsa i amb l'ajuda del punxo s'ha realitzat la plegada fins a donar-li la forma final. |

D.1.4. Base estructura motor

A la Taula D4 es detalla el procés de fabricació de la base del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D4. Procés de fabricació de la base de l'estructura motor.

| | |
|-------------------------------|---|
| Nom de la peça | Base estructura motor. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.03 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Màquina de tall làser i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha introduït el plànol en el format corresponent que admet la màquina de tall làser. S'ha preparat la màquina amb el material a utilitzar i s'ha realitzat el tall amb làser. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.5. Subconjunt soldadura estructura motor

A la Taula D5 es detalla el procés de soldadura de l'estructura motor.

Taula D5. Procés de soldadura de l'estructura motor.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Soldadura de l'estructura motor. |
| Plànol | 1.02 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Equip de soldadura MIG. |
| Procés de fabricació | S'han realitzat unes marques segons les cotes del corresponent plànol a la base de l'estructura motor. A continuació s'han col·locat uns tubs de secció rectangular a les marques per fixar la posició de la biga de l'estructura motor (veure Figura D1). Seguidament s'ha col·locat la biga a la seva posició i s'han comprovat les cotes i la perpendicularitat de les peces. A continuació s'han realitzat uns punts de soldadura i s'ha tornat a comprovar les cotes i la perpendicularitat. Finalment s'ha realitzat el mateix procediment per a l'altre biga, introduint un eix roscat al forat superior de cada biga per evitar que es dobleguin (veure Figura D2) i s'ha fet un cordó de soldadura al voltant de cada biga. |



Figura D1. Posicionament de la primera biga respecte la base de l'estructura del motor.



Figura D2. Muntatge d'un eix roscat entre les bigues per evitar que es dobleguin.

D.1.6. Tensor lleva excèntrica

A la Taula D6 es detalla el procés de fabricació del tensor amb forma de lleva excèntrica del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D6. Procés de fabricació del tensor amb forma de lleva excèntrica.

| | |
|-------------------------------|---|
| Nom de la peça | Tensor lleva excèntrica. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.01 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Màquina de tall làser i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha introduït el plànol en el format corresponent que admet la màquina de tall làser. S'ha preparat la màquina amb el material a utilitzar i s'ha realitzat el tall amb làser. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.7. Pivot tensor

A la Taula D7 es detalla el procés de fabricació del pivot tensor del subconjunt de l'estructura motor.

Taula D7. Procés de fabricació del pivot tensor.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Pivot tensor. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 1.05 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Serra, torn i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha tallat un rodó de diàmetre superior al major diàmetre del pivot. S'ha centrat i fixat el rodó al torn de control numèric amb el corresponent programa i aquest ha realitzat les operacions de cilindratge i refrentament. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.8. Corona

A la Taula D8 es detalla el procés de mecanitzat que s'ha realitzat a la corona del motor del subconjunt de l'estructura motor i a la corona de l'eix intermedi del subconjunt del banc de proves.

Taula D8. Procés de fabricació de la corona motor i la corona de l'eix intermedi.

| | |
|-------------------------------|---|
| Nom de la peça | Corona motor i la corona eix intermedi. |
| Model | Corona de 52 dents, pas 5/8". |
| Plànol | 1.07 i 1.09 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Fresa i llima. |
| Procés de mecanitzat | S'ha centrat i fixat la corona a la fresa de control numèric amb el corresponent programa, segons els plànols, i aquesta ha augmentat el forat central i realitzat els forats dels cargols. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.9. Pinyó

A la Taula D9 es detalla el procés de mecanització del pinyó del subconjunt de l'estructura motor i del subconjunt del banc de proves.

Taula D9. Procés de fabricació del pinyó.

| | |
|-------------------------------|--|
| Nom de la peça | Pinyó. |
| Model | Pinyó de 11 dents, pas 5/8". |
| Plànol | 1.08 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Fresa, torn i lima. |
| Procés de mecanitzat | S'ha centrat i fixat el pinyó a la fresa de control numèric amb el corresponent programa, segons el seu plànol. Aquesta ha augmentat el forat central i ha realitzat la ranura de la xaveta. A continuació s'ha centrat i fixat al torn de control numèric i aquest ha realitzat l'operació de refrentament. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.1.10. Adaptador pinyó

A la Taula D10 es detalla el procés de fabricació de l'adaptador del pinyó del subconjunt del banc de proves.

Taula D10. Procés de fabricació de l'adaptador del pinyó.

| | |
|-------------------------------|---|
| Nom de la peça | Adaptador del pinyó. |
| Material | Acer 1C45 en estat normalitzat. |
| Plànol | 2.01 del Document núm. 2 Plànols. |
| Maquinaria a utilitzar | Serra, torn, fresa i llima. |
| Procés de fabricació | S'ha tallat un rodó de diàmetre superior al major diàmetre de l'adaptador. S'ha centrat i fixat el rodó al torn de control numèric amb el corresponent programa i aquest ha realitzat les operacions de cilindratge, ranuratge (per a la volandera de seguretat) i refrentament. A continuació s'ha centrat i fixat la peça a la fresa de control numèric amb el corresponent programa i aquesta ha realitzat la ranura de la xaveta i els forats dels cargols. Finalment s'han eliminat les arestes vives. |

D.2. PROCÉS DE MUNTATGE

El procés de muntatge del banc de proves del motor elèctric es divideix en dos blocs. El primer bloc fa referència a la part electrònica i el segon a la part mecànica.

D.2.1. Procés de muntatge electrònic

Per realitzar el muntatge electrònic s'han de desconnectar els cables de la bateria i del motor de la motocicleta. Degut a què s'utilitza la electrònica de la motocicleta que construeixen els membres de l'Equip de Barcelona SMC de l'Associació UdGRT.

El procediment de desconnexió dels cables de la motocicleta s'ha de realitzar en el següent ordre, veure el plànol 5.00 del Document núm. 2 Plànols on es pot determinar la posició del cables a la motocicleta:

1. Desconnectar el cable de control de la bateria amb la nomenclatura BAT_01.
2. Desconnectar el cable de potència de la bateria BAT_02.
3. Desconnectar el cable de control i de potència del motor MOT_01.
4. Desmuntar el motor de la motocicleta, que més endavant es muntarà al banc de proves.
5. Desconnectar el cable de l'accelerador de la motocicleta ACC_01.

Un cop realitzat el muntatge mecànic s'han de connectar el cables amb el següent ordre:

1. Connectar el cable de control i potència del motor MOT_01.
2. Connectar el cable de potència de la bateria BAT_02.
3. Connectar el cable de control de la bateria BAT_01.
4. Connectar el cable de l'accelerador del banc de proves ACC_01.

D.2.2. Procés de muntatge mecànic

El procés de muntatge mecànic es divideix en dos parts. La primera part del procés està formada pel subconjunt de l'estructura motor, veure plànol 1.00 del Document núm. 2 Plànols. La segona part és la unió de l'estructura del motor amb el banc de proves, situat al Laboratori de motors tèrmics de EPS de la UdG, veure plànol 0.00 del Document núm. 2 Plànols.

Abans de començar el muntatge mecànic s'ha de considerar que primer es posicionaren totes les peces en la seva corresponent posició i finalment s'alinearan i fixaran.

El muntatge del subconjunt de l'estructura motor s'ha realitzat a l'interior del taller. Primerament s'ha muntat el pinyó a l'eix intermedi, amb la seva corresponent xaveta i volandera de seguretat. A continuació aquest eix s'ha muntat al subconjunt de soldadura de l'estructura motor, introduint-lo pels forats de la biga on van muntats els rodaments, com es pot veure a la Figura D3. On primer s'ha introduït el costat de la corona de l'eix intermedi amb la corona centrada al forat de la biga. Després s'han muntat els corresponents cargols de la corona. Seguidament s'han posicionat els rodaments de l'eix intermedi, però amb els presoners sense fixar.

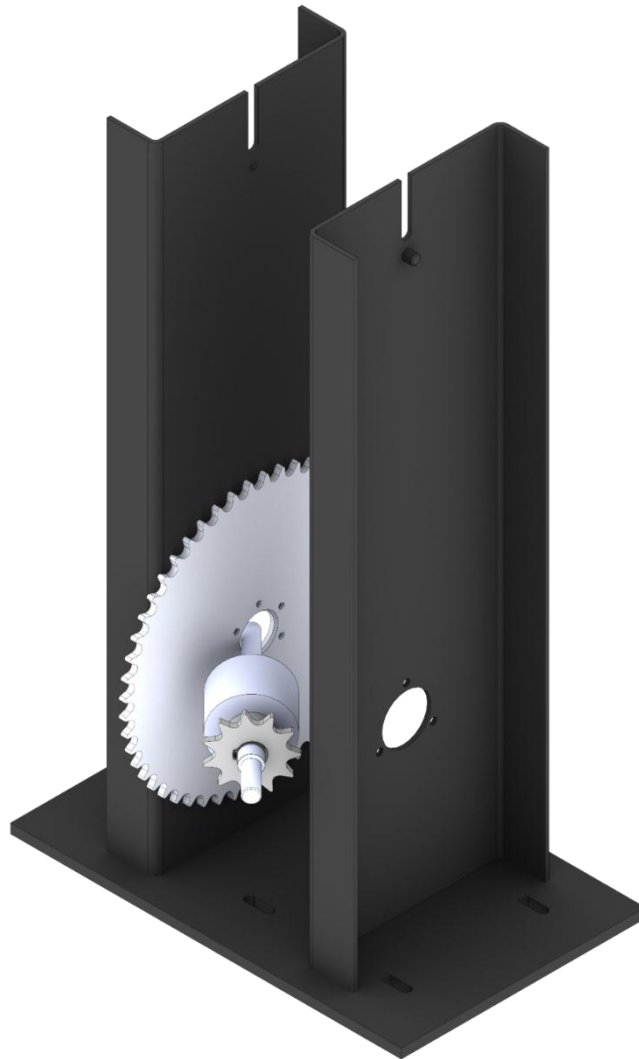


Figura D3. Muntatge de l'eix intermedi al subconjunt de soldadura de l'estructura motor.

Després s'ha muntat l'adaptador de la corona del motor, amb la respectiva corona i cargols, al motor de la motocicleta. Seguidament s'ha col·locat el motor al seu allotjament amb els tensors de lleva excèntrica, veure plànol 1.00 del Document núm. 2 Plànols. Si és necessari, entre l'eix del motor i les cares internes de les bigues de l'estructura s'han de col·locar unes volanderes que realitzen la funció d'ajustatge.

La segona part del muntatge consisteix en muntar l'estructura motor al banc de proves. En primer terme s'ha de fixat l'estructura del motor a la seva bancada mitjançant uns cargols, seguint les indicacions del plànol 0.00 del Document núm. 2 Plànols. A continuació s'ha muntat l'adaptador del pinyó al banc de proves. Després s'ha muntat el pinyó amb la corresponent xaveta i volandera de seguretat, veure plànol 2.00 del Document núm. 2 Plànols.

Per finalitzar, s'han muntat les cadenes de transmissió als corresponents pinyons i corones i s'han alineat. Primer s'ha alineat el pinyó de la primera etapa amb la corona del motor. Després s'ha d'alineat la corona de la segona etapa amb el pinyó del banc de proves. On amb l'ajuda dels tensors amb forma de lleva excèntrica es tensa la cadena de la primera etapa. Per tensar la cadena de la segona etapa es desplaça horitzontalment l'estructura del motor elèctric per la seva bancada. On els espais que hi ha entre les bigues de la bancada realitzen la funció de guies. L'alineació de les cadenes de transmissió s'ha comprovat visualment i amb el gir manual dels corresponents elements.

ANNEX E.

MANUAL D'USUARI I

MANTENIMENT

E.1. INTRODUCCIÓ

En aquest annex s'exposen els passos i les consideracions ha tenir en compte en el moment d'utilitzar el banc de proves dinamomètric, situat al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG. Aquestes consideracions són:

Seguir les normes de seguretat.

Configurar els canals de mesura del banc de proves.

Configurar el controlador del tipus PID del fre motor del banc de proves.

Realitzar l'assaig segons les necessitats, tipus rampa o estacionari.

La motivació de redactar un manual d'usuari molt detallat del banc de proves és facilitar la seva utilització als membres de l'equip de Barcelona SMC de la UdGRT. Degut a què a la propera edició de la competició es podrà modificar l'electrònica del motor, s'haurà de comprovar experimentalment cada modificació amb el banc de proves. Aleshores el manual d'usuari té molta importància perquè facilitarà a comprendre el procediment a seguir en cada assaig i a la vegada disminuirà el seu temps.

El manual d'usuari fa referència als passos a seguir amb el programa informàtic SPORTDYNO v3.7., instal·lat al Laboratori de motor tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG.

Degut a què el programa SPORTDYNO v3.7. no detecta bé les equacions introduïdes, les mesures del motor elèctric es realitzen a l'eix del fre motor del banc de proves. Si es vol transformar les corbes característiques a l'eix del motor s'ha d'utilitzar un altre programa, com per exemple el programa Plot Digitizer [7].

E.2. NORMES DE SEGURETAT I SALUT

Per garantir la seguretat de l'operari que utilitza l'equip i el seu correcte funcionament, s'han de seguir els següents passos:

S'ha de llegir i entendre el Manual d'Usuari i Manteniment.

És obligatori seguir el manual d'usuari.

No utilitzar l'equip amb les mans o qualsevol part del cos humida.

No ficar les mans, qualsevol part del cos o elements entre les parts mòbils de l'equip.

Abans d'utilitzar l'equip s'ha de comprovar visualment que no hi ha cap fissura, ni cap objecte en la seva zona de treball. També s'ha de comprovar la correcte fixació del banc de proves i de l'estructura motor.

Abans d'iniciar l'assaig s'ha d'engegar la bomba de recirculació de l'aigua de refrigeració del fre motor del banc de proves.

Els cables del banc de proves no es poden fixar, han d'estar lliures, per evitar errors a les lectures dels sensors.

No es pot fer funcionar el motor amb persones a l'interior de la sala de proves, situada al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG, veure 4.00 del Document núm. 2 Plànols.

L'equip només es pot fer servir per assajar el motor elèctric de ELMOTO PL0002, si es vol utilitzar un altre motor s'ha de realitzar un estudi per determinar la nova relació de transmissió i la resistència dels elements.

El diàmetre exterior màxim del neumàtic que pot muntar el motor és de 590 mm.

La bateria de la motocicleta s'ha de connectar a una xarxa elèctrica de 220 V monofàsica.

El banc de proves s'ha de connectar a una xarxa elèctrica de 220 V monofàsica.

La manipulació de l'equip degut a una averia o altre circumstància només es pot realitzar per personal qualificat.

Un cop finalitzada la prova s'ha de netejar el neumàtic de la roda del motor.

E.3. PROCEDIMENT DE LA PROVA

Per realitzar qualsevol prova primer s'ha de configurar el programa SPORTDYNO v3.7. A continuació s'ha d'escollir entre fer un assaig de tipus rampa o estacionari.

L'assaig tipus rampa proporciona una corba de parell i potència del motor. On el fre motor del banc de proves genera un parell resistent al del motor que augmenta en funció del temps.

L'assaig estacionari proporciona la mesura de parell i potència a un règim de gir concret. El fre motor del banc de proves genera un parell resistent consttat.

E.3.1. Comandaments

A la Figura E1 es poden observar els principals comandaments per realitzar l'assaig del motor elèctric al banc de proves dinamomètric.



Figura E1. Comandaments del banc de proves.

E.3.2. Configuració del programa

Per obtenir uns resultats precisos s'ha de configurar el programa SPORTDYNO v3.7. On primer s'ha de configurar els paràmetres del fre motor del banc de proves dinamomètric APICOM FR6. A continuació s'han de configurar els canals, és a dir, s'han de configurar les unitats i escales del parell, la potència i el règim de gir del banc de proves. Finalment s'ha de configurar el controlador del tipus PID del fre motor del banc de proves.

Els passos a seguir són:

1. Activar el circuit de refrigeració del banc de proves APICOM FR6 i el circuit de la motocicleta.
2. Obrir el programa **SPORTDYNO v3.7**.
3. Anar a la pestanya **Opciones** i seleccionar **Configuración**.
4. A la pestanya **Tipo de banco**, seleccionar **MOTOR ELMOTO PL0002** en l'àrea de **Nombre del Banco**, veure Figura E2. La **Inercia** ha de tenir una valor de **0,002 Kgm²** i seleccionar **Par en el rodillo** en el **Cálculo del PAR**.

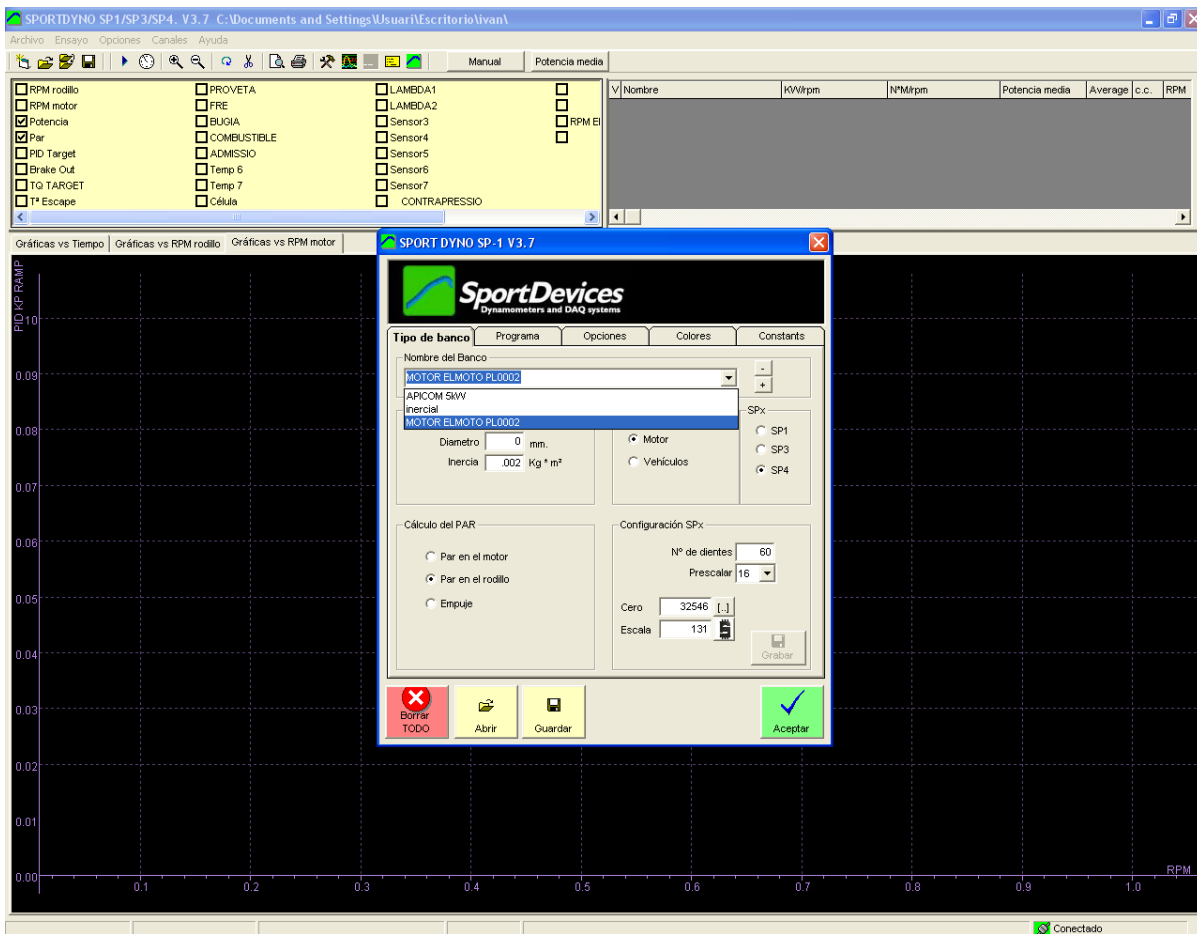


Figura E2. Selecció del nom del banc de proves.

5. Clicar a **Aceptar**.
6. Anar a la pestanya **Canales** de la finestra principal i seleccionar **Configurar canales**.
7. Els quatre primers canals han de tenir la configuració de la Figura E3 i clicar **Aceptar**.

| # | Disp. | canal | Preselección | unidad | Valor Max. | Limite superior | Limite inferior | Mín. Valor Graf. | Decimales | Voltaje | escala | Filtro | Group |
|---|-------|-----------------|------------------------|--------|------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|---------|-------------|--------|-------|
| 0 | | RPM roditio | Digital Channel | RPM | 15000 | 15000 | 0 | 0 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | | RPM motor | Digital Channel | RPM | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | f(x) | Potencia | Calculated Channel | KW | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 0,001 | 0 | 0 |
| 3 | f(x) | Par | Calculated Channel | NPM | 4 | 4 | 0 | 0,1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | f(x) | Horsepower 1 | Calculated Channel | CV | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | f(x) | Roller Torque 1 | Calculated Channel | KGM | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | f(x) | Horsepower 2 | Calculated Channel | CV | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | f(x) | Roller Torque 2 | Calculated Channel | KGM | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | f(x) | Input power | Calculated Channel | watt | 20000 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | f(x) | Slip | Calculated Channel | % | 100 | 0 | 0 | 10 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| : | f(x) | Lambda Corr. % | Calculated Channel | % | 100 | 0 | 0 | 5 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| : | f(x) | Efficiency % | Calculated Channel | % | 200 | 0 | 0 | 10 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| < | | PID Target | Digital Channel | rpm | 8000 | 8000 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 0,5 | 0 | 0 |
| = | | Brake Out | Digital Channel | % | 100 | 0 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | ,775171E-02 | 0 | 0 |
| > | | TQ TARGET | Digital Channel | Nm | 1000 | 0 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| T | | T Escapce | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 600 | 0 | 0,01 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| B | | PROVETA | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 50 | 0 | 30 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| C | | FRE | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 60 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| D | | BUSIA | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 150 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| E | | COMBUSTIBLE | Thermocouple (0-1000°) | °C | 100 | 35 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| F | | ADMISSIO | Thermocouple (0-1000°) | °C | 100 | 50 | 0 | 10 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| G | | Temp 6 | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 35 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| H | | Temp 7 | Thermocouple (0-1000°) | °C | 1000 | 35 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| I | | Cèlula | General (0-5 V) Sensor | Nm | 15 | 15 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | ,998901E-03 | 20 | 0 |
| J | | LAMBDA1 | vV Lambda (0-5V) | Volt | 5 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 4,88759E-03 | 0 | 0 |
| K | | LAMBDA2 | vV Lambda (0-5V) | Volt | 5 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 4,88759E-03 | 0 | 0 |
| L | | Sensor3 | General (0-5 V) Sensor | Volt | 5 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 4,88759E-03 | 0 | 0 |
| M | | Sensor4 | General (0-5 V) Sensor | Volt | 5 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 4,88759E-03 | 0 | 0 |
| N | | Sensor5 | General (0-5 V) Sensor | Volt | 5 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 4,88759E-03 | 0 | 0 |
| O | | Sensor6 | vV TEMP Celsius | °C | 50 | 100 | 5 | 0,1 | 1 | 5 | 0,004 | 0 | 0 |
| P | | Sensor7 | vV HUMIDITY | % | 100 | 100 | 5 | 0,1 | 0 | 5 | 0,0048828 | 0 | 0 |
| Q | | CONTRAPRESSIO | vV PRESSURE mbar | mBar | 2500 | 60 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0,0048828 | 100 | 0 |
| R | | Counter1 | General (0-5 V) Sensor | count | 1023 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| S | | Counter2 | General (0-5 V) Sensor | count | 1023 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| T | | Roller RPM 2 | General (0-5 V) Sensor | RPM | 8000 | 0 | 0 | 100 | 0 | 2,5 | 0,5 | 0 | 0 |
| U | | Load Cell 2 | General (0-5 V) Sensor | Nm | 50000 | 0 | 0 | 10 | 1 | 2,5 | 0,01 | 0 | 0 |
| a | f(x) | PARELL CORR. | Calculated Channel | Nm | 4 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 30 | 0 |
| b | f(x) | POTENCIA CORR. | Calculated Channel | KW | 1,5 | 1,5 | 0 | 1 | 1 | 2,5 | 1 | 30 | 0 |
| c | f(x) | RPM ELMOTO | Calculated Channel | RPM | 1000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 0 |
| d | f(x) | MOMENT MOTOR | Calculated Channel | Nm | 120 | 120 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 5 | 0 |
| e | f(x) | Calculated ch e | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| f | f(x) | Calculated ch f | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| g | f(x) | Calculated ch g | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| h | f(x) | Calculated ch h | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| i | f(x) | Calculated ch i | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |
| j | f(x) | Calculated ch j | Calculated Channel | u | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 2 | 2,5 | 1 | 0 | 0 |

Figura E3. Valors del canals del banc de proves dinamomètric.

8. Anar a la pestanya **Canales** de la finestra principal i seleccionar **Actualizar**.
9. Anar a la pestanya **Opciones** de la finestra principal i seleccionar **Configuración PID**.
10. Clicar a **Bloquear**, escriure els paràmetres del **PID** de la Figura E4 i clicar **Solicitar**, **Bloquear** i **Aceptar**.

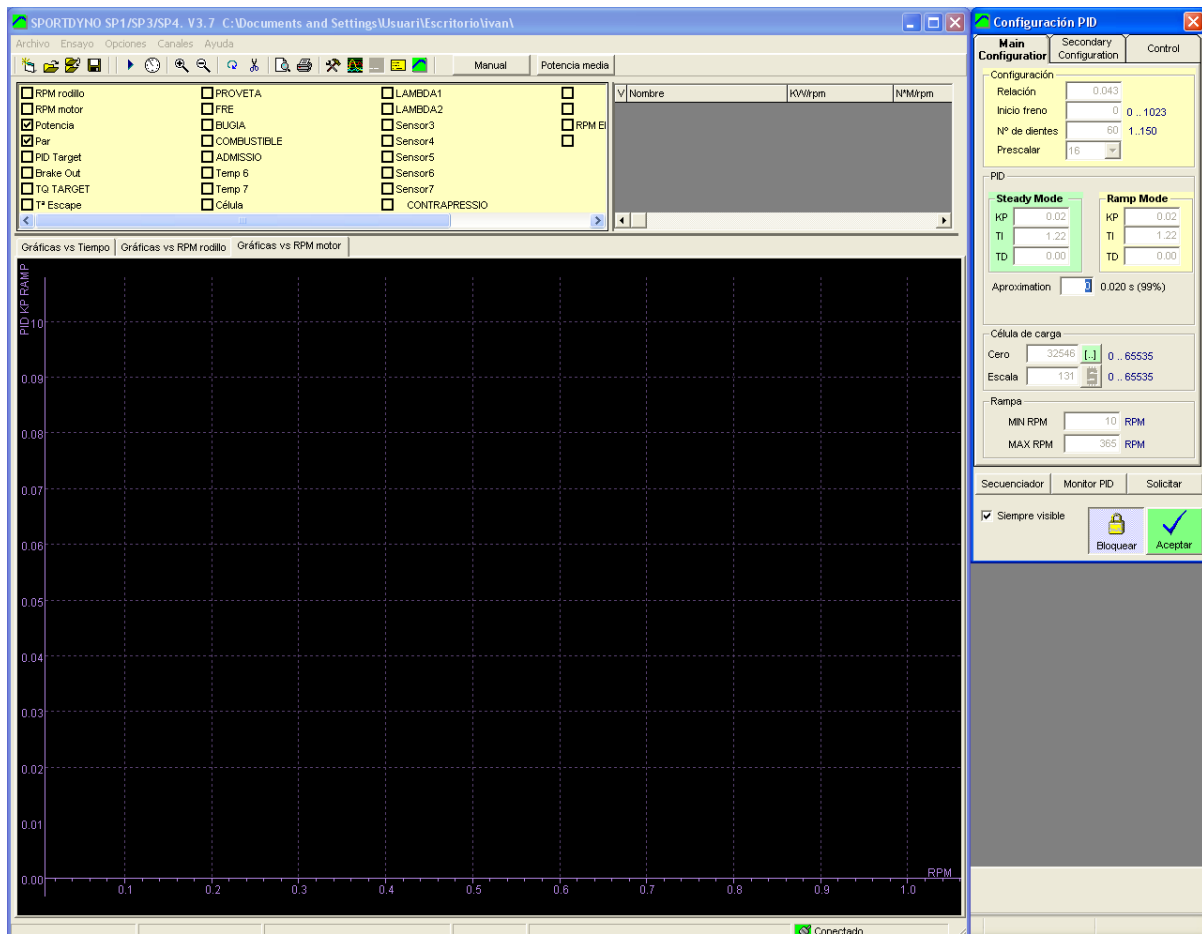


Figura E4. Paràmetres del controlador PI del banc de proves.

11. Anar a la pestanya **Ensayo** de la finestra principal i seleccionar **Comenzar**, per obrir la finestra de **Calentamiento**.
12. Anar a la pestanya **RPM Motor** de la finestra de **Calentamiento** i seleccionar **Relación fija** a l'àrea de **RPM MOTOR**.
13. Introduir la corresponent relació de transmissió entre el banc de proves dinamomètric i el motor elèctric.
14. Anar a la pestanya **Modo de ensayo** de la finestra de **Calentamiento** i seleccionar **Rampa**.

15. Introduir els paràmetres de la prova tipus la rampa de la Figura E5.

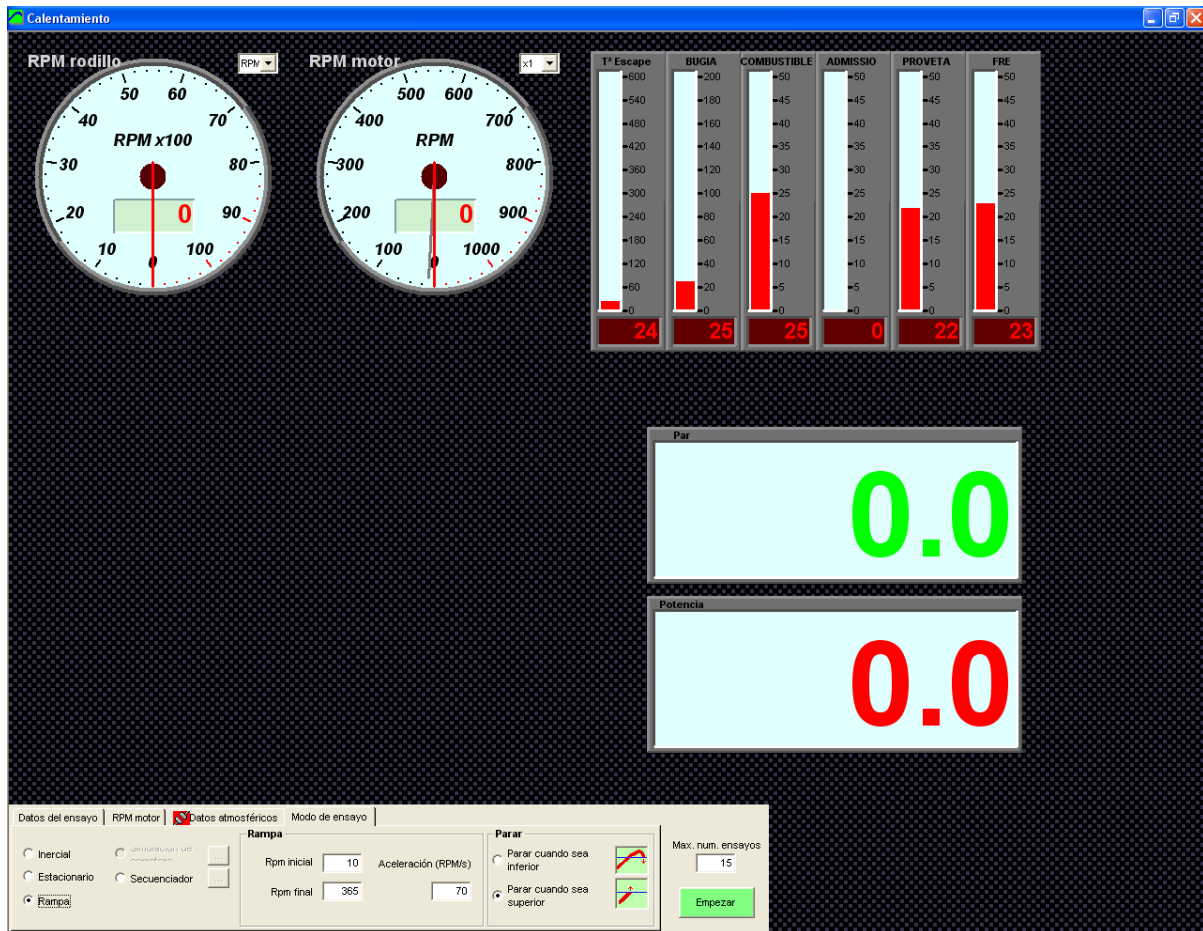
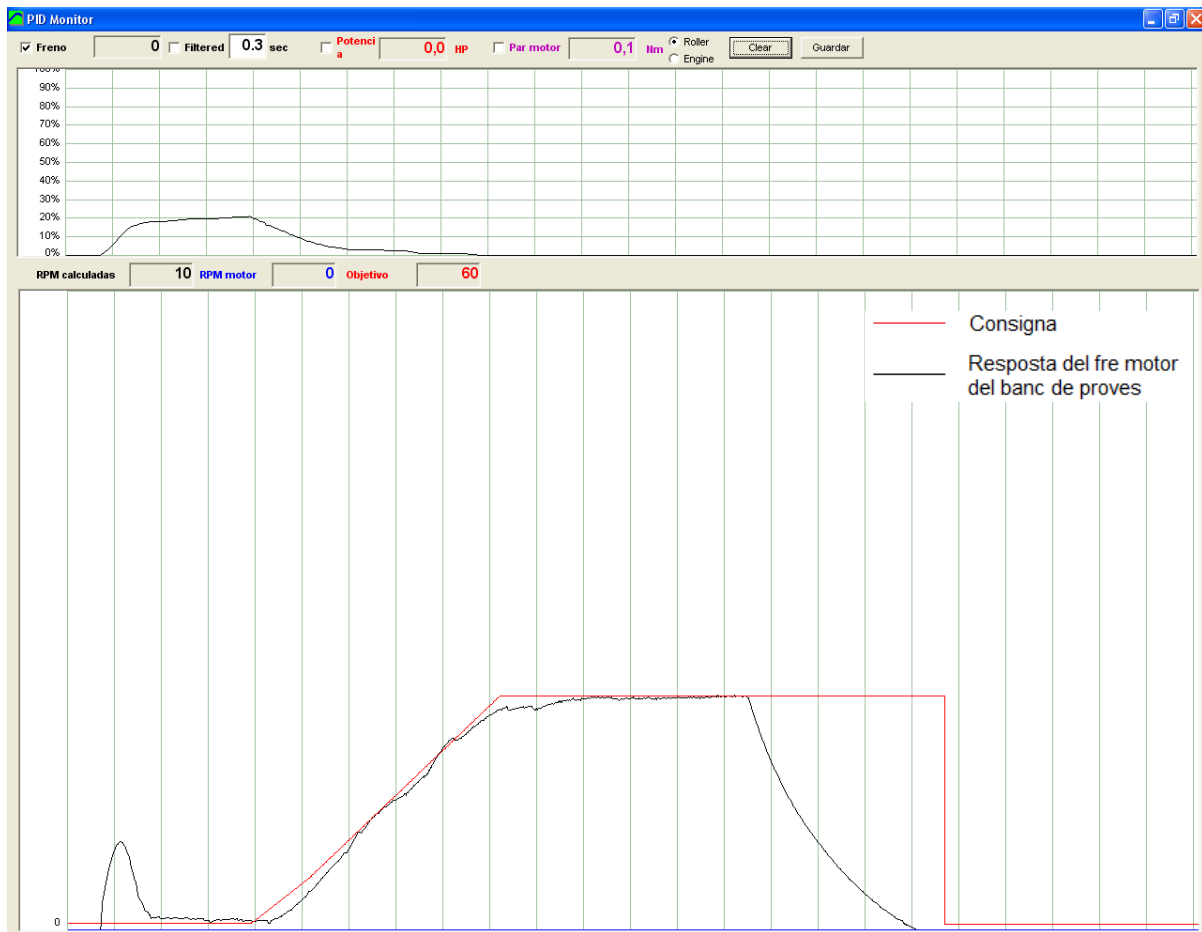


Figura E5. Paràmetres de la prova tipus rampa..

16. Anar a la pestanya **Opciones** de la finestra principal i seleccionar **Monitor PID**, per obrir la finestra **PID Monitor**.
17. Accionar l'accelerador del motor elèctric fins a la seva posició màxima, esperar que s'estabilitzi el règim de gir i clicar **Empezar** de la finestra de **Calentamiento**.
18. Un cop acabada la prova deixar d'accionar l'accelerador del motor elèctric i obrir la finestra **PID Monitor**. Comprovar que la sortida del fre motor del banc de proves (corba de color negre) respon correctament a la consigna (corba de color vermell), veure Figura E6.

Figura E6. Finestra **PID Monitor**.

Nota: Si la corba de la sortida del fre motor del banc de proves no respon correctament a la consigna s'han de repetir els passos 9 i 10, amb diferents paràmetres del controlador PID. A continuació s'han de repetir els passos 17 i 18. Aquest procés s'ha de reitera fins obtenir una correcta resposta del fre motor a la seva consigna.

19. Tancar la finestra **PID Monitor** i apagar el circuit de refrigeració del banc de proves APICOM FR6 i el circuit de la motocicleta

Nota: Si el parell i la potència mesurada tenen un valor negatiu s'han de intercanviar els pols de la cèl·lula de càrrega.

E.3.3. Prova tipus rampa

Per realitzar la prova de tipus rampa correctament s'han de seguir els següents passos:

1. Activar el circuit de refrigeració del banc de proves APICOM FR6 i el circuit de la motocicleta.
1. Obrir el programa **SPORTDYNO v3.7**.
2. Anar a la pestanya **Ensayo** de la finestra principal i seleccionar **Comenzar**, per obrir la finestra de **Calentamiento**.
3. Anar a la pestanya **Modo de ensayo** i seleccionar **Rampa**.
4. Accionar l'accelerador del motor elèctric fins a la seva posició màxima, esperar que s'estabilitzi el règim de gir i clicar a **Empezar** de la finestra de **Calentamiento**.
5. Un cop acabada la prova deixar d'accionar l'accelerador del motor elèctric.
6. Anar la pestanya **Archivo** de la finestra principal i seleccionat **Guardar como...**, per desar l'assaig.

E.3.3. Prova estacionaria

Per realitzar la prova en estat estacionari correctament s'han de seguir els següents passos:

1. Activar el circuit de refrigeració del banc de proves APICOM FR6 i el circuit de la motocicleta.
1. Obrir el programa **SPORTDYNO v3.7**.
2. Anar a la pestanya **Ensayo** de la finestra principal i seleccionar **Comenzar**, per obrir la finestra de **Calentamiento**.
3. Anar a la pestanya **Modo de ensayo** i seleccionar **Estacionario**.

4. Introduir el règim de gir del motor al que es vol realitzar la mesura a la casella de **Objetivo.**
5. Accionar l'accelerador del motor elèctric fins a la seva posició màxima, esperar que s'estabilitzi el règim de gir i apuntar manualment el parell i la potència.
6. Un cop acabada la prova deixar d'accionar l'accelerador del motor elèctric i apagar el circuit de refrigeració del banc de proves i el circuit de la motocicleta.

E.4. MANTENIMENT

El manteniment de l'equip és molt reduït i es resumeix en les següents consideracions:

El subconjunt de l'estructura motor, veure plànol 1.00 del Document núm. 2 Plànol, s'ha de emmagatzemar en un ambient amb un humitat baixa i una temperatura ambient constant.

Les peces que no estan pintades han de tenir una pel·lícula d'oli per evitar la corrosió.

Les cadenes de transmissió han d'estar sempre lubricades.

ANNEX F. RESULTATS DE LES PROVES

F.1. INTRODUCCIÓ

En aquest annex s'exposen i expliquen els resultats obtinguts d'assajar el motor elèctric ELMOTO PL0002 al banc de proves dinamomètric APICOM FR 6, situat al Laboratori de motors tèrmics de l'edifici P-II de la EPS de la UdG.

Per obtenir les corbes característiques del motor elèctric de la motocicleta s'han realitzat quatre proves amb diferents condicions de treball. Es pretén determinar si l'estat de la bateria i la utilització de l'enllumenat de la motocicleta influeixen en les corbes característiques del motor elèctric. A la Taula F1 es poden veure les condicions de treball de cada prova.

Taula F1. Condicions de treball de cada proa.

| Prova | Estat de la bateria | Utilització de l'enllumenat | |
|---------|---------------------|-----------------------------|--------|
| | | Posició | Llarga |
| Prova 1 | 100% | No | No |
| Prova 2 | 100% | Si | Si |
| Prova 3 | 50% | No | No |
| Prova 4 | 50% | Si | Si |

Les llums de senyalització no s'han utilitzat perquè no generen un consum de potència elèctrica continu, degut a què són intermitents.

Les quatre proves s'han realitzat amb el mateix motor elèctric, a una temperatura de 25°C, amb una humitat relativa al laboratori del 50% i amb un flux d'aire forçat incidint a la unitat de control del motor elèctric.

A la Taula F2 es poden veure els valors utilitzats a la configuració del controlador del tipus PI del fre motor del banc de proves. Amb la configuració inicial del controlador PI la resposta del fre motor té una gran oscil·lació respecte a la seva consigna, veure Figura F1a. A la Figura F1b es pot veure la resposta del fre motor a la seva consigna amb el controlador PI configurat, és a dir, amb els valors de la Taula F2.

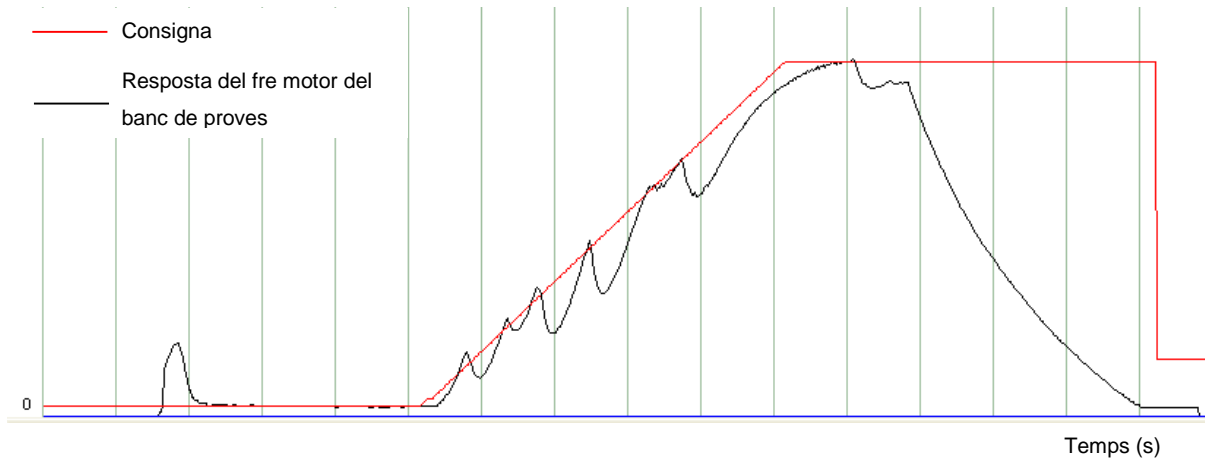


Figura F1a. Resposta del fre motor a la seva consigna amb el controlador sense configurar.

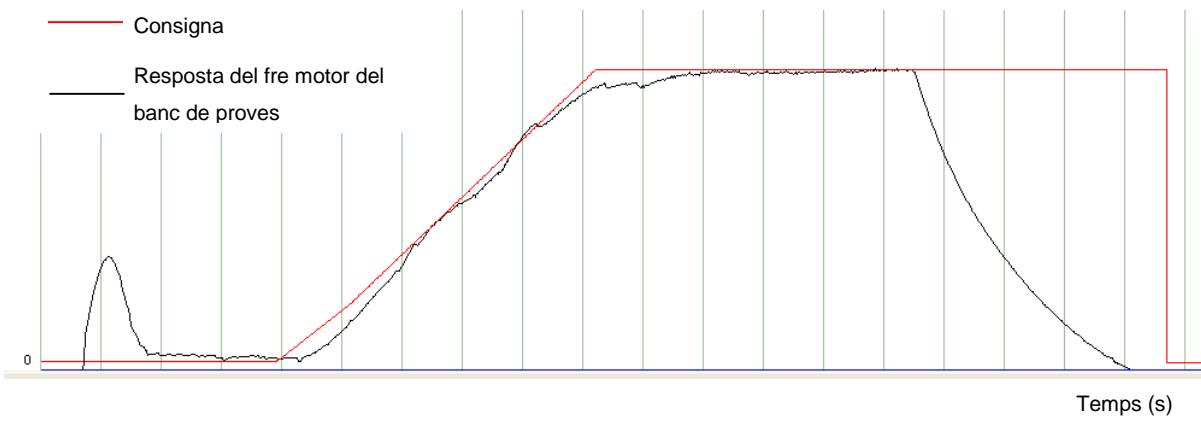


Figura F1b. Resposta del fre motor a la seva consigna amb el controlador configurat.

Taula F2. Paràmetres del controlador del tipus PID del fre motor del banc de proves APICOM FR6.

| Paràmetres | Valor |
|-----------------------------|-------|
| Constant proporcional k_p | 0,02 |
| Constant integral T_i | 1,22 |
| Constant derivativa T_d | 0,00 |

El programa SPORTDYNO v3.7., utilitzat per mesurar les característiques del motor elèctric, no es capaç de calcular bé les fórmules introduïdes per passar les corbes mesurades de l'eix del banc de proves a l'eix del motor. Aleshores amb el programa del banc de proves s'han obtingut les corbes característiques del motor a l'eix del banc de proves. A continuació s'han passat les corbes a l'eix del motor elèctric.

Per passar les corbes característiques de l'eix del banc de proves a l'eix del motor s'ha utilitzat el programa Plot Digitizer [7], per obtenir els punts de cada corba. Posteriorment s'ha calculat el parell, el règim de gir i la potència del motor.

El parell motor M_{motor} és

$$M_{motor} = M_{banc} i \quad (f.1)$$

on M_{banc} és el parell mesurat amb el banc de proves i i és la relació de transmissió entre l'eix del motor i el banc de proves ($i = 22,35$).

El règim de gir del motor ω_{motor} és

$$\omega_{motor} = \frac{\omega_{banc}}{i} \quad (f.2)$$

on ω_{banc} és el règim de gir mesurat a l'eix del banc de proves.

La potència del motor P_{motor} és

$$P_{motor} = \frac{P_{banc}}{\eta} \quad (f.3)$$

on P_{banc} és la potència mesurada en el banc de proves i η és el rendiment que hi ha entre el motor i el banc de proves, degut a les cadenes de transmissió. Segons el Reglament Europeu [6] el rendiment d'una cadena de transmissió de rodets és de 0,95. Aleshores $\eta = 0,95^2$ perquè aquest sistema té dues cadenes de transmissió.

A continuació es presenten els resultats de les quatre proves i es destaquen els punts més importants de cada corba. Finalment es comparen entre elles i es determina si les diferents condicions de cada assaig influeixen en les corbes característiques del motor elèctric.

F.2. RESULTATS DE CADA PROVA

Com s'ha explicat anteriorment, en aquest capítol es presenten les corbes característiques del motor a l'eix del banc de proves dinamomètric, obtingudes amb el programa SPORTDYNO v3.7. A continuació s'exposen les corbes característiques i es destaquen les següents característiques mecàniques del motor elèctric:

Parell màxim.

Parell d'arrancada.

Potència màxima.

Règim de gir màxim.

F.2.1. Prova 1

Aquesta prova s'ha realitzat amb un 100% de bateria i amb el sistema d'enllumenament desconnectat. A la Figura F2 es mostren les corbes característiques del motor elèctric a l'eix del banc de proves dinamomètric, obtingudes amb el programa SPORTDYNO v3.7.

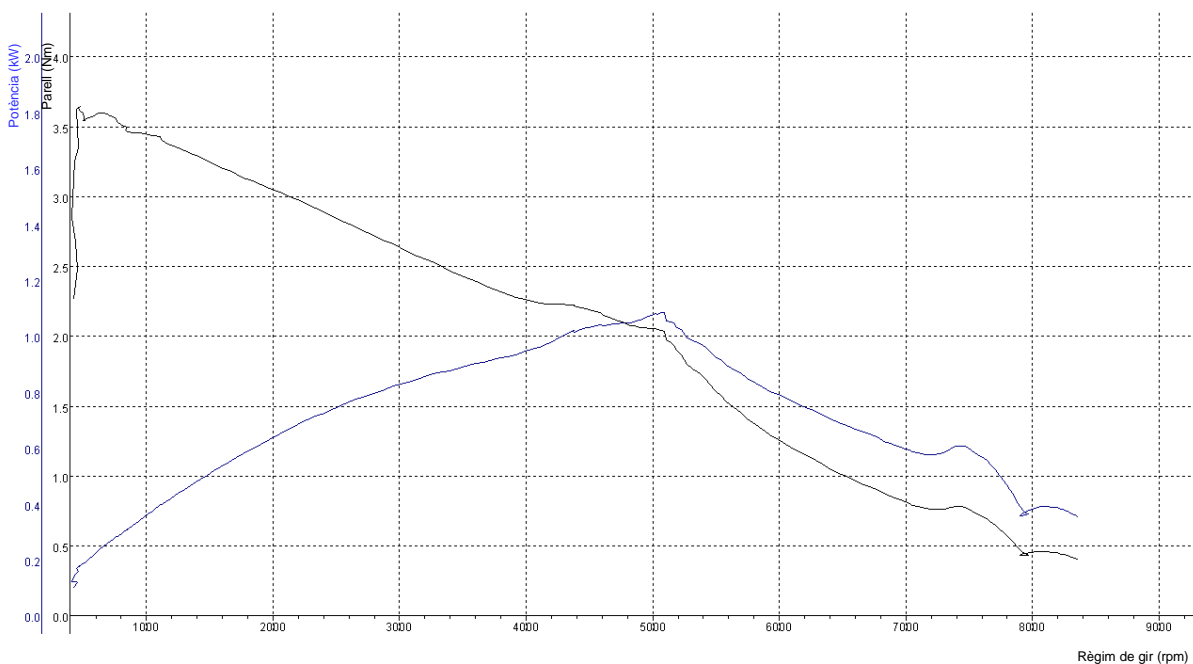


Figura F2. Prova 1: Corba característica del motor elèctric a l'eix del banc de proves, sense llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

A la Figura F3 es poden veure les corbes característiques del motor elèctric amb les condicions esmentades anteriorment.

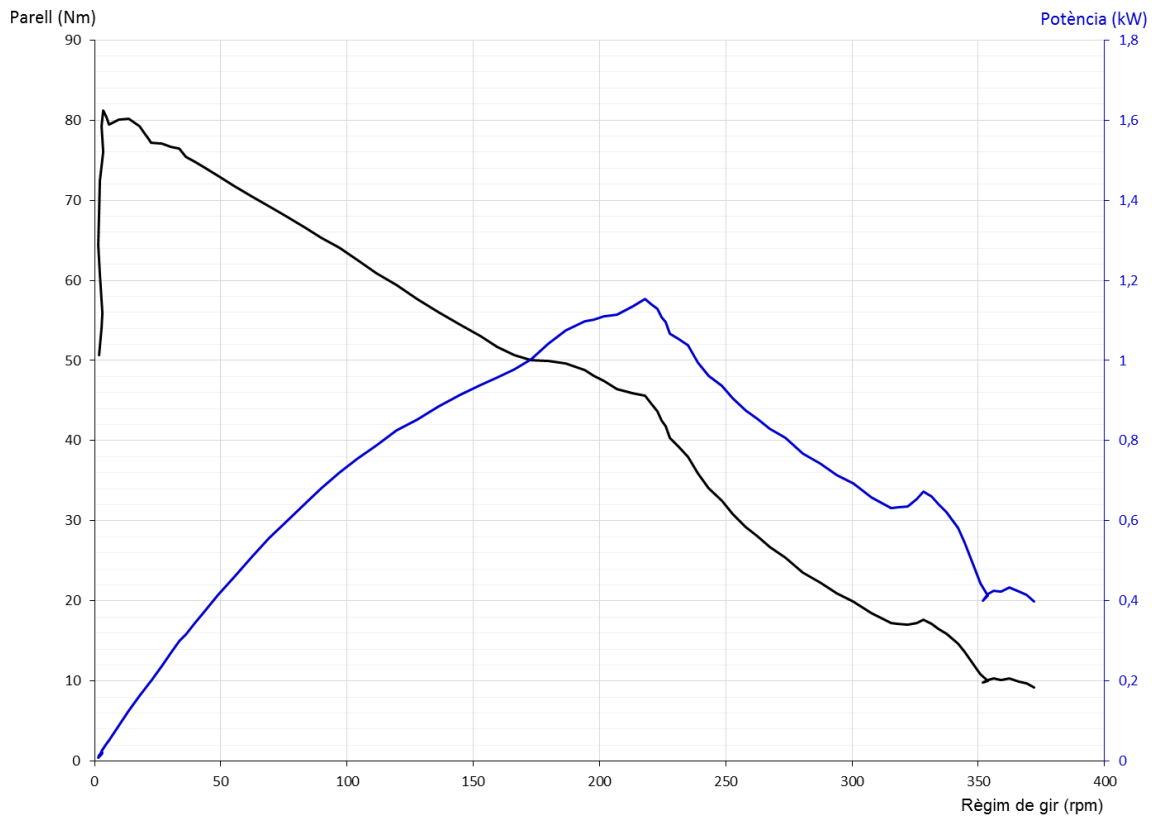


Figura F3. Prova 1: Corba característica del motor elèctric ELMOTO PL0002, sense llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

A la Taula F3 es poden observar les característiques mecàniques més importants del motor elèctric obtingudes en aquest assaig.

Taula F3. Prova 1: Característiques mecàniques del motor elèctric ELMOTO PL0002, sense llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

| Característica mecànica | Valor |
|-------------------------|---------|
| Parell màxim | 81 Nm |
| Parell d'arrancada | 81 Nm |
| Potència màxima | 1,16 kW |
| Règim de gir màxim | 372 rpm |

F.2.1. Prova 2

La segona prova s'ha realitzat amb un 100% de bateria i amb el sistema d'enllumenament connectat. Les corbes característiques del motor elèctric a l'eix del banc de proves dinàmometric estan representades a la Figura F4.

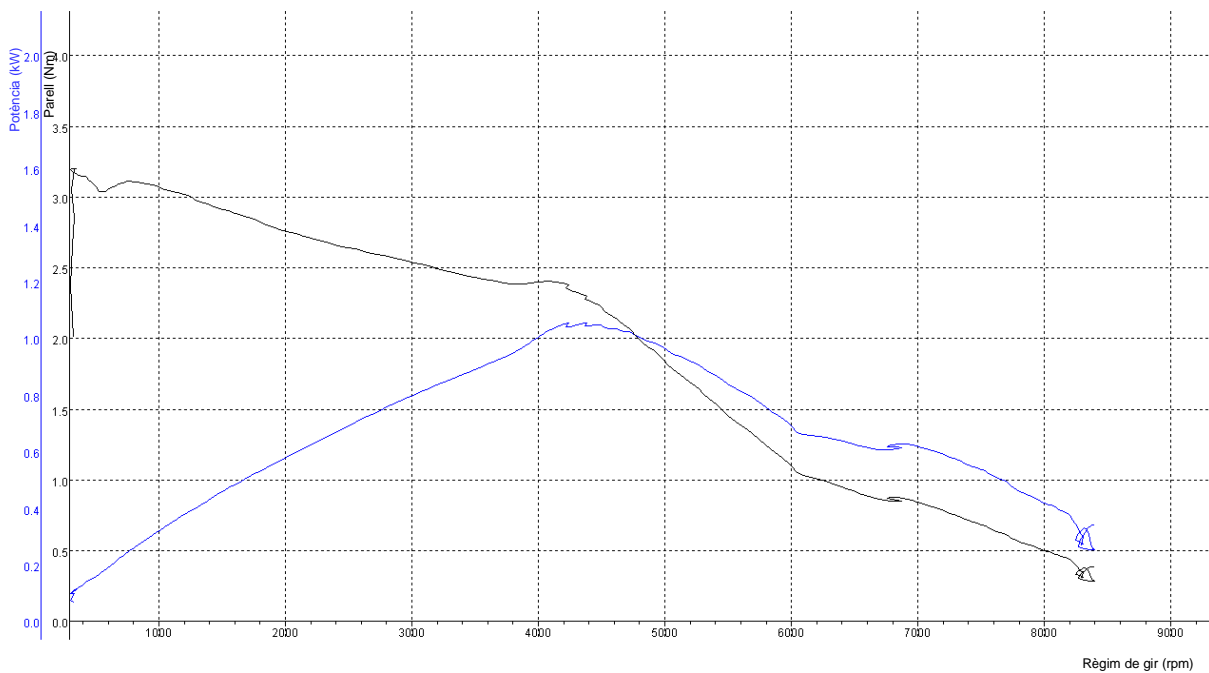


Figura F4. Prova 2: Corba característica del motor elèctric a l'eix del banc de proves, amb llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

A la Figura F5 es poden veure les corbes característiques del motor elèctric amb les condicions del segon assaig.

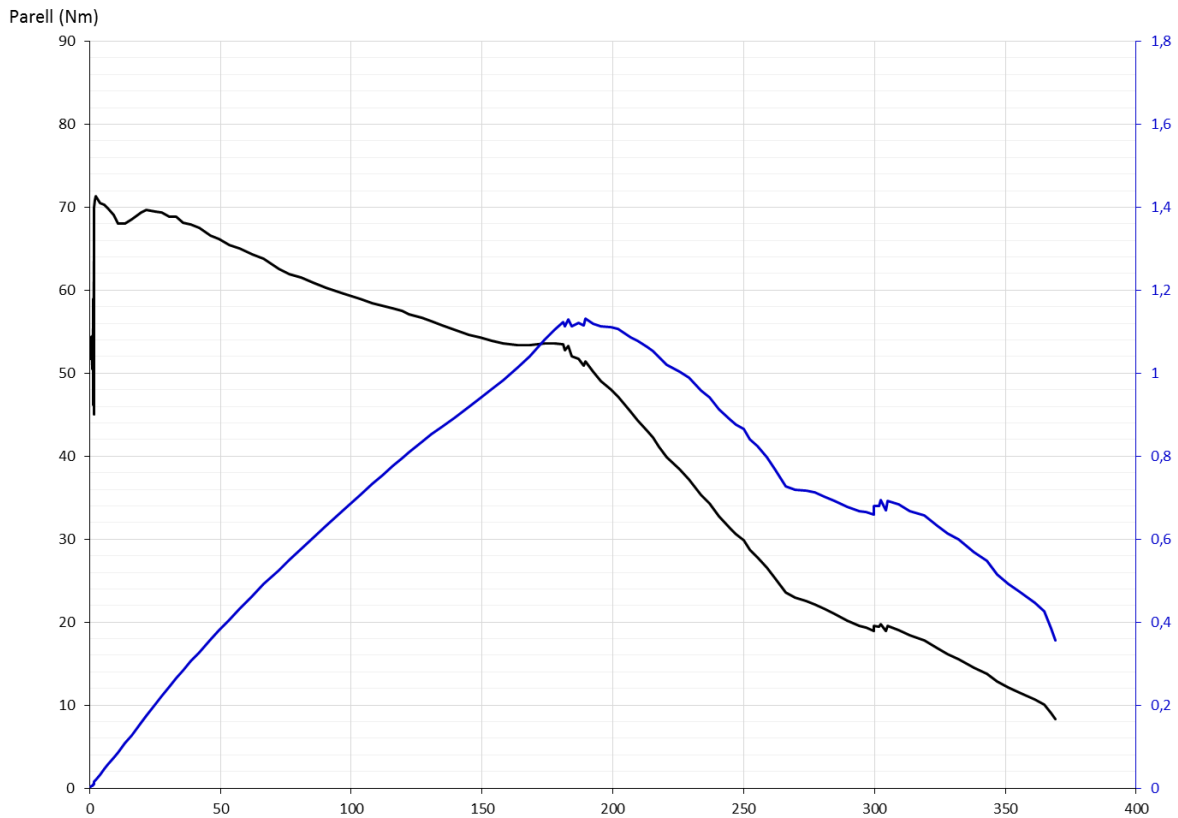


Figura F5. Prova 2: Corba característica del motor elèctric ELMOTO PL0002, amb llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

Les característiques mecàniques a destacar d'aquesta prova es troben a la Taula F4.

Taula F4. Prova 2: Característiques mecàniques del motor elèctric ELMOTO PL0002, amb llums i amb el 100% de càrrega de la bateria.

| Característica mecànica | Valor |
|-------------------------|---------|
| Parell màxim | 71 Nm |
| Parell d'arrancada | 71 Nm |
| Potència màxima | 1,13 kW |
| Règim de gir màxim | 369 rpm |

F.2.1. Prova 3

La tercera prova s'ha realitzat amb un 50% de bateria i amb el sistema d'enllumenament desconnectat. A la Figura F6 es mostren les corbes característiques del motor elèctric a l'eix del banc de proves dinamomètric.

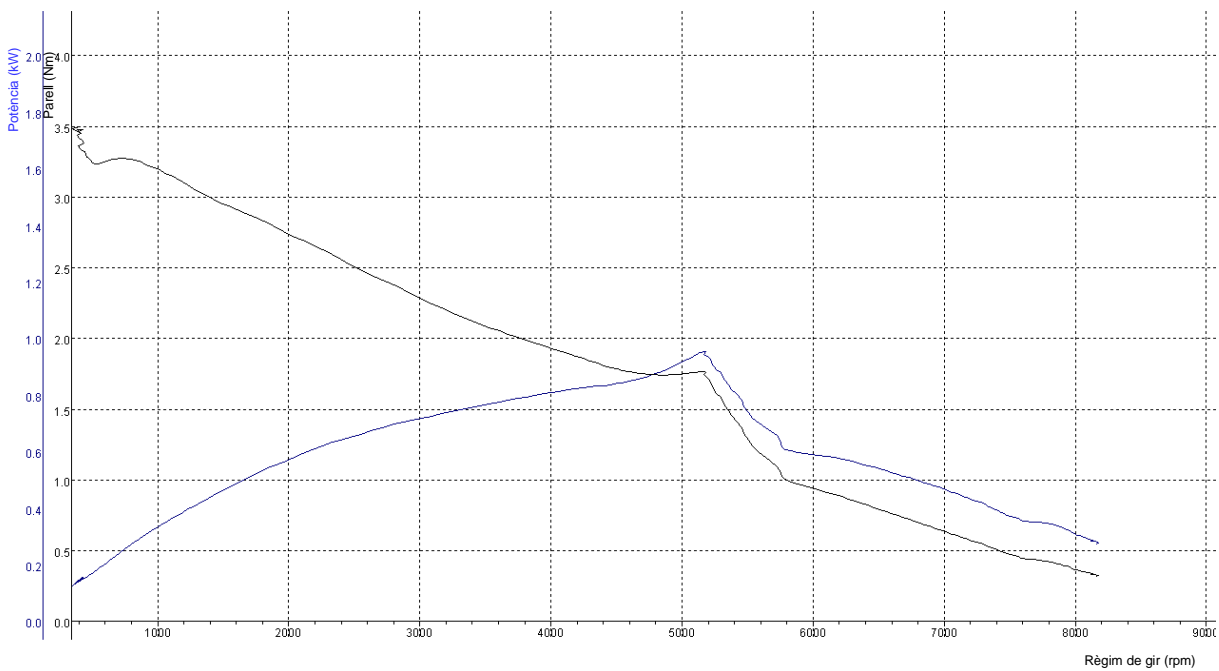


Figura F6. Prova 3: Corba característica del motor elèctric a l'eix del banc de proves, sense llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

A la Figura F7 es poden veure les corbes característiques del motor elèctric a la tercera prova.

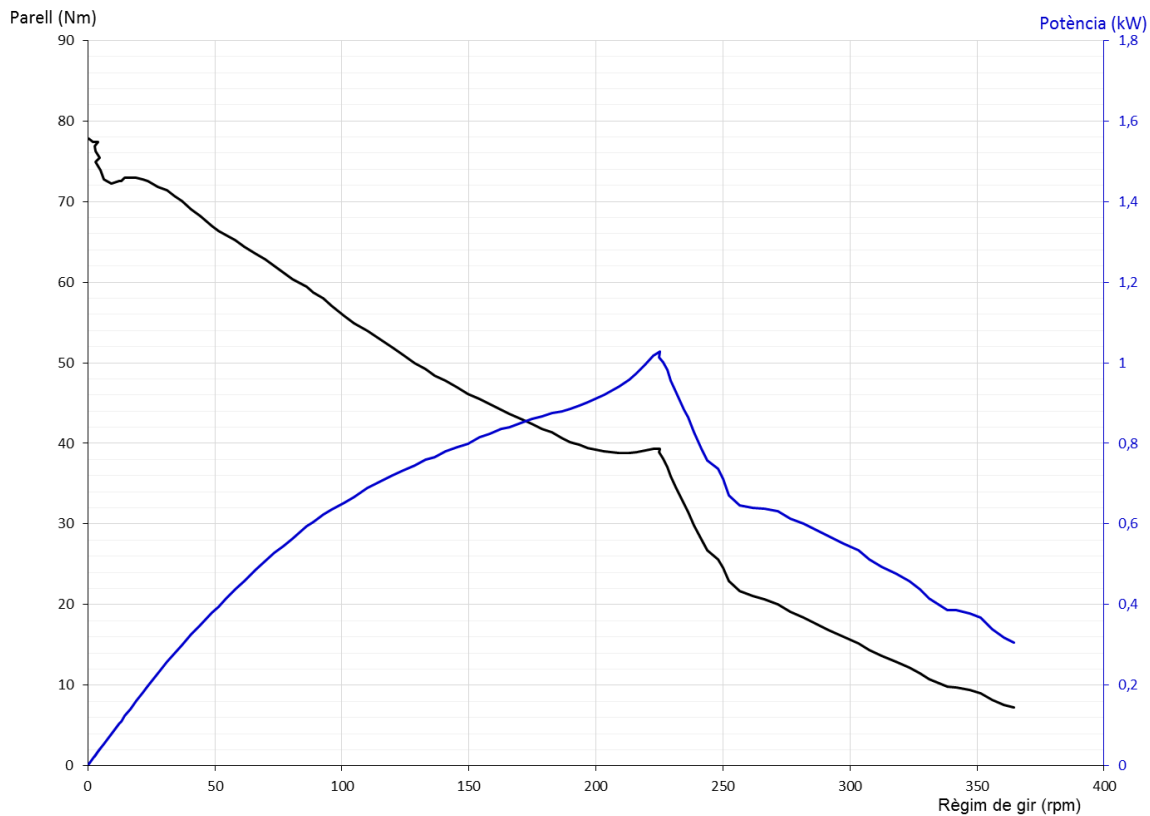


Figura F7. Prova 3: Corba característica del motor elèctric ELMOTO PL0002, sense llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

A la Taula F5 es poden observar les característiques mecàniques més importants del motor elèctric obtingudes en la tercera prova.

Taula F5. Prova 3: Característiques mecàniques del motor elèctric ELMOTO PL0002, sense llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

| Característica mecànica | Valor |
|-------------------------|---------|
| Parell màxim | 78 Nm |
| Parell d'arrancada | 78 Nm |
| Potència màxima | 1,10 kW |
| Règim de gir màxim | 364 rpm |

F.2.1. Prova 4

Aquesta prova s'ha realitzat amb un 50% de bateria i amb el sistema d'enllumenament desconnectat. A la Figura F8 es mostren les corbes característiques del motor elèctric a l'eix del banc de proves dinamomètric.

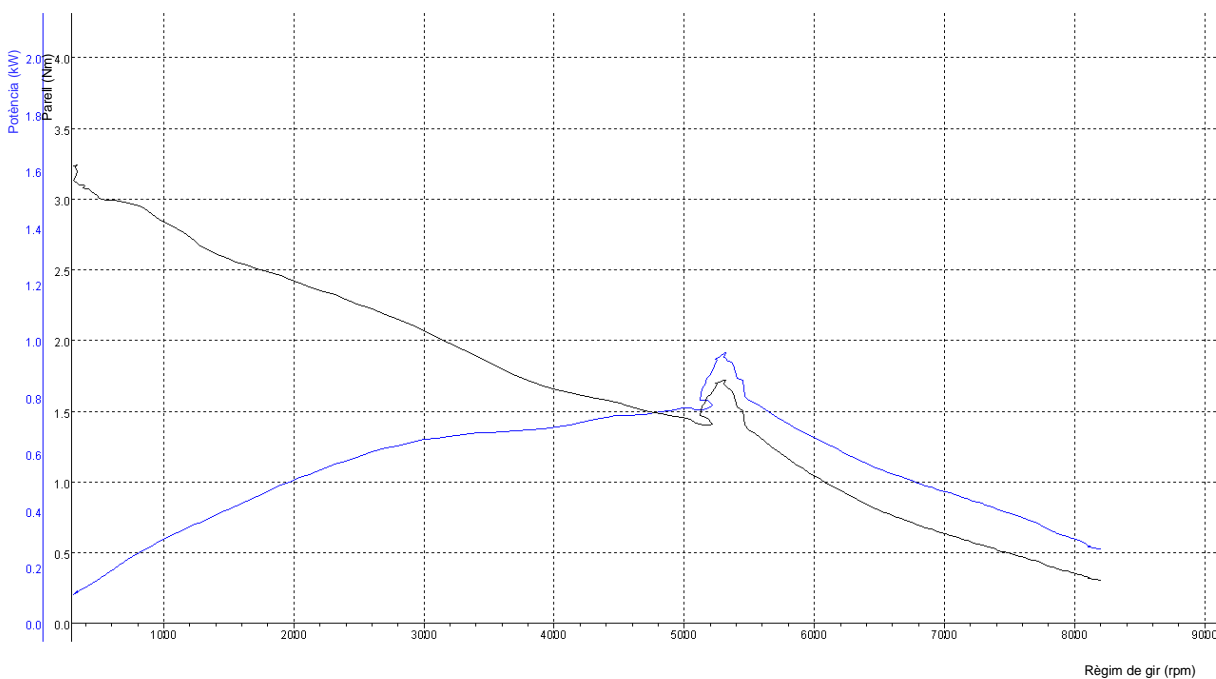


Figura F8. Prova 4: Corba característica del motor elèctric a l'eix del banc de proves, amb llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

Com es pot observar a la Figura F9, les corbes característiques del motor elèctric presenten una distorsió a un règim de gir de 225 rpm fins a 240 rpm. Aquesta distorsió pot ser produïda per la unitat de control de la motocicleta, perquè el controlador del banc de proves proporciona una correcta resposta del fre motor a la seva consigna.

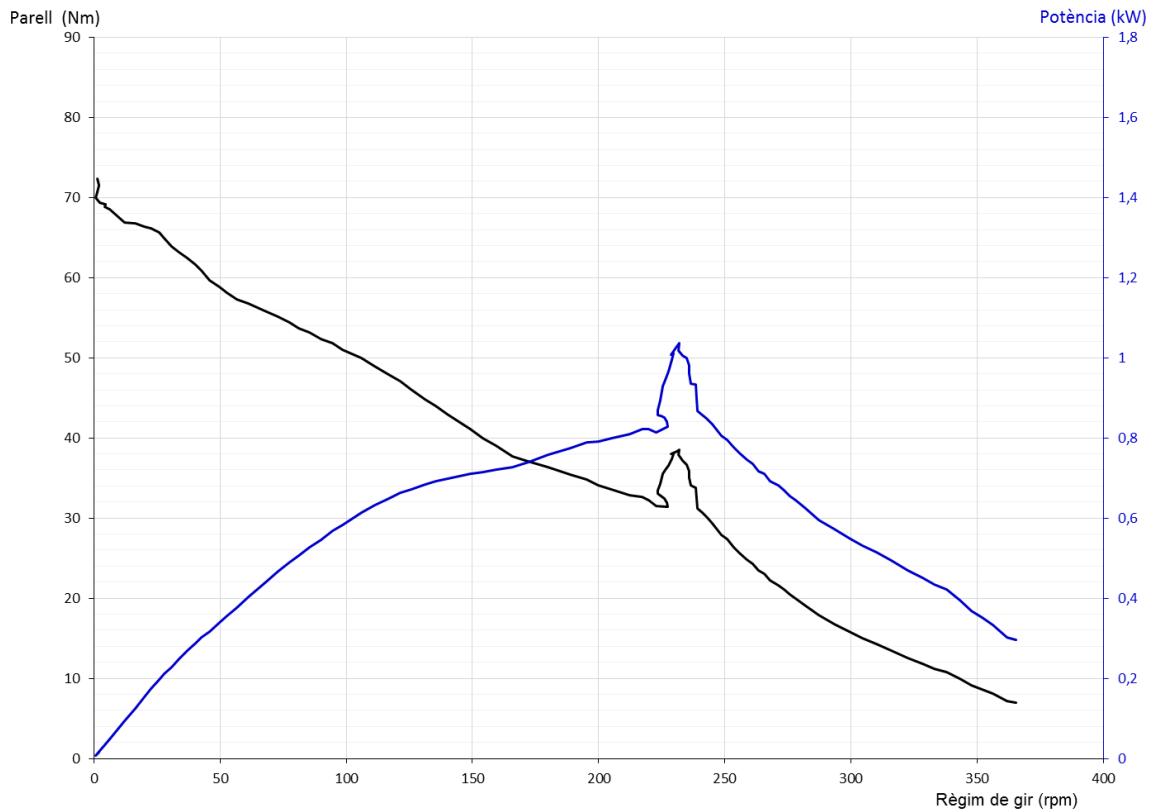


Figura F9. Prova 4: Corba característica del motor elèctric ELMOTO PL0002, amb llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

A la Taula F6 es poden observar les característiques mecàniques més importants del motor elèctric obtingudes en aquest assaig.

Taula F6. Prova 4: Característiques mecàniques del motor elèctric ELMOTO PL0002, amb llums i amb el 50% de càrrega de la bateria.

| Característica mecànica | Valor |
|-------------------------|---------|
| Parell màxim | 72 Nm |
| Parell d'arrancada | 72 Nm |
| Potència màxima | 1,03 kW |
| Règim de gir màxim | 365 rpm |

F.3. COMPARACIÓ DE LES PROVES

En aquest capítol es comparen les corbes característiques del motor elèctric ELMOTO PL0002 obtingudes amb el banc de proves APICOM FR 6. Per determinar si el nivell de càrrega de la bateria i la utilització de l'enllumenat de la motocicleta influeixen en les corbes característiques del motor.

Per determinar si l'estat de la càrrega de la bateria influeix a les corbes característiques del motor elèctric s'han comparat les corbes de parell, obtingudes a les proves anteriors, a diferents nivells de bateria, però amb la mateixa condició de utilització de l'enllumenat.

Com es pot observar a la Figura F10a i la Figura F10b, en les corbes de parell amb un nivell de bateria del 100% s'obtenen valors superiors de parell a un mateix règim de gir, respecte a les corbes amb un 50% de bateria.

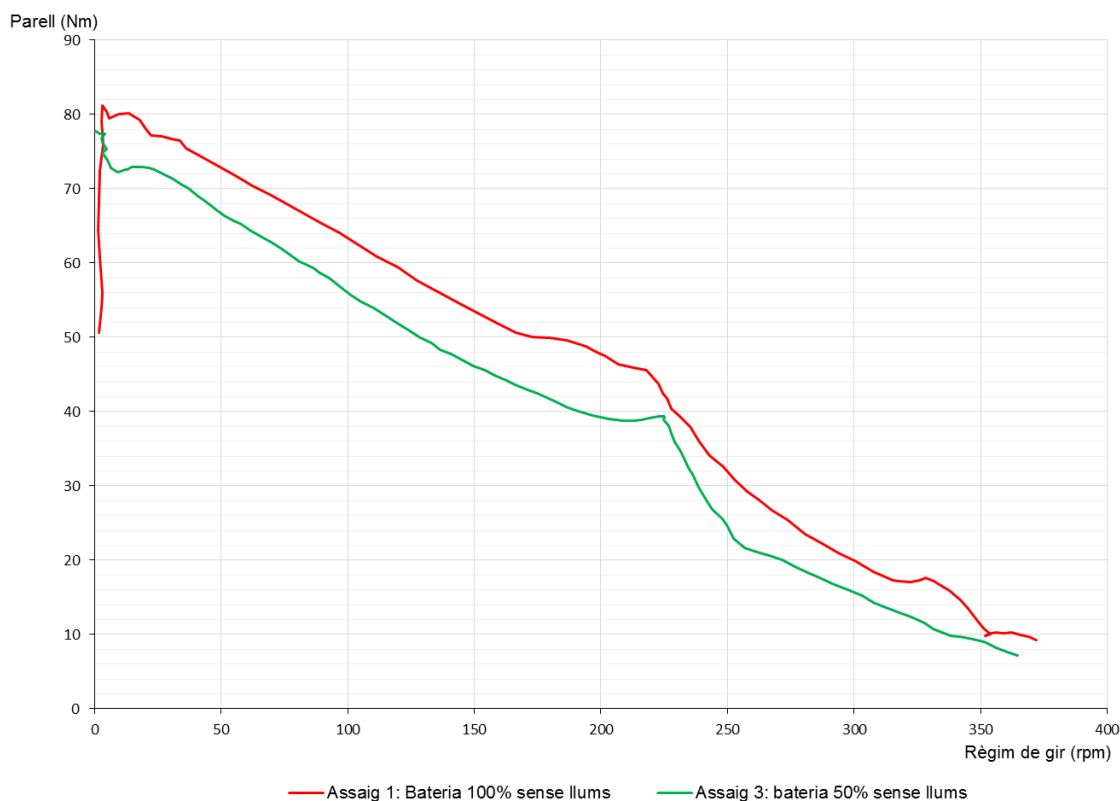


Figura F10a. Comparació de les corbes de parell del motor elèctric amb l'enllumenat de la motocicleta desactivat.

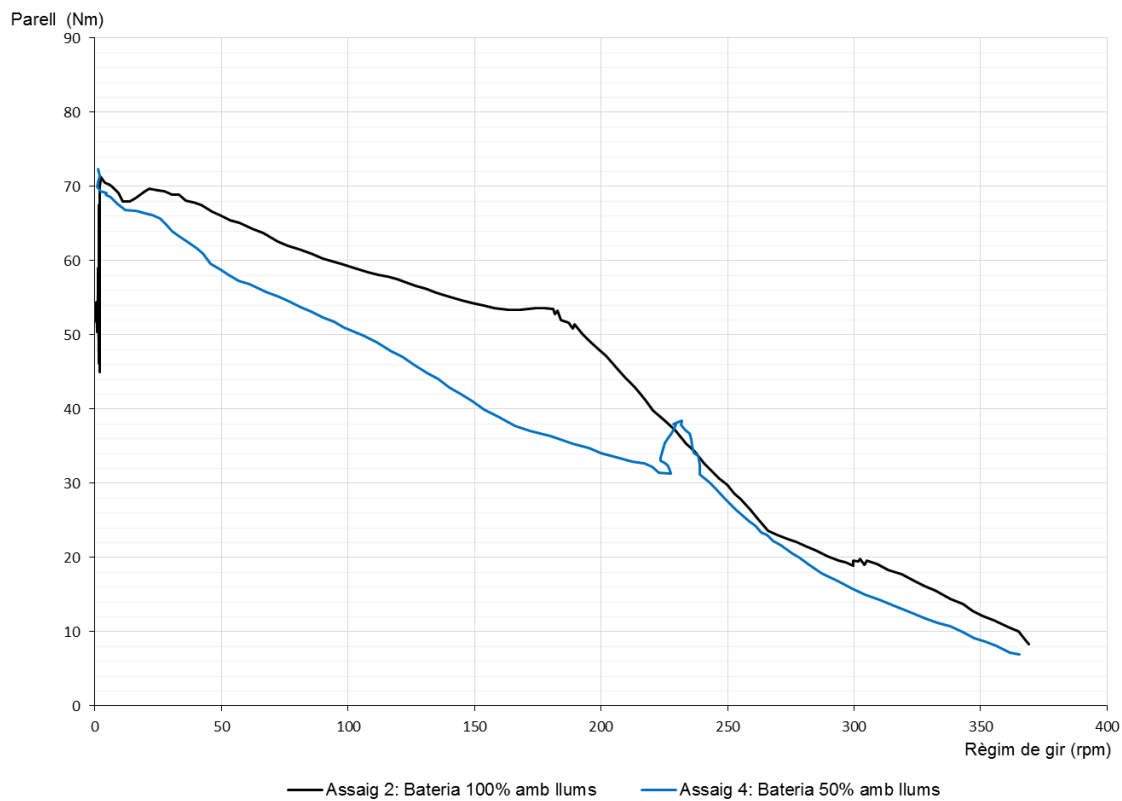


Figura F10b. Comparació de les corbes de parell del motor elèctric amb l'enllumenat de la motocicleta activat.

Per determinar si la utilització de l'enllumenat de la motocicleta influeix a les corbes característiques del motor elèctric s'han comparat les corbes de parell, obtingudes a les proves anteriors, amb la mateixa condició de la càrrega de la bateria, però amb diferent estat d'utilització de l'enllumenat de la motocicleta.

Com es pot observar a la Figura F11a i la Figura F11b, en les corbes de parell amb la mateixa condició de càrrega de la bateria s'obtenen valors superiors de parell a un mateix règim de gir, respecte a les corbes on no es troba connectat l'enllumenat.

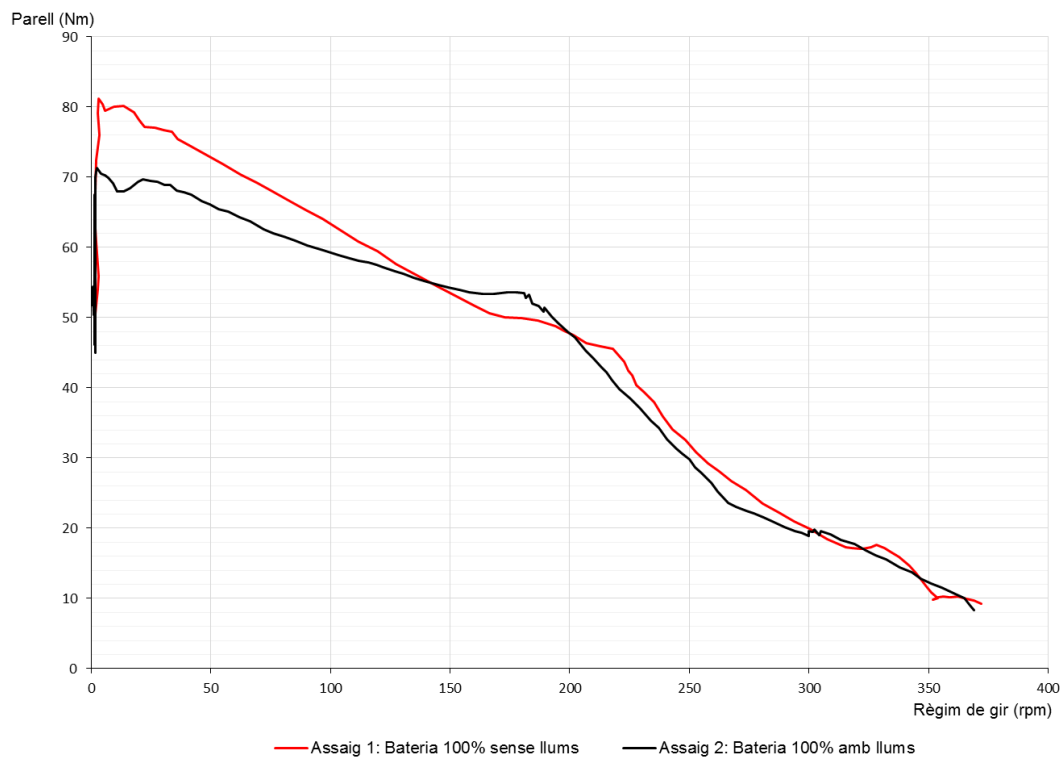


Figura F11a. Comparació de les corbes de parell del motor elèctric amb la mateixa càrrega de bateria (100% de càrrega).

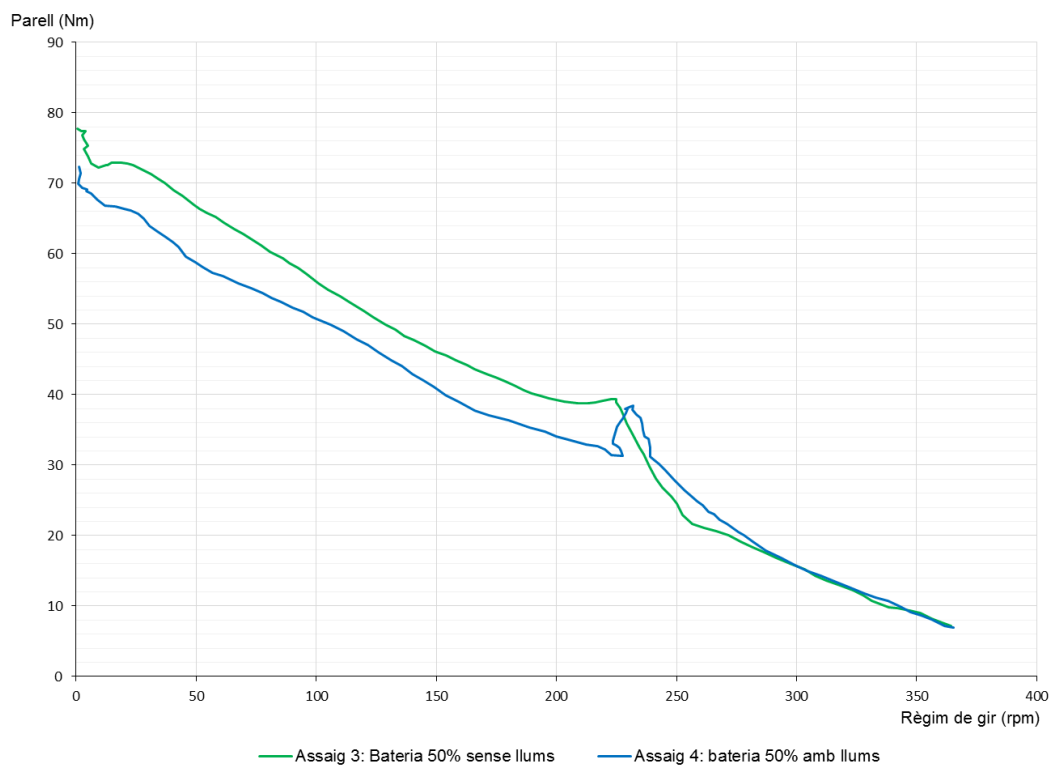


Figura F11b. Comparació de les corbes de parell del motor elèctric amb la mateixa càrrega de bateria (50% de càrrega).

A la Taula F7 es comparen les característiques mecàniques més importants del motor elèctric que s'han obtingut en cada prova. Com es pot veure amb un nivell de bateria superior s'obtenen valors superiors de parell. També, amb l'enllumenat de la motocicleta desconnectat s'obtenen valors de parell superiors.

Taula F7. Comparació de las característiques mecàniques més importants del motor elèctric en funció de la prova realitzada.

| Característica mecànica | Prova 1 | Prova 2 | Prova 3 | Prova 4 |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Parell màxim | 81 Nm | 71 Nm | 78 Nm | 72 Nm |
| Parell d'arrancada | 81 Nm | 71 Nm | 78 Nm | 72 Nm |
| Potència màxima | 1,16 kW | 1,13 kW | 1,10 kW | 1,03 kW |
| Règim de gir màxim | 372 rpm | 369 rpm | 364 rpm | 365 rpm |

A la Figura F12 es poden veure les corbes de parell del motor elèctric obtingudes en cada prova. Es pot observar que la corba de parell de la primera prova (100% de bateria i sense enllumenat) s'obtenen valors superiors de parell a un mateix règim de gir, respecte la resta de corbes.

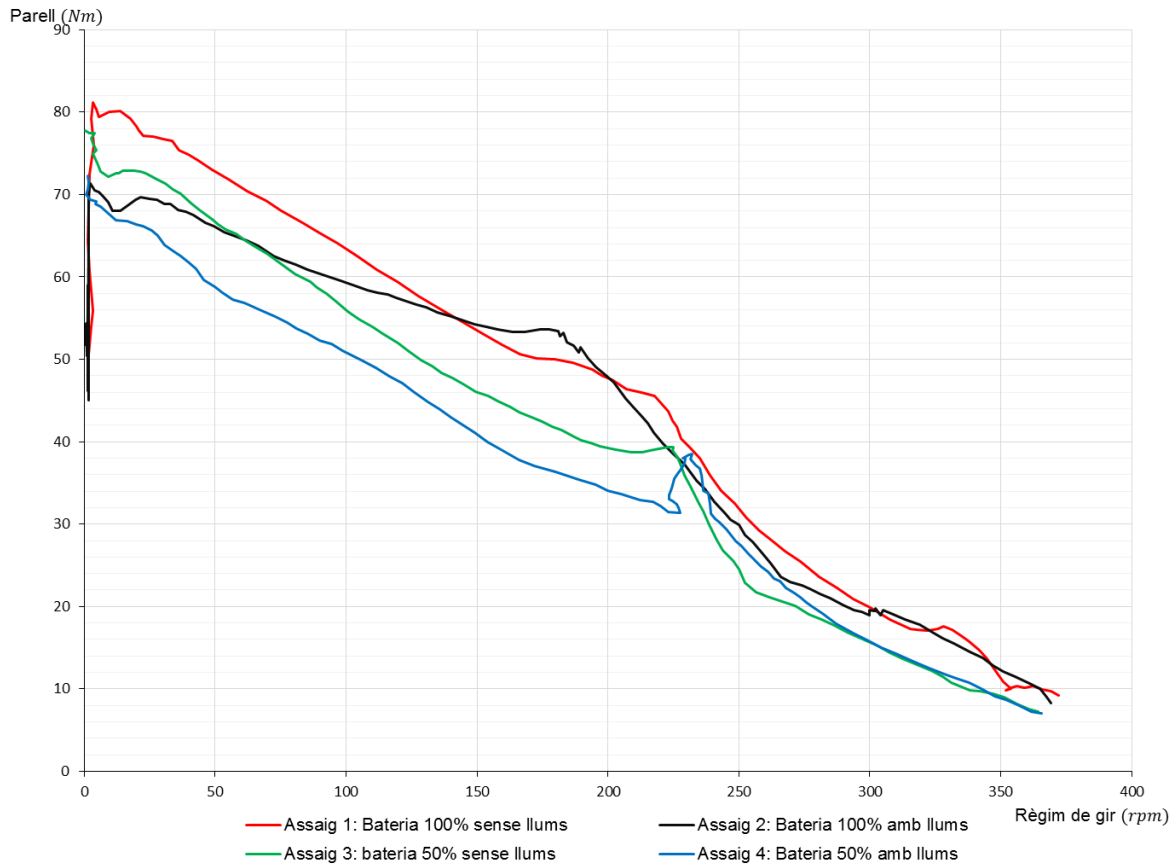


Figura F12. Comparació de les corbes de parell de les diferents proves.

F.4. CONCLUSIONS

Amb els resultats de cada prova del motor elèctric ELMOTO PL0002 realitzades amb el banc de proves APICOM FR 6 i amb les corresponents comparacions de les corbes de parell del motor elèctric. Es poden fer les següents afirmacions:

L'estat de la càrrega de la bateria i la utilització de l'enllumenat de la motocicleta influeixen lleugerament en el parell i la potència generats pel motor.

El màxim rendiment del motor elèctric s'aconsegueix amb la bateria carregada al 100% i amb el sistema d'enllumenat desconnectar.

Finalment es considera que les corbes característiques del motor elèctric són les corresponents a la primera prova, veure Figura F3 i Taula F3.