



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

ESEIAAT

Grau en Enginyeria i Tecnologies Industrials

Substitució d'un motor gasolina per un motor elèctric en una motocicleta antiga de combustió

MEMÒRIA

Autor: Marc Martí Batlle

Director: Daniel Arumí Delgado

Convocatòria: Gener 2021

Resum

En aquest projecte s'ha realitzat de manera pràctica la modificació en la forma de propulsió del ciclomotor Derbi model Variant Sport, substituint el motor de combustió per un d'elèctric. A més, ha estat necessari renovar o canviar altres components, com el sistema d'il·luminació o el de transmissió, degut a l'estat en el que es trobaven.

Així doncs, abans de realitzar la substitució s'ha realitzat una recerca dels diferents components a substituir a fi d'escollir els més adequats pel projecte.

Posteriorment, s'ha exposat la posició i la implementació dels components incorporats, acompanyant l'explicació amb imatges del muntatge, i s'han analitzat les millores ambientals que suposa aquesta substitució.

El projecte s'ha realitzat amb l'objectiu de donar una segona vida a un ciclomotor que es trobava en un estat inservible i contribuir en la frenada del canvi climàtic, aconseguint un vehicle amb una generació d'emissions molt inferior a l'anterior.

Abstract

In this project, the modification in the form of propulsion of a Derbi Variant Sport has been carried out in a practical way, replacing the combustion motor for an electric one. Also, it was necessary to change and renovate other components, such as the lights system or the transmission system.

Before starting with the replacement, a research of the different components to replace was made, with the purpose of choosing the ones who adjust better to the project.

After, there is the explanation of the position and implementation of the incorporated components, with some images of the assembly, there is also an analysis of the environmental upgrades that involves this replacement.

This project has been made with the goal to give a second live to a moped that was unusable and also to stop the climate change, achieving a vehicle with a lot fewer emissions generated.



Declaració d'honor

I declare that,

the work in this Degree Thesis is completely my own work,

no part of this Degree Thesis (*choose one*) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (*choose one*) related information I'm providing in this document (*select when it applies*).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Marc Martí Batlle

Student Name

MMB

Signature

13-01-2021

Date

Title of the Thesis : Substitució d'un motor gasolina per un motor elèctric en una motocicleta antiga de combustió

Índex

Resum	3
Abstract	3
Declaració d'honor	4
Índex de figures	7
Índex de taules	8
Nomenclatura	8
1. Introducció	9
1.1 Objecte	9
1.2 Abast.....	9
1.3 Requeriments	9
1.4 Background.....	9
2. Estat de l'art	11
2.1 Vehícles elèctrics	11
2.2 Marc legal.....	12
2.3 Derbi.....	14
3. Motor elèctric	17
3.1 Funcionament i parts d'un motor elèctric	17
3.1.1 Principis del funcionament d'un motor elèctric de CC.....	17
3.1.2 Parts d'un motor elèctric de CC	21
3.2 Tipus de motor elèctric de CC	24
3.2.1 Motors elèctrics amb escombretes.....	25
3.2.2 Motor BLDC	27
3.3 Selecció del motor elèctric.....	28
3.3.1 Comparació dels tipus de motor elèctric	28
3.3.2 Motor elèctric seleccionat.....	30
3.4 Implementació del motor elèctric.....	32
3.4.1 Posicionament del motor elèctric	32
3.4.2 Fixació del motor elèctric.....	32
4. Sistema elèctric	36
4.1 Alimentació dels sistemes elèctrics.....	36
4.1.1 Alimentació de la ECU i del motor elèctric.....	36
4.1.2 Alimentació del sistema d'il·luminació.....	37
4.1.3 Selecció de la bateria i del convertidor DC-DC.....	37
4.2 Unitat de control electrònic (ECU)	39
4.2.1 Estructura d'una ECU de control motor	39

4.2.2	Funcions d'una ECU de control motor	40
4.2.3	Unitat de control electrònic seleccionada	42
4.3	Sistema d'il·luminació	43
4.3.1	Circuit elèctric del sistema d'il·luminació.....	43
4.3.2	Resistències	45
4.3.3	Interruptors	46
4.4	Implementació sistema elèctric	47
4.4.1	Circuit elèctric general	47
4.4.2	Connexions cablejat	48
4.4.3	Posicionament i subjecció components dels sistemes elèctrics	49
5.	Sistema transmissió.....	52
5.1	Equacions de relació de transmissió de potència	52
5.2	Engranatges.....	54
5.2.1	Relacions d'engranatges	54
5.2.2	Pinyó.....	55
5.2.3	Corona	56
6.	Medi ambient	58
6.1	Emissions.....	58
6.2	Gestió de residus.....	59
7.	Resum de pressupost	61
8.	Planificació i programació següent.....	64
9.	Conclusions i agraïments	66
9.1	Conclusions	66
9.2	Agraïments	67
10.	Bibliografia	68

Índex de figures

Figura 2.1 Vista lateral de l'estat inicial	16
Figura 2.2 Vista del interior amb el carburador i l'alimentació	16
Figura 3.1 Camp magnètic d'un fil infinit	17
Figura 3.2 Espira amb circulació de corrent sota l'efecte d'un camp magnètic exterior	18
Figura 3.3 Forces magnètiques resultants (Font pròpia)	18
Figura 3.4 Cicle polaritat del material magnètic	20
Figura 3.5 Línies del camp magnètic en un solenoide	21
Figura 3.6 Escombretes de grafit i col·lector (Solà 2012).....	23
Figura 3.7 Esquema commutador electrònic	24
Figura 3.8 Efecte Hall	24
Figura 3.9 Tipus motors elèctrics	25
Figura 3.10 Configuracions dels motors d'excitació dependent	26
Figura 3.11 Gràfic Velocitat vs. Parell motor	27
Figura 3.12 Tipus de motor BLDC segons situació del rotor	27
Figura 3.13 Enllaços bobinats i gràfic de tensió en funció del període	28
Figura 3.14 Motor BLDC seleccionat	31
Figura 3.15 Comparació posició entre els motors	32
Figura 3.16 Mecanitzat del motor elèctric	34
Figura 3.17 Implementació motor elèctric	34
Figura 3.18 Tapes laterals ciclomotor	35
Figura 4.1 Esquema perifèrics del microprocessador	40
Figura 4.2 ECU del pack amb el motor	42
Figura 4.3 Circuit elèctric del sistema d'il·luminació	44
Figura 4.4 Selector de llums Leonelli	47
Figura 4.5 Circuit elèctric general	47
Figura 4.6 Components posicionats en el manillar	50
Figura 4.7 Espuma foam en forma de eggcrate	50
Figura 4.8 Distribució components del sistema elèctric	50
Figura 4.9 Implementació port de càrrega	51
Figura 7.1 Gràfic percentual cost execució	63

Índex de taules

Taula 2.1 Fitxa tècnica Derbi Variant Sport.....	15
Taula 3.1. VTP dels tipus de motors	30
Taula 3.2. Comparació BLDCM seleccionats	31
Taula 3.3 Taula característiques motor seleccionat.....	31
Taula 4.1. VTP configuració de la bateria.....	37
Taula 4.2 Característiques bateria adquirida	38
Taula 4.3 Característiques bateries 12 V.....	38
Taula 4.4 Característiques Convertidor DC-DC	39
Taula 4.5. Taula característiques ECU	42
Taula 4.6 Configuració interruptors	45
Taula 4.7. Característiques bombetes.....	46
Taula 4.8. Comparació cost manetes i interruptor del fre	46
Taula 4.9 Connexions ECU.....	48
Taula 4.10 Connexions cables en el sistema d'il·luminació.....	49
Taula 5.1. Dimensions pinyó	55
Taula 5.2. Característiques corones	56
Taula 5.3. VTP selecció corona	57
Taula 6.1 Emissions CO ₂ equivalent	58
Taula 6.2 Comparació freqüència sonora	59
Taula 7.1 Cost tècnic del projecte	61
Taula 7.2 Cost d'execució del projecte.....	62
Taula 8.1 Diagrama Gantt programació següent	65

Nomenclatura

CC	Corrent Continu
DC Motor	Direct Current Motor
BLDC	Brush-less Direct Current
VTP	Valor Tècnic Ponderat
ECU	Electronic Control Unit
CPU	Central Processing Unit
PMW	Pulse Width Modulation

1. Introducció

1.1 Objecte

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en dur a terme una substitució en la forma de propulsió d'una motocicleta històrica actualment no operativa. Aquest reemplaçament es realitza de manera pràctica substituint el motor de combustió per un motor elèctric, amb l'adició o substitució dels elements necessaris. Així doncs, en aquest projecte es busca donar una segona vida a motocicletes històriques que ja no són utilitzables. A més, es vol adaptar als nous temps i necessitats, intentant reduir al màxim la contaminació, que es tracta d'un problema mundial. Per tant, aquest treball fomenta la reutilització de motocicletes històriques inservibles, emprant un grau d'emissions més baix i, conseqüentment, contribuint en la millora del medi ambient.

1.2 Abast

- Selecció motor elèctric
- Sistema elèctric – excepte ECU
- Sistema de transmissió
- Implementació i protecció dels diferents sistemes i elements
- Estudi mediambiental
- Estudi de costos i pressupost

1.3 Requeriments

- No modificar la llargada, alçada o amplada de la motocicleta.
- El motor elèctric no pot superar els 4 kW de potència.
- La tensió de treball del motor i del sistema elèctric no pot superar els 48 V.
- El motor elèctric no pot superar el volum del motor de combustió.

1.4 Background

Actualment ens trobem un moment crític pel nostre planeta, degut al canvi climàtic i a la constant generació d'emissions de l'ésser humà, que incrementa amb el pas dels anys. Un dels principals factors d'aquestes emissions són els vehicles propulsats a partir de la combustió de gasoil i gasolina. És per aquest motiu que s'estan imposant restriccions de circulació per a vehicles antics i vehicles que generen gran quantitat d'emissions. Aquestes mesures es prenen en algunes ciutats com és el cas de l'Àrea metropolitana de Barcelona. Recentment en aquesta àrea s'han aplicat aquestes restriccions per tal de disminuir les emissions, i a la vegada convidar a la gent, entre d'altres mesures, a passar-se a l'ús de vehicles elèctrics, i fomentar l'ús de bicicletes, del transport públic o el fet de compartir vehicle, entre d'altres.

Un altre aspecte influent en la justificació d'aquest projecte és la segona vida que es pot donar a aquest tipus de motocicletes. Així doncs, és important donar una segona a vida o reutilitzar qualsevol element, ja que la conseqüència més important en aquesta reutilització és la reducció en la generació de residus en el nostre planeta.

Així mateix, en aquest projecte el que s'intenta és electrificar una motocicleta antiga, buscant la millor manera d'adaptar el motor i els altres elements a aquesta. Es treballarà amb una motocicleta Derbi, amb el model Variant Sport dels anys 80. Aquesta adaptació no pretén crear una motocicleta apte per a la circulació, però sí una idea de com es podrien electrificar motocicletes històriques aptes per circular en un futur, per tant, s'intentarà complir tots els aspectes possibles de seguretat que es requereixen.

Tot i així, un dels elements més crítics d'aquest projecte és el control del motor, ja que és complex de realitzar i, a més, comporta molt treball i dedicació, per tant, es deixaria com a una tasca futura. Com alternativa, s'agafarà un control de motor DC estàndard, per poder comprovar en la pràctica altres aspectes i realitzar tests.

Prèviament a la realització d'aquest projecte, he realitzat un altre projecte en grup, en el qual es va dissenyar un prototip de nevera per d'aquí 10 anys. Aquesta tasca es va dur a terme sota la tutela d'un professor adjunt de la ESEIAAT del Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció. A part, pel que fa al tema mecànic, he pogut experimentar amb diverses motocicletes de diferents estils, com de trial o Cross, i conjuntament amb el meu pare hem dut a terme la renovació d'un vespino dels anys setanta.

2. Estat de l'art

En l'estat de l'art es revisen els diferents aspectes actuals que influeixen al projecte. Es veu l'actualitat dels vehicles elèctrics, el marcs legals per a aquest tipus de projecte i finalment s'explica les característiques de la motocicleta seleccionada.

2.1 Vehicles elèctrics

Els vehicles elèctrics són aquells que utilitzen un motor elèctric per a la seva propulsió. Aquests vehicles en els darrers anys han realitzat un salt de gegant, ja que gairebé totes les companyies automobilístiques han incorporat com a mínim un model elèctric en la seva gamma. Fins i tot, es troben les marques com Tesla Motors o BYD Auto que únicament fabriquen vehicles elèctrics.

Aquest salt cap a l'ús del vehicle elèctric és conseqüència de la situació ambiental en la que es troba el món sencer. Actualment un gran percentatge de les emissions de CO₂ i altres gasos contaminants de l'atmosfera, venen derivades del transport, on predominen els vehicles de combustió. En canvi, l'ús de vehicles elèctrics aconsegueix disminuir el nivell d'emissions d'aquests gasos contaminants i allunyar els focus d'immissions de les ciutats, recollint-los en les centrals elèctriques (Gangoletts 2020a).

Els vehicles elèctrics permeten disminuir aquestes emissions pel tipus d'energia utilitzada i la eficiència d'aquesta. L'energia elèctrica es pot obtenir per diferents vies, però les més comunes en Espanya són les centrals nuclears o els combustibles fòssils, tot i que aquesta última es veu en declivi. Amb aquestes fonts en comparació amb el procés de combustió, s'obté una energia més eficient, amb un factor d'emissió inferior. La problemàtica en l'obtenció d'aquestes energies són els residus generats, sobretot en les centrals nuclears. Tot i així, en els darrers anys en Espanya també s'està treballant per l'ús de fonts d'energies renovables i fonts sense emissions. Per exemple, a partir de les centrals eòliques, hidroelèctriques o solars, que generen energia elèctrica amb els factors d'emissió iguals a zero; és a dir, no creen emissions de CO₂ ni cap altre gas perjudicial per l'atmosfera.

Centrant-se en els ciclomotors elèctrics, en l'àrea metropolitana de Barcelona s'ha incrementat l'ús d'aquests, degut a la conscienciació amb el canvi climàtic i a les restriccions imposades per a vehicles de grans emissions. Són dos factors que es troben relacionats entre ells, perquè aquestes restriccions venen derivades per la necessitat de reduir emissions i frenar el canvi climàtic (Ajuntament de Barcelona 2020b).

Aquests factors han provocat que companyies com Cooltra o Yego entre d'altres, tinguin un augment en el volum dels seus serveis en el darrer any, quan han entrat en vigor aquestes restriccions. Són companyies que posen a disposició dels ciutadans ciclomotors i motocicletes elèctriques. És un model de negoci que promou l'ús de mitjans de transport respectuosos amb el medi ambient, és a dir, mitjans de transport amb zero emissions durant el seu ús, millorant la qualitat de l'aire en zones reduïdes amb molt de trànsit, com és el cas de la grans ciutats.

Referent a l'electrificació de vehicles de combustió, actualment només existeixen un parell d'empreses que realitzin aquest tipus de conversió i totes dues estan especialitzades en l'electrificació d'automòbils (Martín 2019). El problema amb el que es troben és principalment econòmic, perquè el cost dels seus serveis és similar al cost de compra d'un cotxe de combustió nou i de gamma baixa. Així doncs, les dues empreses confirmen que els seus preus volten pels 15.000€ o 17.000€. Un altre problema que es pot observar per els comentaris en pàgines web i fòrums d'internet, és la poca confiança que es diposita en aquests negocis, sobretot per temes legals. Tanmateix, són negocis que compleixen la normativa i no realitzen cap acció fora del marc legal, per tant, aquesta desconfiança ve derivada pel desconeixement de les lleis i de la normativa actual (Elektrun cars 2016).

2.2 Marc legal

Centrant-se en el marc legal espanyol es torben diverses lleis per du a terme aquest tipus de modificacions amb la posterior homologació. Les diferents lleis que es segueixen tenen com a base el Reial Decret 2822/1998 per el que s'aprova el Reglament General de Vehicles. En aquest decret s'especifiquen les diferents normes generals que han de seguir els vehicles per obtenir la conformitat de circulació i les diferents especificacions tècniques per poder homologar el vehicle en qüestió (Govern d'Espanya 1998).

Seguint amb el mateix decret, en títol III i capítol I es troben les normes dels ciclomotors. Consta d'un article únic amb la normativa de homologació i característiques tècniques d'aquests, juntament amb el annexes a seguir per la correcte senyalització i il·luminació, "2. Los dispositivos de alumbrado y señalización óptica deberán cumplir lo dispuesto en los siguientes apartados y en la reglamentación que se recoge en los anexos I y X." (Pàgina 28)

En el Reial Decret 2822/1998 es troba la definició i el que s'entén com a ciclomotor:

Ciclomotor: Vehículo de dos o tres ruedas provisto de un motor de cilindrada no superior a 50 cm³, si es de combustión interna, y con una velocidad máxima por construcción no superior a 45 km/h. Vehículo de cuatro ruedas cuya masa en vacío sea inferior a 350 kg, no incluida la masa de las baterías en el caso de los vehículos eléctricos, cuya velocidad máxima por construcción no sea superior a 45 km/h y con un motor de cilindrada inferior o igual a 50 cm³ para los motores de combustión interna, o cuya potencia máxima neta sea inferior o igual a 4 kW para los demás tipos de motores. (Pàgina 55)

Per conèixer els procediments d'homologació i que s'entén com a homologació d'un vehicle i les seves peces, es recorre al Reial Decret 750/2010 per el que es regulen els procediments d'homologació de vehicles de motor i els seus remolcs, màquines autopropulsades o remolcades, vehicles agrícoles, així com de sistemes, parts i peces de esmentats vehicles (Govern d'Espanya 2010a).

Artículo 2. Definiciones.

1. Homologación de tipo: el procedimiento mediante el cual un Estado miembro del Espacio Económico Europeo (EEE) certifica que un tipo de vehículo, sistema, componente o unidad técnica independiente cumple las correspondientes disposiciones administrativas y requisitos técnicos pertinentes.

4. Homologación individual: procedimiento por el cual se certifica que un vehículo en particular, ya sea singular o no, cumple las disposiciones administrativas y requisitos técnicos del presente real decreto. (Página 3)

En l'annex I d'aquest Reial Decret es troben els requisits mínims per a l'acte d'assaig d'homologació. En el següent, l'annex II s'explica el procediment per classificar el vehicle correctament i es proporciona la fitxa de característiques a omplir per el taller que certifica la homologació. Com en el projecte es tracta un ciclomotor, s'accedirà al proporcionat en la segona part d'aquest mateix annex, exclusiu per a ciclomotors de dues rodes i motocicletes.

El Reial Decret 866/2010 per el que es regula la tramitació de les reformes de vehicles, ajuda a la tipificació de les reformes en vehicles, i proporciona el corresponent informe de conformitat i el certificat del taller, tots dos documents són necessaris per a la homologació de la modificació realitzada (Govern d'Espanya 2010).

A continuació s'esmenta la definició de reformes en vehicles i quin abast tenen, trobada en l'annex I d'aquest decret.

Las reformas de vehículos se refieren a las modificaciones introducidas en las funciones que se relacionan a continuación y que, en su caso, serán desarrolladas según convenga en el manual de reformas de vehículos. Se consideran reformas de vehículos las modificaciones relativas a las funciones siguientes:

- 1. Identificación.*
- 2. Unidad motriz.*
- 3. Transmisión.*
- 4. Ejes.*
- 5. Suspensión.*
- 6. Dirección.*
- 7. Frenos.*
- 8. Carrocería.*
- 9. Dispositivos de alumbrado y señalización.*
- 10. Uniones entre vehículos tractores y sus remolques o semirremolques.*
- 11. Modificaciones de los datos que aparecen en la tarjeta de ITV. (Página 9)*

En l'annex I d'aquest projecte es troben els documents necessaris per a la tramitació de reformes.

Anteriorment s'ha explicat que en el projecte es realitza la substitució en un ciclomotor considerat com a històric segons el Reial Decret 1247/1995 per el que s'aprova el Reglament de Vehicles Històrics (Govern d'Espanya 1995).

En l'article 1 es troben els requisits per considerar un vehicle com a històric.

a) Fue fabricado o matriculado por primera vez con una anterioridad de treinta años, como mínimo.

b) Su tipo específico ha dejado de producirse.

c) Está en su estado original y no ha sido sometido a ningún cambio fundamental en cuanto a sus características técnicas o componentes principales, como el motor, los frenos, la dirección, la suspensión o la carrocería. (Pàgina 2)

Com s'aprecia en l'article esmentat del Reial Decret, al realitzar un canvi fonamental en un dels seus components principals i en les característiques tècniques, el ciclomotor deixaria de ser considerat com a ciclomotor històric.

2.3 Derbi

Derbi és una marca especialitzada en la fabricació de motocicletes i ciclomotors de diferents cilindrades i diferents modalitats. En l'any 2001 va entrar en fallida i va ser adquirida per part del grup Piaggio. La mateixa marca es defineix de la següent forma.

Derbi es una aventura que nació en España en 1922 y continúa en Italia, desde el año 2001, con el Grupo Piaggio. Un viaje de casi 100 años, hecho de motos y pilotos, verdadera pasión por las prestaciones extremas, excelencia y adrenalina.

La marca Derbi, con su gran experiencia en las carreras deportivas y en los 21 campeonatos del mundo, lidera el sector de las motos de 50cc, el primer paso en el mundo del motociclismo y la competición deportiva para todos los jóvenes amantes de este deporte.

Las motos Derbi son el resultado de un modelo de construcción que se expresa a través de unas elecciones estilísticas y de diseño únicas y distintivas para ofrecer espíritu de aventura, búsqueda de prestaciones y ganas de diversión, tanto en carretera como offroad. (Derbi 2020)

La marca històricament compte amb més de 50 models de motocicletes i ciclomotors, i al llarg dels anys han creat diferents variants per a cada model. En aquest projecte es treballa amb el model Variant Sport, fabricada l'any 1985.

A continuació s'especifiquen les característiques d'aquesta.

Dades comercials	Marca	Derbi
	Tipo de carnet	Llicència ciclomotor
	Any	1985
	Places	2
	Fabricant	Derbi
Motor i transmissió	Cilindrada	49 cc
	Cicles / Cilindres	2T / 1
	Alimentació	Carburador DELLORTO SHA-12-12
	Refrigeració	Aire forçat
	Potència màxima	2 CV
	Combustible	Gasolina 95 + 2% oli sintètic Gasolina 95 + 3% oli mineral
	Normativa contaminació	Cap
	Engegat	Manual a pedals
Suspensió davantera	Transmissió	Engranatges + cadena
	Tipus de suspensió	Forquilla telescòpica
	Diàmetre barres	32,8 mm
Suspensió posterior	Recorregut	25 mm
	Tipus de suspensió	2 amortidors de molla
Sistema frenada	Recorregut	60 mm
	Sistema	Tambor
Rodes	Diàmetre	115 mm
	Diàmetre de la llanda	425 mm
	Gola de la llanda	40 mm
	Material de la llanda	Aliatge lleuger
	Marca de pneumàtics	Pirelli
	Tipo de pneumàtics	Trial 36J
Dimensionat	Mides dels pneumàtics	2 ¾- 16
	Altura manillar	990 mm
	Amplada	315 mm
	Distància entre eixos rodes	1165 mm
	Altura seient	775 mm
	Capacitat del dipòsit	5 l

Taula 2.1 Fitxa tècnica Derbi Variant Sport

Un cop vistes les diferents característiques que té aquets model de la Derbi, en l'annex II es troba el circuit del sistema elèctric original, format per el sistema d'il·luminació i el sistema d'arrencada (Tnairav 2019).

En les següents figures es pot observar algunes imatges del estat inicial en el que es trobava el ciclomotor en el que es realitza la substitució, i en l'annex III es troben la resta de imatges on s'observa aquesta inicialment.



Figura 2.1 Vista lateral de l'estat inicial ¹



Figura 2.2 Vista del interior amb el carburador i l'alimentació ²

Com s'observa en les figures, l'exterior de la motocicleta format per les proteccions i les parts estructurals del ciclomotor, com el xassís o la forquilla, es troben en bon estat. Es troben marques d'òxid i algunes esquerdes en les proteccions, però no influeixen en el seu funcionament. En canvi, com s'observa en la figura 2.2 el sistema de propulsió es troba més afectat, molts dels components són inservibles o funcionen de manera incorrecte, com per exemple la corretja per iniciar la combustió o el tub d'alimentació al motor, que es trobaven partits per la meitat, degut al desgast i al pas del temps.

Tot i així es van substituir els diferents components afectats i es va netejar amb profunditat el carburador per intentar arrencar el ciclomotor, finalment es va aconseguir i es va procedir a prendre les dades necessàries com la intensitat sonora. Al arrencar i durant el temps que es va provar, pel tub d'escapament els gasos que expulsava tenien un color molt fosc, indicant que en el procés de combustió i filtració en el tub es produïa quelcom de forma incorrecte.

¹ Font: Pròpia

² Font: Pròpia

3. Motor elèctric

En aquest apartat es parla sobre els principis bàsics en els que es basa el funcionament d'un motor elèctric de CC, s'observen les diferents modalitats de motors elèctrics que existeixen, juntament amb les seves característiques per poder determinar quin motor s'ajusta a les necessitats del projecte.

3.1 Funcionament i parts d'un motor elèctric

La funció d'un motor elèctric és la transformació d'energia elèctrica a energia mecànica, i aquesta transformació s'aconsegueix mitjançant l'electromagnetisme. En algun cas podem trobar que el motor també realitza la mateixa funció però en sentit contrari, és a dir, s'obté energia elèctrica a partir de la rotació d'un eix. En aquests casos es diu que el motor està actuant com a generador, i un exemple el trobem en els cotxes híbrids.

3.1.1 Principis del funcionament d'un motor elèctric de CC

Els principis del funcionament d'un motor elèctric és el recull de lleis, teoremes i equacions físiques i matemàtiques que fan possible el funcionament d'aquest.

Es parteix de la llei d'Ampère, que permet calcular el camp magnètic que es crea al voltant d'un fil conductor quan hi circula un corrent elèctric. És una llei sempre vàlida però pocs cops resulta beneficiós utilitzar-la, aleshores per trobar una solució del camp magnètic és més fàcil i simple utilitzar la llei de Biot i Savart.

Es tracta d'una llei fonamental, la qual parteix des d'un element diferencial del corrent, $I \cdot d\vec{l}$ (Pons 2018).

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I \cdot d\vec{l} \times d\hat{r}}{4\pi r^2} \quad [T]$$

Equació 1. Llei de Biot i Savart

La figura 3.1 representa el camp magnètic a una distància r del fil conductor, per aquest fil infinit hi circula un corrent elèctric estacionari. Perquè el corrent sigui estacionari, el flux de càrregues elèctriques que circula pel conductor ha de ser constant.

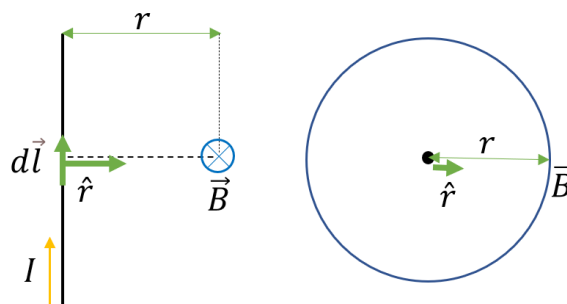


Figura 3.1 Camp magnètic d'un fil infinit³

³ Font: Pròpia

La direcció i sentit del camp magnètic creat, es determina a partir del producte vectorial entre el vector del diferencial de longitud i el vector ortonormal del radi i com es pot veure en la figura 3.1, es tracta d'un camp radial.

Un cop vist com es genera una camp elèctric al voltant d'un fil conductor, es procedeix a l'explicació de com es veu afectat aquest fil en l'interior d'un camp magnètic extern. Ara, es dona forma d'espira al fil conductor, que es la forma usual en els motors elèctrics.

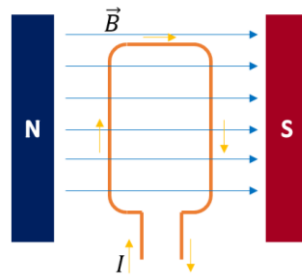


Figura 3.2 Espira amb circulació de corrent sota l'efecte d'un camp magnètic exterior ⁴

En aquest situació amb el camp magnètic exterior aplicat, les diferents càrregues que circulen pel conductor es veuen afectades per la força de Lorentz. Aleshores la suma de les diferents forces a les que es troben sotmeses les càrregues elèctriques, donen lloc una força macroscòpica que es defineix a partir de la mateixa força de Lorentz i la Llei de Biot i Savart (Pons 2018).

$$\vec{F}_m = I \int d\vec{l} \wedge \vec{B} \quad [N/m]$$

Equació 2. Força de Lorentz per a un conductor

La direcció de la força resulta perpendicular als vectors de la corrent i del camp exterior, el sentit es determina seguint la llei de la mà dreta. En el tros de fil conductor que trobem a la part superior, les càrregues elèctriques no es troben sota la influència d'aquesta força, donat que es tracta d'un conductor paral·lel a les línies del camp magnètic exterior, aleshores el producte vectorial de dos vectors paral·lels resulta nul.

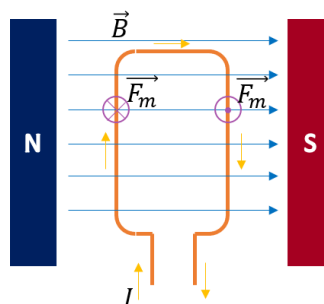


Figura 3.3 Forces magnètiques resultants (Font pròpia)⁵

⁴ Font: Pròpia

⁵ Font: Pròpia

Com que les forces magnètiques sobre cada part del conductor tenen direcció vertical amb sentits oposats i igual mòdul, s'inicia un moviment rotatori. Un cop el pla de l'espira es troba perpendicular al camp magnètic s'atura la rotació, perquè les forces s'anul·len entre elles. Per evitar-ho és necessari un canvi en el sentit de les càrregues elèctriques, és a dir, un canvi en el sentit de la intensitat dins del circuit, per tal d'invertir el sentit de les forces i que l'espira segueixi rotant.

En aquest instant entra en joc el commutador, és un element que permet realitzar el canvi de sentit en la intensitat del circuit. D'aquesta manera s'aconsegueix el que es demana en un motor, continuïtat en el moviment rotatori. Aleshores aquest canvi es realitza de manera repetitiva cada cop que es troba en la mateixa situació.

Un dels efectes que afavoreix el moviment rotatori és la magnetització o imantació, és un efecte on a grans trets es produeix la creació d'un imant en un medi material. Quan un material sota l'efecte d'una camp magnètic experimenta la alineació dels moments dipolars magnètics, que es descriuen per la seva imantació \vec{M} .

Aquesta imantació permet calcular el camp magnètic que s'indueix en el seu interior.

$$\vec{B}_{\text{induit}} = \mu_0 \cdot \vec{M} \quad [T]$$

Equació 3. Camp magnètic induït en l'interior d'un medi material

$$\vec{M} = \frac{\sum_i \vec{m}_i}{V_{\text{total}}} \quad [A/m] \quad \text{on} \quad \vec{m}_i = I \cdot \vec{s} \quad [A \cdot m^2]$$

Equació 4. Densitat volumètrica de moment dipolar magnètic

A continuació es pot observar l'expressió del camp total que s'obté sumant el camp exterior que origina aquesta alineació.

$$\vec{B}_{\text{total}} = \vec{B}_{\text{aplicat}} + \vec{B}_{\text{induit}} \quad [T] \quad \text{on} \quad \begin{aligned} \vec{B}_{\text{aplicat}} &= \mu_0 \cdot \vec{H} \quad [T] \\ \vec{B}_{\text{induit}} &= \mu_0 \cdot \vec{M} \quad [T] \end{aligned}$$

$$\vec{M} = \chi_m \cdot \vec{H} \quad [A/m] \quad \text{on} \quad \chi_m = \mu_r - 1$$

Aplicant les relacions anteriors mostrades,

$$\begin{aligned} \vec{B}_{\text{total}} &= \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{M} = \mu_0 \cdot (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 \cdot (\vec{H} + \chi_m \cdot \vec{H}) = \mu_0 \cdot \vec{H} \cdot (1 + \chi_m) \\ &= \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} = \mu_r \cdot \vec{B}_{\text{aplicat}} \end{aligned}$$

Finalment arribem a l'expressió més simplificada,

$$\vec{B}_{\text{total}} = \mu_r \cdot \vec{B}_{\text{aplicat}} \quad [T]$$

Equació 5. Camp magnètic total en un medi material

En el cas dels motors elèctrics el medi material es col·loca enmig de l'espira, ja que és el camp magnètic del fil conductor el que provoca l'alineació dels dipols magnètics en el material. El resultat que es busca amb l'alineació dels dipols és

aconseguir que el medi material actuï com un imant. La creació d'aquest imant, afavoreix el moviment rotatori degut a la força de atracció i repulsió magnètica amb el camp exterior.

Al aplicar el canvi de sentit de la intensitat mitjançant el commutador, també s'inverteix la polaritat en els dipòls i es provoca una situació de repulsió total, fins que torna al equilibri. A continuació en la figura 3.4 es poden observar aquests canvis de polaritat.

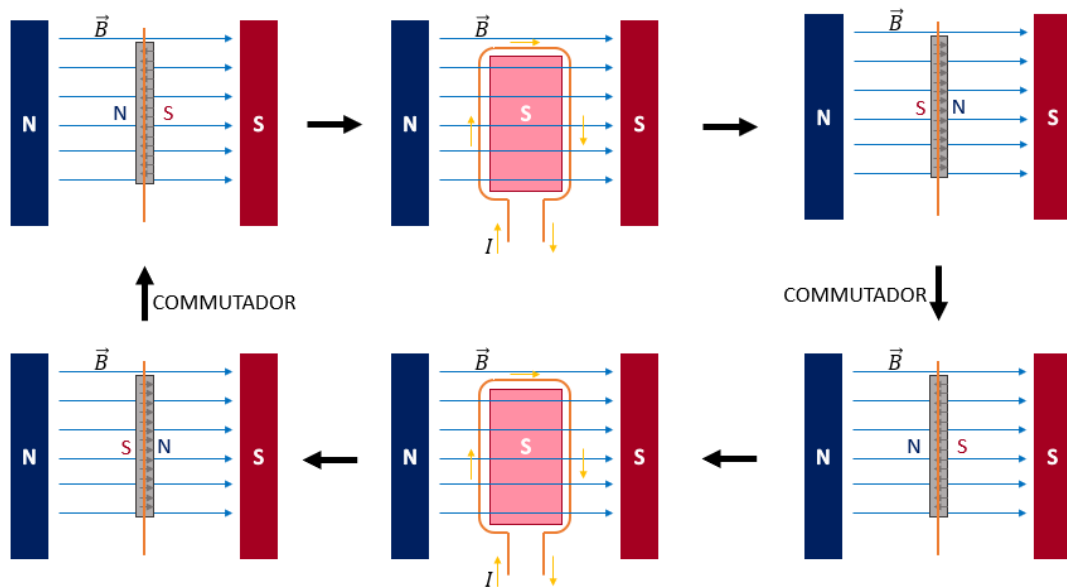


Figura 3.4 Cicle polaritat del material magnètic ⁶

Per tal d'augmentar el mòdul del camp magnètic total, es retorna a l'equació 5, indica que el camp total és el producte entre la permeabilitat magnètica relativa i el camp aplicat per l'espira. La permeabilitat magnètica relativa va associada al tipus de medi material, per tant, es busca un medi material amb alta permeabilitat magnètica. S'utilitza un material ferromagnètic, perquè el valor de la permeabilitat és superior a 1. D'aquesta manera el mòdul del camp total augmenta i s'aconsegueixen unes forces d'atracció magnètica superiors.

Un altre element que ajuda a la rotació de l'eix és l'increment del número d'espires, és a dir, en comptes de tenir una única espira, allargar el fil conductor i donar voltes sobre si mateix, fins arribar a obtenir un solenoide de n espires. El fet d'augmentar el número d'espires té dos efectes positius en el comportament del motor elèctric.

El primer efecte positiu que aporta és l'increment del número de càrregues elèctriques, que comporta més forces de Lorentz. Tots els valors s'incrementen un total de n vegades, per tant, quantes més espires contingui el solenoide major serà el número de forces electromagnètiques que provoquen el moviment rotatori.

⁶ Font: Pròpia

El segon efecte positiu d'introduir un solenoide, és la repercussió que té en el material ferromagnètic que es troba dins del solenoide. S'augmenta el camp aplicat, perquè un solenoide és un confinador de camp magnètic, és a dir, crea un camp magnètic amb elevat mòdul al interior, però molt feble i quasi nul al exterior. Aquest increment en el mòdul del camp magnètic s'explica a partir de la següent equació (Pons 2018).

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I_{enc}}{l} \quad \text{on} \quad I_{enc} = N \cdot l \cdot I$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot N \cdot I = \mu_0 \cdot \frac{n}{a} \cdot I$$

Equació 6. Camp magnètic en un solenoide de n espires i longitud a

Com s'observa en l'expressió final del camp magnètic en l'interior del solenoide, aquest depèn proporcionalment del nombre d'espires i inversament proporcional de la longitud del solenoide. Aleshores el que es necessita és aconseguir introduir el màxim nombre d'espires en la menor llargada possible. Com s'observa en la figura 3.5, en l'interior del solenoide les línies de camp s'ajunten fent que aquest sigui més elevat en el interior que no pas en el exterior.

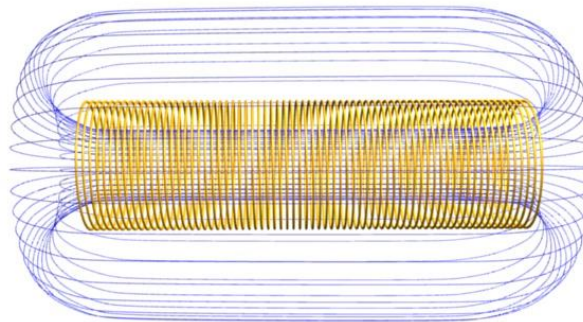


Figura 3.5 Línies del camp magnètic en un solenoide ⁷

Finalment, s'ha de ser conscient que en els motors més avançats tecnològicament, es troben variacions respecte als més tradicionals, però tots els motors elèctrics de corrent continua es basen en aquests principis de l'electromagnetisme.

3.1.2 Parts d'un motor elèctric de CC

El motor elèctric consta de dos elements principals que són l'estator i el rotor. A part d'aquests dos elements, també hi trobem un altre element fonamental com és el commutador.

3.1.2.1 Estator

L'estator és la part del motor que habitualment es troba fixe, no realitza el moviment rotatori al trobar-se acoblada a la part exterior del motor. Tanmateix, en

⁷ Font: (iLES 2013)

els darrers anys s'han creat nous models, en que s'inverteixen les posicions amb el rotor, i l'estator es troba al interior fixat en l'eix.

Depenent de l'aplicació que se li vol donar al motor, aquest pot estar conformat per un conjunts d'imants o per electroimants. La principal diferència entre les dues opcions és el camp magnètic que poden generar i el manteniment que se'ls ha de donar.

Per una banda tenim el conjunt d'imants, que generen un camp perfectament uniforme, amb una llarga vida útil i sense la necessitat de manteniment. Aquesta no necessitat de manteniment és còmode per aplicacions on no es necessita una gran força magnètica, i el motor no és a l'abast o no interessa que sigui sotmès a manteniments periòdics.

Per l'altre banda, els electroimants ofereixen un camp magnètic amb molta més força d'atracció, degut a que el mòdul del camp magnètic que s'aconsegueix és molt més elevat. L'inconvenient que té, és la necessitat de manteniments periòdics, ja que estan conformats a partir de solenoides. En aquest cas al tenir bobines s'han de mantenir intactes, perquè qualsevol dany en el bobinat, implica pèrdua d'energia o inclús el tall del circuit (Motores nichese 2019).

3.1.2.2 Rotor

El rotor és l'element que realitza el moviment rotatori. Convencionalment el rotor està format pel conjunt de solenoides i el nucli ferromagnètic. Tot i així, en motors més moderns com són els BLDC la composició del rotor i l'estator pot estar alternada, i els imants passen a ser els que realitzen el moviment rotatori, sempre i quan el estator estigui format per electroimants.

Centrant-nos amb el nucli de ferro, aquest material ferromagnètic acostuma a estar elaborat a partir d'aliatges fèrrics com l'acer al silici, perquè són materials que tenen bones propietats per a aquestes aplicacions. La primera és la alta permeabilitat magnètica de la que estan dotats, i la segona és la capacitat de dissipar una menor quantitat d'energia en cada cicle, fent que les pèrdues es redueixin i la força del camp segueixi gairebé igual.

En el nucli de ferro es produeixen unes corrents elèctriques, que es donen quan un conductor és travessat per un flux magnètic variable i s'origina un corrent elèctric que s'oposa a la variació de flux, seguint la Llei de Lentz. Aquestes corrents són les anomenades corrents de Foucault o corrents paràsites. Són perjudicials per el comportament del motor elèctric ja que generen pèrdues per efecte Joule, transformant la energia cinètica en calor. Per reduir al mínim aquestes pèrdues, s'utilitza un debanat que consisteix en laminar el nucli de ferro i recobrir en aïllant cada lamina, creant així diferents circuits magnètics amb una secció molt més reduïda, i per tant el flux magnètic rebut per cada una de les làmines és inferior, fent que es redueixin aquestes corrents paràsites (Pons 2018).

3.1.2.3 Commutador

La funció principal del commutador és proporcionar el corrent elèctric a les bobines, i realitzar el canvi de sentit d'aquest, fent que el moviment rotatori sigui sense interrupcions i el més continu possible.

Es troben dos tipus principal de commutadors, depenent del tipus de motor amb el que es treballa. El motor més avançat tecnològicament, el BLDC, utilitza un sistema diferent que els motors elèctrics tradicionals, ja que els canvis en el sentit de la intensitat els realitza de forma electrònica, mitjançant una unitat de control electrònica. En canvi, els més tradicionals utilitzen un sistema mecànic per contacte, a partir de les escombretes de grafit.

En el commutador dels motors tradicionals, trobem el col·lector que està conformat per un cilindre el qual té incrustades longitudinalment diferents delgues de coure, que fan de connector entre les escombretes i els bobinats.

El col·lector està soldat amb l'eix, fent que giri al mateix temps i mateixa velocitat que el rotor. Al girar idènticament s'aconsegueix que el canvi de sentit en el circuit es doni en l'instant exacte i necessari, per optimitzar al màxim tota la corrent que es proporciona.

L'altre element que el conforma, són les escombretes de grafit, que transmeten el corrent al col·lector. Aquestes tenen una posició fixe, deixant que el col·lector mitjançant el moviment rotatori sigui el que realitzi el canvi d'alimentació de cada bobina.

A continuació es poden veure les escombretes amb el bloc de grafit i la molla interior, en contacte amb el col·lector.

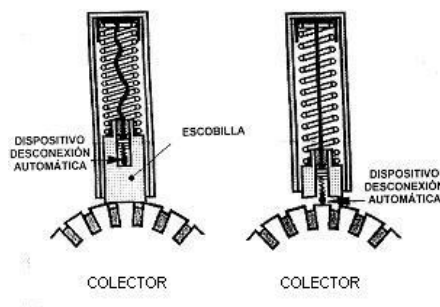


Figura 3.6 Escombretes de grafit i col·lector ⁸(Solà 2012)

En la figura 3.6 s'observa la comparativa entre una escombreta en bon estat i una altra que ja ha arribat al final de la seva vida útil i necessita ser reemplaçada. També s'aprecia un dispositiu de desconnexió que provoca un tall en el circuit, per indicar a l'usuari que és necessari un canvi del bloc de grafit.

⁸ Font: (Solà 2012)

Un cop vist els elements i funcionament dels commutadors tradicionals, es procedeix a explicar l'altre tipus de commutador, el commutador electrònic.

Els commutadors electrònics utilitzen una ECU per determinar el canvi de polaritat, ho fan a partir de la informació que reben del sensor instal·lat dins el motor. Aquest sensor envia la informació que capta cap al microprocessador, on es determina quan és necessari invertir el sentit. En la figura 3.7, s'aprecia un esquema del circuit que se segueix per determinar i realitzar els canvis de polaritat.

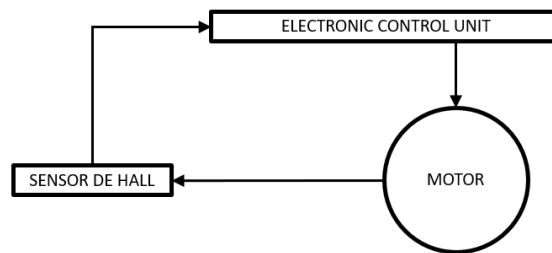


Figura 3.7 Esquema commutador electrònic⁹

El sensor que s'utilitza, es basa en l'efecte Hall, que es coneix com:

“ L'aparició d'un camp elèctric per separació de càrregues, en l'interior d'un conductor pel que circula un corrent en presència d'un camp magnètic amb component perpendicular al moviment de les càrregues. ” (Pons 2018).

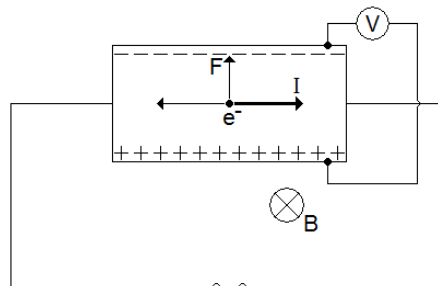


Figura 3.8 Efecte Hall¹⁰

En el sensor, el camp magnètic exterior és el que provoca la separació de càrregues, a partir d'aquest els electrons i protons s'agrupen en un costat o en l'altre, provocant que el valor de la tensió sempre sigui el mateix però amb signe variant (Pons 2018). La variació del signe en la tensió és la informació que rep la ECU per conèixer el canvi en el camp magnètic.

3.2 Tipus de motor elèctric de CC

En aquest apartat es veuen els principals tipus de motor elèctric de CC que existeixen, les diferències en quant a la configuració o funcionament i les característiques que tenen.

⁹ Font: Pròpia

¹⁰ Font: (Warwick department of physics 2020)

Els tipus de motors elèctrics de corrent continu es poden dividir en dos grups segons el tipus de commutació. Per una banda tenim els BLDC i per l'altre banda tenim els motors elèctrics amb escombretes. A continuació trobem una classificació de les diferents agrupacions de tipus de motors elèctrics que es troba.

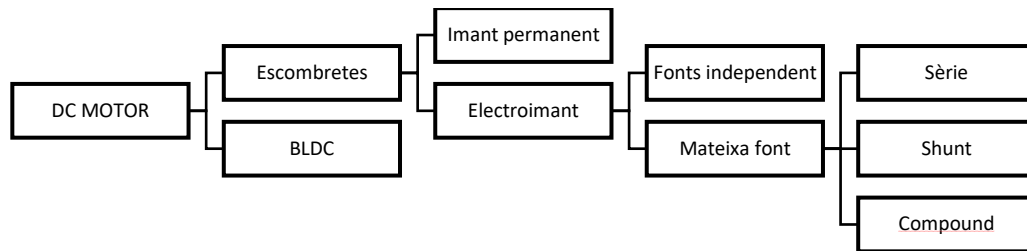


Figura 3.9 Tipus motors elèctrics ¹¹

3.2.1 Motors elèctrics amb escombretes

Centrant-se en els motors amb escombretes, segons la composició del estator es troben dos grups, que són els formats per una parella o conjunt d'imants i els formats per un electroimant. Dins del subgrup dels electroimants, com el rotor també està format per electroimants, es troben dos possibilitats d'excitació entre ells, per fonts d'alimentació independents o una única mateixa font.

Mitjançant l'ús d'un imant permanent s'aconsegueix un control precís del motor, però al no tenir la possibilitat de variar el camp exterior, fa que el parell motor sigui menor. Així doncs, aquest tipus de motor és utilitzat sobretot en robòtica, servosistemes i freqüentment per a medis de transport com patinets elèctrics, on la potència no sol ser elevada.

En els motors d'excitació independent, un dels grans avantatges que es troba és la excel·lent capacitat per regular la velocitat tot i produir-se grans variacions en la càrrega. Tot i així la alimentació dels elements de forma independent comporta la necessitat de dues fonts d'alimentació i resulta poc útil. Aquests tipus de motor són utilitzats en situacions on la càrrega varia constantment i és necessari mantenir una velocitat constant, com per exemple, en les cintes transportadores (Motores nichese 2019).

A continuació es pot veure les diferents configuracions en les que trobem el rotor i l'estator segons com es troben connectats dins del circuit amb una única font d'alimentació.

¹¹ Font: Pròpia

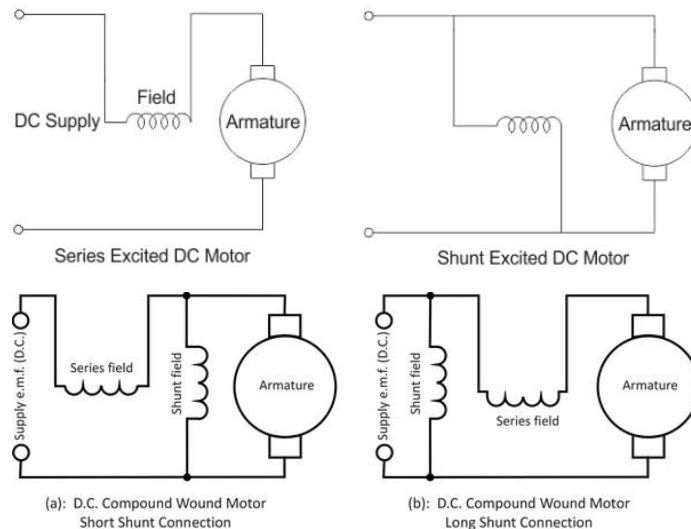


Figura 3.10 Configuracions dels motors d'excitació dependent ¹²

En els motors configurats en sèrie, resulta difícil el control de la velocitat pel fet de tenir la mateixa intensitat en els dos elements, ja que sense càrrega la velocitat es dispara mentre que el parell motor disminueix. Una bona qualitat que ofereix aquest tipus de configuració és el parell d'arrencada, és elevat respecte les altres configuracions. Tot i així, pot ser perillós utilitzar-ho en buit ja que com s'ha dit, la velocitat es dispara. Per aquest motiu, és útil en màquines pesades i les que treballen sota grans forces de pes, com els muntacàrregues o grues .

A diferència del cas anterior, els motors amb configuració shunt o el que equival a paral·lel, proporcionen un millor control en la regulació de la velocitat, ja que la intensitat per cada una de les branques és diferent. En canvi el parell en aquest cas és menor, però més constant. Les aplicacions on es pot trobar aquesta configuració acostumen a ser en màquines industrials com per exemple serres, torns, etc.

Per últim es troba la configuració compound, una variant que uneix les dues anteriors. El estator està dividit, on una part es troba en sèrie i l'altre en paral·lel respecte el rotor. Aquesta configuració permet obtenir un major parell d'arrencada i mantenir la velocitat en certa mesura, quan les variacions de càrrega no són excessives. Aquest tipus de configuració també es pot trobar en màquines industrials, però per a aplicacions que requereixen un parell major al arrencar (Collins 2018).

¹² Font: (Collins 2018)

En el següent gràfic s'observa la diferència entre les configuracions esmentades i permet entendre amb més claredat el comportament descrit.

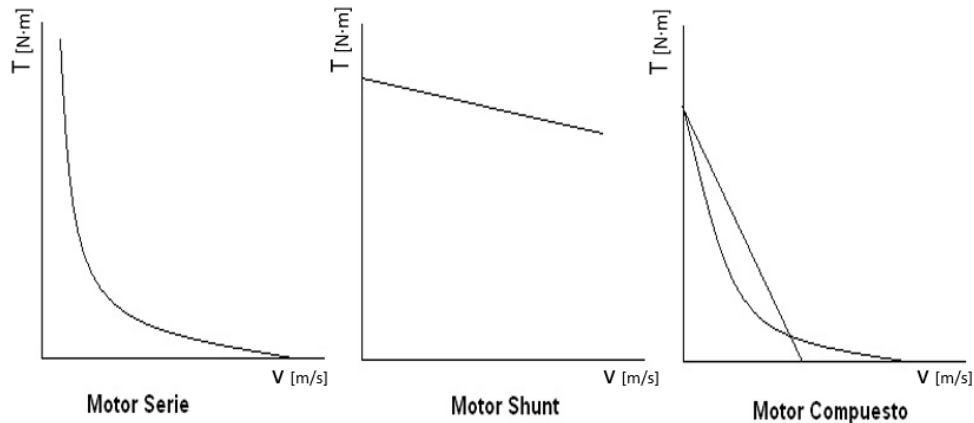


Figura 3.11 Gràfic Velocitat vs. Parell motor ¹³

3.2.2 Motor BLDC

En tipus de motors, cal destacar la diferència que hi ha en la composició del estator i el rotor. Ara els imants que generen el camp exterior, tenen permesa la rotació i en canvi els electroimants es troben restringits de qualsevol moviment. Aquest canvi, és degut a que el sensor de hall es troba connectat amb els bobinats, i per tant, per evitar enrotllaments es prohibeix qualsevol moviment. La posició dels imants en el motor varia segons l'aplicació que necessitem, es poden trobar rotors interns o externs.

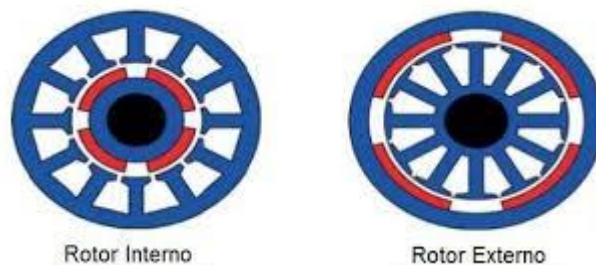


Figura 3.12 Tipus de motor BLDC segons situació del rotor ¹⁴

Una altra diferència respecte els altres motors, és la substitució del parell d'imants per un cercle complet ple d'imants més petits. D'aquesta manera, les forces d'atracció magnètica entre els imants exteriors i l'electroimant augmenten considerablement. Aquest augment és dona, perquè s'optimitza l'espai on es perd la força magnètica, posant nous imants. En la figura 3.12 amb el cas del rotor extern, es pot veure l'addició de dos imants més, que poden arribar a ser més de deu.

Una característica també important la trobem en el estator, on els bobinats es troben enllaçats entre si. Es troben en tres grups diferents i cada grup conté com a mínim dos bobinats. Al enllaçar els bobinats s'aconsegueix alimentar el grup sencer

¹³ Font: (Rodriguez 2013)

¹⁴ Font: (Alarcon 2019) (Pàgina 14)

a partir d'una sola entrada, augmentat el número de forces electromagnètiques i afavorint la rotació del rotor. Cada grup està connectat independentment a la ECU, permetent així la existència d'una alimentació doble, és a dir, alimentar dos grups de bobinats a la vegada i poder duplicar la força exercida (Compañia Levantina de Reductores 2016).

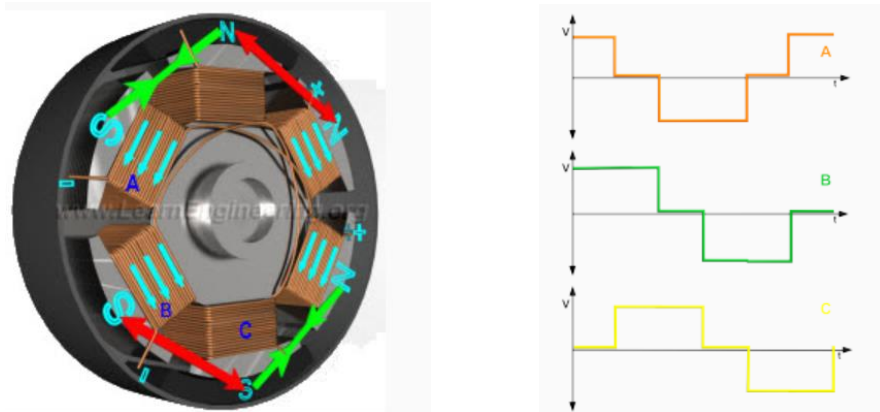


Figura 3.13 Enllaços bobinats i gràfic de tensió en funció del període ¹⁵

En la figura 3.13 s'aprecia la connexió que existeix entre els bobinats, i s'observa el diagrama tensió vs. temps, que representa els períodes d'alimentació dels diferents bobinats.

La combinació de la ECU, l'addició de més imants i trobar les bobines connectades en grups, esdevenen una gran diferència respecte els motors amb escombretes, perquè permeten optimitzar la corrent alimentada, augmentant la eficiència del motor.

L'ús de la ECU en els motors proporciona un millor control, millor regulació de la velocitat i un augment en la eficiència, degut als aspectes comentats, i degut a la desaparició de pèrdues de calor pel fregament. Aquestes millores fan que sigui un motor ideal per a aplicacions on es necessita un motor amb baix parell i molt fiable (Mathew 2013).

3.3 Selecció del motor elèctric

En aquest apartat s'aprofita la informació recollida anteriorment, per determinar quin tipus de motor és el més adequat per a la nostre aplicació en particular.

3.3.1 Comparació dels tipus de motor elèctric

Per poder valorar quina és la millor opció de motor elèctric, primer es realitza una selecció dels dos motors més convenients i que millor es poden adaptar per al ús que se li dona. Després es realitzarà una comparació mitjançant un mètode de selecció i valorar quin és el més adequat.

¹⁵ Font: (Mathew 2013)

El grup de motors formats per electroimants i que es troben connectats a la mateixa font d'alimentació queda descartat, per les característiques que tenen, sobretot per l'elevat parell motor que els caracteritza. En aquesta aplicació és perillós treballar amb parells tant elevats i que són propis de maquinària pesada. A més, són motors que no ofereixen un control precís i el fet d'implementar un motor elèctric en un vehicle de transport, admet un grau molt baix d'imprecisió, ja que està en risc la vida humana.

Per un altre costat, el motor format per dos electroimants però alimentats de forma independent, no és una bona opció a tenir en compte. El fet de necessitar dos fonts d'alimentació diferents, ocuparia massa espai i augmentaria el pes del vehicle considerablement. És una opció que aporta més problemes que solucions.

Aleshores només queden dos tipus de motor que s'ajustin a les necessitats, el motor BLDC i el motor amb escombretes de imants permanents. Tots dos proporcionen un control precís, i poden donar la potència i parell suficient per la nostre aplicació.

Per determinar el més adequat i convenient, s'aplica el mètode del valor tècnic ponderat, per tant, primer és necessari definir els paràmetres més influents a l'hora de seleccionar el motor (Macarulla 2020).

En el nostre cas es necessita un que ofereixi una llarga vida útil amb els mínims manteniments possibles, un motor que es pugui controlar amb molta precisió i s'exigeix la màxima seguretat. També interessa que el motor tingui les mínimes emissions possibles, reduir al màxim la contaminació de l'atmosfera i també reduir les emissions acústiques, i que ofereixi un alt rendiment.

En base a les característiques necessàries, els paràmetres o factors en els que ens basem per la selecció del motor són els següents:

- Vida útil: Interessa que ofereixi una llarga vida útil.
- Manteniment: Interessa realitzar els mínims manteniments possibles.
- Control motor: Interessa un motor amb el millor control motor possible.
- Emissions: Interessa un motor amb baixes emissions, tant ambientals com acústiques.
- Eficiència: Interessa un motor amb una eficiència superior.
- Cost: Interessa un motor raonablement econòmic, tot i que ja s'ha previst que ocupa un gran percentatge del pressupost final.

En la següent taula, s'aprecia el resultat d'aplicar aquest mètode de avaluació. L'escala del pes pels factors (g_i) és de 0-10 i la del pes de cada opció (p_i) és de 0-5.

Factors	Pes (g_i)	BLDC		Imants permanents	
		Pes (p_i)	Producte	Pes (p_i)	Producte
Vida útil	7	4	28	3	21
Manteniment	8	4	32	2	16
Control motor	9	4	36	3	27
Emissions	8	5	40	4	32
Eficiència	6	4	24	3	18
Cost	5	2	10	4	20
Suma	43		170		134
VTP			0,791		0,623

Taula 3.1. VTP dels tipus de motors

El motor BLDC ha obtingut un valor tècnic ponderat superior, per tant, es conclou que és l'opció que millor s'adapta a les nostres necessitats i és el motor que s'implementarà en la motocicleta.

Com s'ha explicat anteriorment, existeixen dues modalitats de BLDC segons la situació del rotor en el motor. En el nostre cas només hi ha una opció viable, perquè es necessari un eix on fixar el pinyó i transmetre la potència a la roda posterior, per tant, s'utilitza un BLDC de rotor intern.

3.3.2 Motor elèctric seleccionat

Un cop seleccionat el tipus de motor més adequat, es busca un motor BLDC que compleixi les especificacions que s'han imposat al principi del projecte.

Recuperant aquestes especificacions, s'exigeix que el motor no superi els 4000 W de potència i que treballi a una tensió màxima de 48 V. Un altre requeriment és que el volum del motor elèctric no superi el volum del reemplaçat.

Tenint en compte aquests requisits, s'ha de decidir quines característiques són les millors i més adequades per seleccionar el nostre motor. Pel que fa la potència, 4000 W és el màxim que es permet per als ciclomotors, tant cotxes com motocicletes. Tot i així, s'ha de complir no superar els 45 km/h, per tant, es busca un motor amb una potència més baixa, ja que les motocicletes tenen un pes molt inferior respecte els cotxes. Per adequar-nos a les propietats dels ciclomotors es busca un motor amb la meitat de potència, un motor de 2000 W.

Pel que fa a la tensió de treball del motor, si es vol que treballi a una potència de 2000 W segurament la tensió del motor serà de 48 V. Tot i així, no és cap inconvenient si es troba un que treballi a menor tensió, 24 V o 12 V. Centrant-nos en les dimensions del motor, no es complicat complir aquest requisit, ja que quasi tots els motors elèctrics comparats amb els motors de combustió són molt més petits.

Un cop clars els requisits que s'han de complir, es busquen diferents opcions de compra, en aquest cas les opcions trobades són les següents:

MOTOR	Potència [W]	Tensió [V]	Velocitat angular [rpm]	Cost [€]
KunRay 722000	2000	48	5200	270
Yalu Motor BM1109	2000	48	4400	221,88
Vevor B087LNG3TX	2000	48	4300	153,99

Taula 3.2. Comparació BLDCM seleccionats

En aquesta situació no cal utilitzar cap mètode de selecció, tots tres motors s'adapten als requisits i a les necessitats, per tant, per un aspecte econòmic s'escull el motor 3. Tot i ser el que menys velocitat angular pot oferir, 4300 rpm es creu que són suficients, inclús s'haurà de limitar per no excedir els 45 km/h. En la figura 3.14 es pot veure la imatge del motor seleccionat.



Figura 3.14 Motor BLDC seleccionat ¹⁶

BLDC	MY 1020D
Output	2000W
Speed	4300 rpm
Nº de sèrie	20200727443

Taula 3.3 Taula característiques motor seleccionat

Es tracta d'un motor de dimensions no molt grans, aquestes dimensions es poden veure en el plànol 300. Té un pes total de 7.28 kg i està protegit per una carcassa d'alumini. S'observa que el motor està dotat de dues pestanyes per mantenir-se en una situació d'equilibri, i també incorpora uns forats roscats que proporcionen punts de fixació.

¹⁶ Font: (Amazon 2020)

3.4 Implementació del motor elèctric

La implementació del motor elèctric és una activitat complicada en aquest projecte, pels diferents aspectes dels que cal tenir cura. En aquesta part es veuen el posicionament i fixació del motor elèctric.

3.4.1 Posicionament del motor elèctric

La posició del motor elèctric no acostuma a tenir variacions, ja que per optimitzar al màxim l'eficàcia en la transmissió i realitzar-la de forma segura, és important situar els dos engranatges en el mateix pla vertical. Aleshores l'eix del motor s'ha de posicionar en un punt semblant a on es trobava el eix original.

En el nostre cas, l'eix del motor es situa en el mateix punt que l'anterior amb una desviació al llarg del eix d'uns 20 mm, apropant-se a la corona. El fet de reduir aquesta distància respecte la posició original, no influeix en el rendiment de la transmissió, perquè és una distància insignificant. Aquest desplaçament realitzat és degut a la facilitat que comporta a l'hora de la fixació, com es veu en el següent apartat.

Per tant, es conclou que el motor elèctric es situa en la posició que ocupava el bloc del motor de combustió, en la figura 3.15 es pot observar que la posició és la mateixa amb una petita variació.



Figura 3.15 Comparació posició entre els motors ¹⁷

Amb aquesta posició del motor elèctric s'ha de buscar un nou lloc per al eix dels pedals, ja que aquests es trobaven en el mateix eix del pinyó. Per tant, aquest es col·loca en el forat on estava situat el cilindre.

3.4.2 Fixació del motor elèctric

La fixació del motor elèctric és un aspecte fonamental, s'ha d'aconseguir immobilitzar el motor elèctric per complet, i oposant la resistència necessària quan el parell és més elevat, en l'arrencada.

Per fixar el motor es contempen dues opcions, la primera consisteix en el disseny i fabricació d'una estructura a mida per aguantar el pes i parell del motor elèctric. L'altre opció per a la fixació del motor, és més bàsica i econòmica, consisteix en

¹⁷ Font: Pròpia

realitzar un mecanitzat mitjançant un forat en el bloc motor existent, per introduir el motor elèctric.

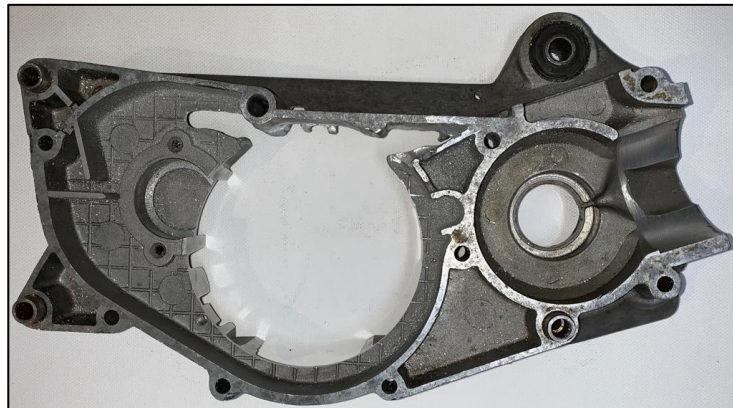
Totes dues opcions són vàlides en l'aspecte de qualitat en la fixació, és a dir, mitjançant qualsevol de les dues opcions s'aconsegueix el mateix resultat i amb la mateixa eficàcia, però també s'han de tenir en compte diferents aspectes com l'econòmic o la simplicitat en la realització. Aquests dos últims aspectes són els determinats per a la selecció d'una opció o altre.

Fixant-se amb la opció de dissenyar i fabricar una estructura a mida, comporta un disseny molt complex, ja que el bloc motor a part de proporcionar potència i ser el causant del moviment, té una funció estructural importantíssima. Aquest, fa d'unió entre el cos del xassís i les barres de la roda posterior. Per aquest motiu, a part de dissenyar una estructura per al motor també s'ha de preveure que aquesta actuï com a part del xassís de la motocicleta. La estructura també ha de ser capaç de subjectar les proteccions laterals.

Pel motiu que és un disseny amb moltes dificultats i problemes, i que econòmicament augmentaria el pressupost, es selecciona la segona opció.

Aleshores per al mecanitzat del bloc motor, s'envia aquest a un taller, juntament amb els plànols del motor elèctric i la localització amb el punt central del motor i la posició de les pestanyes. El taller que du a terme aquest mecanitzat és el taller Barfla d'Argenta.

A continuació s'observa una imatge de com queda el mecanitzat realitzat en el bloc motor.



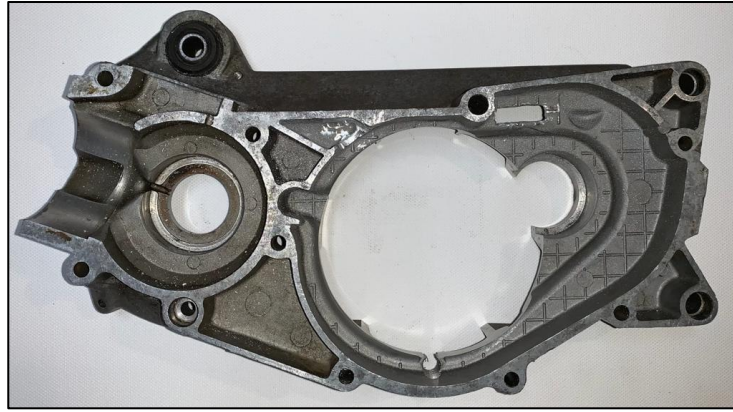


Figura 3.16 Mecanitzat del motor elèctric ¹⁸

En la mecanització del motor, com es pot veure en la figura s'aprofiten les pestanyes que incorpora el motor elèctric per fixar-lo i restringir el moviment rotacional. Per prohibir el moviment en la direcció concèntrica al eix del motor i evitar que aquest es descentri, es realitzen uns forats en el bloc motor, concèntrics en els forats de les pestanyes. D'aquesta manera, el motor elèctric queda bloquejat en qualsevol direcció i es pot utilitzar de forma segura.

Per permetre el moviment rotatori de l'eix dels pedals, es situen un parell de rodaments en els forats mecanitzats per aquest. Per restringir el moviment en l'ample del bloc motor, es col·loquen dos parells d'anells de seguretat, en l'annex VI es troben les característiques d'aquests anells (Entaban Subministros Industriales 2020). Com l'eix existent no és possible col·locar-lo en la nova localització, es mecanitza un de nou amb les mesures correctes. Aquestes mesures es troben en el plànol 601.

A continuació s'observa el motor elèctric i l'eix dels pedals implementats en el bloc motor.



Figura 3.17 Implementació motor elèctric ¹⁹

Tot el bloc motor i el motor elèctric queda ocult per les tapes laterals que incorpora aquesta motocicleta. D'aquesta manera, la substitució no serà visible donant la

¹⁸ Font: Pròpia

¹⁹ Font: Pròpia

sensació que segueix igual en l'aspecte visual, complint un dels propòsits d'aquets projecte.



Figura 3.18 Tapes laterals ciclomotor ²⁰

El forat que realitzat en la tapa que s'aprecia en la figura 3.18, és per evitar fregament amb la femella del eix motor i proporcionar ventilació al motor elèctric.

En les figures anteriors s'observa el esmentat anteriorment, el bloc motor actua com a element estructural i també s'aprecia que amb la col·locació de les tapes laterals, visualment no es perceben els canvis realitzats.

²⁰ Font: Pròpia

4. Sistema elèctric

El sistema elèctric en una motocicleta es troba format per dos subsistemes, el sistema del control motor i el sistema d'il·luminació. En aquest apartat, es veu la composició d'aquests subsistemes i quina funció proporcionen a la motocicleta. També es selecciona la font d'alimentació que proporciona intensitat a aquests.

4.1 Alimentació dels sistemes elèctrics

En el nostre projecte es troben dos circuits elèctrics diferents que equivalen al sistema d'il·luminació i la ECU amb el motor elèctric. Els dos sistemes, treballen a tensions diferents de 12V i 48V respectivament, per tant, es necessari subministrar dues tensions diferents. En aquesta part del projecte s'estudia quina és la millor opció per alimentar als dos circuits.

4.1.1 Alimentació de la ECU i del motor elèctric

Primerament, es centra la selecció en l'alimentació del conjunt de la ECU i motor elèctric, ja que són els que treballen a una tensió superior i és més simple després trobar una opció vàlida per alimentar al circuit del sistema d'il·luminació.

La font d'alimentació utilitzada es tracta d'una bateria, que permet emmagatzemar energia elèctrica i descarregar-la, per proporcionar intensitat a un circuit. Té la característica importantíssima, que no li fa falta estar connectada a una font de càrrega constantment, permetent així la llibertat de moviment de la motocicleta.

Un cop determinat l'element que subministra la diferència de tensió, per alimentar a 48V aquest sistema es disposen de varies opcions. La més evident és utilitzar una sola bateria de 48V, tot i que també es poden posar en sèrie diverses bateries fins arribar a la suma de 48V, per realitzar aquesta segona opció s'utilitzen quatre bateries de 12 V o dues bateries de 24 V.

Per valor quina opció és més favorable per implementar en el projecte, s'especifica quins factors són determinants, i s'aplica un mètode d'avaluació d'alternatives.

En aquest cas es torna a aplicar el mètode VTP com en la comparació entre els motors elèctrics, i els factors importants per la selecció de la bateria són els següents:

- Volum d'ocupació: Interessa una bateria o conjunt de bateries compactes i de volum reduït.
- Connexió cablejat: Interessa les mínimes connexions possibles per reduir les possibilitats de desconexió.
- Implementació (Subjecció i protecció): Interessa les mínimes subjeccions possibles i de fàcil protecció contra l'exterior i els cops.
- Cost econòmic: Interessa reduir el preu el màxim possible, però ja es contava com a un element de gran cost econòmic respecte els altres.

Factors	Pes (g _i)	bateria 12V (x4)		bateria 24V (x2)		bateria 48V	
		Pes (p _i)	Producte	Pes (p _i)	Producte	Pes (p _i)	Producte
Volum ocupació	6	4	24	3	18	2	12
Connexió cablejat	8	2	16	3	24	5	40
Implementació	9	3	27	3	27	4	36
Cost	5	4	20	3	15	2	10
Suma	28		87		84		98
VTP		0,621		0,600		0,700	

Taula 4.1. VTP configuració de la bateria

Finalment ha resultat que la millor opció per implementar és una única bateria de 48V, i en cas de no ser possible per algun problema tècnic, s'implementarien quatre bateries de 12V, al menys per comprovar el funcionament del motor i la seva subjecció.

4.1.2 Alimentació del sistema d'il·luminació

Per poder subministrar una tensió de 12V al circuit elèctric del sistema d'il·luminació, es troben dues opcions diferents. Per una banda es té l'opció d'utilitzar una font d'alimentació independent a la del circuit que conforma la ECU i el motor elèctric. Per l'altre banda, es pot aprofitar la mateixa font d'alimentació i utilitzar un convertidor de tensió DC-DC per reduir la tensió.

La opció d'utilitzar una font independent per al circuit del sistema d'il·luminació, és una opció menys desitjable, ja que una bateria de 12V comporta utilitzar un volum en la motocicleta del qual no es disposa. A més, al mateix temps comporta un augment en el pes, per tant, és una opció que es descarta.

Tot i així, si sorgeix qualsevol problema amb la bateria de 48 V, i finalment s'utilitza una configuració de 4 bateries de 12V, directament es pot connectar el circuit elèctric a una de les bateries.

L'altre opció, ofereix el mateix resultat amb una major optimització del volum. A part, les mides i pes del convertidor faciliten la seva implementació, subjecció i protecció d'aquest en la motocicleta. Tot i així, s'ha de anar amb compte, perquè al tractar-se d'un reductor, dissipa energia en forma de calor i serà necessari ventilar-lo.

Aleshores, es conclou que la millor opció per alimentar el circuit del sistema d'il·luminació, és utilitzar un convertidor de tensió DC-DC que redueixi la tensió de 48V a 12V.

4.1.3 Selecció de la bateria i del convertidor DC-DC

En aquest apartat es procedeix a la selecció de la bateria de 48V que s'ajusta a les necessitats del nostre projecte, i s'especifica el convertidor DC-DC que s'implementa.

A partir d'una recerca, s'ha trobat l'empresa Bateria Girona que fabrica bateries a mida, és a dir, que produeixen bateries amb la forma i mida que es desitja. Per optimitzar l'espai del que es disposa i no haver de realitzar modificacions estètiques en la motocicleta, es fa ús del servei que ofereixen. D'aquesta manera també serà més simple la seva subjecció i fixació en el cos de la motocicleta, ja que s'adapta a un volum i forma més convenient.

Per poder proporcionar un model de la forma desitjada, primerament s'ha de determinar quin espai es vol ocupar amb la bateria. Per determinar-ho, s'ha de preveure que la bateria és de gran volum, aleshores l'únic espai en la motocicleta amb un volum suficientment gran i buit el trobem en la posició del dipòsit de gasolina.

Per calcular el volum i mides de la bateria s'aprofita el dipòsit de gasolina, perquè aquest té la forma exacta del espai buit que es deixa. Per tant, les mides del dipòsit ja extret permeten realitzar el plànol de la bateria, per poder enviar a l'empresa i esperar una resposta amb el pressupost i termini d'entrega. El plànol amb les mesures de la bateria es troba en el plànol 401.

A continuació es destaquen les característiques més essencials de la bateria.

Tipus de bateria	Ió-Liti
Tensió	48 V
Intensitat	15 A
Càrrega	16,8 A·h
Autonomia aproximada	1 h

Taula 4.2 Característiques bateria adquirida

Al cap d'un temps d'estar contactant amb l'empresa, van oferir una data d'entrega molt tardana, i aleshores s'ha contactat amb una segona empresa de Madrid, HDI Battery S.L. Aquesta, va proposar un termini d'entrega més raonable (HDI Battery 2020). Tot i així, no han pogut entregar la bateria a temps, per complicacions en la realització d'aquesta i es rep el dia 15 de Gener. Per aquest motiu, per realitzar les proves de funcionament es col·loquen 4 bateries de 12 V en sèrie.

Les bateries per realitzar les proves, tenen les següents característiques.

Tensió	12 V
Intensitat	13 A
Càrrega	11,2 A·h
Model	YTZ14S – AGM gel battery

Taula 4.3 Característiques bateries 12 V

Un cop determinada la bateria que s'implementarà en la motocicleta i que proporcionarà la tensió als diferents circuits, es determina quin convertidor de tensió DC-DC s'implementarà.

Per seleccionar un convertidor, no és necessari comparar entre diverses opcions, ja que és un element comú i que es pot trobar fàcilment en diferents mides, formes i de diferent cost. Per aquest motiu s'utilitza un convertidor DC-DC genèric, però que ofereixi seguretat i sigui fiable. Com es vol reduir la tensió, s'ha de utilitzar un convertidor Buck DC-DC i que compleixi les següents característiques.

Tensió entrada	48 V
Tensió sortida	12 V
Dimensions aproximades	65x95x20 mm

Taula 4.4 Característiques Convertidor DC-DC

Per poder realitzar la càrrega de la bateria, s'utilitza un carregador específic el qual realitza un procés de 6 passes per a la seva càrrega. Amb aquestes 6 passes s'augmenta la vida de la bateria i s'assegura que està sana i sense cap problema. El carregador utilitzat es tracta d'un YEC-9 de la marca Yamaha (Ciclos Ortega 2020).

4.2 Unitat de control electrònic (ECU)

La unitat de control electrònic és un microcontrolador que s'encarrega de controlar un o més dels sistemes elèctrics d'un vehicle. Per controlar els diferents sistemes, està dotada d'uns sensors, dels quals rep la informació necessària, la processa i decideix com ha d'actuar.

En aquest projecte, la ECU ha estat adquirida en un paquet juntament amb el motor, ja que fer aquesta unitat de control comporta un gran cost econòmic i temporal. Es necessiten components fiables, i aquests no són de baix cost. Per aquests motius, la realització d'aquest ECU es deixa com a un projecte futur, i ara s'utilitza el que incorpora el paquet del motor per tal de fer tests, comprovar que el motor i altres elements funcionen correctament, i determinar la seva posició en el ciclomotor.

Les unitats de control electrònic poden ser molt diferents tant en funció com en estructura, depenent del tipus d'aplicació per al que es necessita, i per tant, la explicació es centra en una unitat de control electrònic de control motor.

4.2.1 Estructura d'una ECU de control motor

Una unitat de control electrònic destinada a controlar el motor del vehicle, segueix una estructura genèrica que es pot aplicar a qualsevol vehicle, i posteriorment es troben modificacions en funció de l'aplicació. Per entendre com interactua el conductor amb el vehicle i com realitzar les funcions que se li demanen, s'explica la estructura principal de connexions del microcontrolador, amb les entrades i sortides d'aquest.

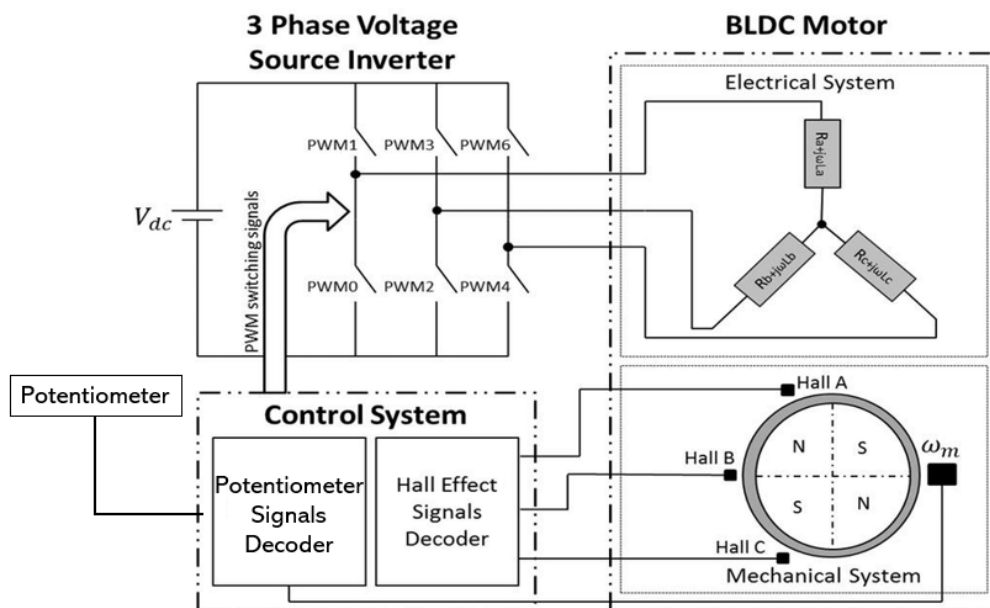


Figura 4.1 Esquema perifèrics del microprocessador ²¹

El microprocessador està format pel hardware i el software. Si ens fixem en el hardware, que equival als circuits físics que formen el sistema, dins d'aquest es troba la CPU i la memòria, juntament amb els perifèrics que equivalen a les entrades i sortides. En l'esquema, el Control System equival al conjunt de la CPU i la memòria, que són els encarregats de decidir com s'actua, en funció de les dades rebudes pels perifèrics. L'actuació que ha de realitzar ve determinada per l'usuari, que mitjançant el software, designa el conjunt d'instruccions que ha de realitzar el sistema (Arumí y Ortega 2020).

Pel que fa els perifèrics, es troba una entrada de dades. El potenciòmetre es tracta d'un perifèric extern, que indica al microprocessador quina quantitat de potència el conductor del vehicle vol subministrar al motor.

El perifèric de sortida que es troba en el microcontrolador, és el sistema elèctric que conforma el motor BLDC, és a dir, el conjunt de bobines de les que està format. Aquest perifèric rep la tensió a través del microcontrolador, primer passant per el pont inversor de tensió, aquest procés s'explica en el següent apartat (Tashakori y Ektesabi 2014).

Un altre component característic en el control dels motors BLDC, es tracta d'un sensor, més concretament el sensor de Hall, que envia dades sobre la posició del rotor respecte el estator, per determinar quan són necessaris els canvis de polaritat.

4.2.2 Funcions d'una ECU de control motor

Un cop vista l'estructura bàsica del microcontrolador i els perifèrics que té acoblats, es descriuen les funcions principals que realitza i altres funcions que pot realitzar aquesta modalitat de ECU .

²¹ Font: (Tashakori y Ektesabi 2014)

Les ECU de control motor, les funcions principals que realitza són la de controlar la velocitat de gir del motor, i provocar els canvis de polaritat en el motor.

4.2.2.1 Control de la velocitat

En el control de la velocitat, es troba una comunicació entre el conductor del vehicle i el microcontrolador. És el conductor l'encarregat de generar les dades que desitja, per enviar al microcontrolador. Aquesta comunicació és gràcies al potenciòmetre, aquest genera una senyal analògica de tensió, la qual el microcontrolador la passa a digital, la interpreta i en funció d'aquesta interpretació es genera l'acció de control corresponent.

Les dades enviades són les llegides de l'acció de gir del conductor, al provocar un gir a l'eix del potenciòmetre es varia el valor de la resistència variable que incorpora, i conseqüentment la diferència de tensió augmenta o disminueix, aquesta diferència de tensió és la que llegeix el microprocessador i permet que aquest realitzi el que ordena el conductor. Un cop el microprocessador processa les dades, actua alimentant el motor elèctric amb més tensió o menys mitjançant un regulador de tensió.

4.2.2.2 Control alimentació bobinats

En aquesta altra funció que realitza entra en joc el sensor de Hall, que es limita a enviar les dades de posició del rotor en funció del estator, cap al microprocessador perquè aquest les processi i actuï. L'esquema del circuit que es realitza per poder dur a terme aquesta funció és la que es troba en la figura 4.1.

La lectura de dades en el sensor ja ha estat anteriorment explicada, s'ha explicat que es basa en l'efecte Hall, i com a resultat d'aquest efecte s'obtenen en el sensor uns valors de tensió. Aquests valors, són diferents segons la situació en la que es troba el motor BLDC, són els processats pel microprocessador. Un cop ha processat els valors i ha determinat quins canvis s'han de realitzar, aquest envia una senyal en forma de PWM (modulació per amplada de polsos) al pont inversor de tensió. Al pont, li indica la configuració en que s'ha de trobar en aquell instant, i així poder alimentar correctament el motor sense perdre velocitat ni força en la rotació.

4.2.2.3 Altres funcions de la ECU

La ECU realitza altres funcions, com poden ser la inversió del sentit de gir del motor o el limitador de velocitat entre d'altres, però aquestes són les més influents en el funcionament del motor elèctric.

Ambdues funcions es controlen a partir d'un perifèric extern del tipus interruptor, ja que és el conductor qui decideix el que vol o necessita, per tant, en aquest cas també es troba interacció amb el usuari.

La funció de limitar la velocitat, tal i com indica el seu nom, limita la potència subministrada al motor elèctric, i permet no superar certes velocitats quan l'usuari ho demana. En la gran majoria de ECU, el limitador disposa de tres pics límit de velocitat diferents, i es configuren a partir d'un interruptor de 3 posicions. Segons

la configuració del interruptor, al microprocessador li poden arribar tres valors de tensió diferents, i aleshores envia una senyal al regulador de tensió per donar-li un valor límit, el valor que el conductor hagi escollit entre els tres diferents.

Fixant-se en la funció d'inversió del sentit de gir del motor, aquesta funció a diferència de les altres, no pot tindre lloc mentre el motor elèctric està en funcionament, perquè es pot arribar a fer malbé el motor i quedar inutilitzable. Aleshores, és un funció que el conductor ha de determinar prèviament a l'arrencada del motor. Per poder realitzar la funció, la ECU actua sobre el pont inversor de tensió. Aquest, al actuar com a connexió entre la font d'alimentació i el bobinat del motor, permet que els bobinats s'alimentin en sentit contrari, provocant que el estator faci un moviment rotatori en el sentit contrari al establert.

De les funcions esmentades només s'utilitza el limitador de velocitat, per tal de no superar els 45 km/h establerts per a aquests tipus de vehicles. S'implementa pel fet que posteriorment amb la selecció de la corona i pinyó, no es tenen mitjans per calcular la velocitat amb càrrega, d'aquesta manera es té un element que pot ajudar a l'hora de determinar la velocitat màxima.

4.2.3 Unitat de control electrònic seleccionada

Prèviament ja s'ha comentat que la creació d'una ECU no era una tasca a realitzar al llarg d'aquest projecte, i que s'adquireix una per tal de comprovar el funcionament del motor i la funcionalitat de les altres parts. A més, ens permet definir la posició de la ECU dins de la motocicleta, amb les corresponents proteccions i fixacions.



Figura 4.2 ECU del pack amb el motor ²²

La ECU que incorpora el paquet del motor com és d'esperar, és totalment compatible amb el motor elèctric adquirit, i les característiques de treball són les següents:

Nº de sèrie	BY15WF01-A
Tensió de treball	48 V
Intensitat de treball	33 A
Potència	2000 W

Taula 4.5. Taula característiques ECU

²² Font: (Amazon 2020)

Com es pot observar, les característiques de treball són iguals que les del motor, amb els 48 V de voltatge i els 2000 W de potència. En aquest cas la ECU adquirida realitza totes les funcions anteriorment explicades. A més, incorpora un parell de perifèrics complementaris, aportant dos elements que en el nostre cas només utilitzarem un d'ells, el connector de càrrega.

El primer element es tracta d'un connector per connectar un port de càrrega, i poder carregar la bateria, que queda inaccessible un cop implementada.

L'altre element que incorpora és la connexió de les llums de fre, al pressionar la maneta es tanca un interruptor, fent que el corrent circuli, enviant una senyal a la ECU perquè activi les llums de fre.

Un altre aspecte positiu del paquet seleccionat, és la incorporació d'un potenciòmetre en forma de maneguet, per tant, és un perifèric que no caldrà adquirir. El conjunt del potenciòmetre i el maneguet també està dotat d'un indicador del nivell de la bateria i un activador en forma de clau. El indicador és un component indispensable per tenir una noció dels kilòmetres o temps que resta perquè la bateria es descarregui, i poder ser conscient de quan s'ha d'aturar i recarregar aquesta.

4.3 Sistema d'il·luminació

Els sistema d'il·luminació té una gran importància en l'aspecte de la seguretat, ja que és l'únic element que dona visió al conductor quan aquesta és reduïda, i a la vegada el permet ser vist pels altres vehicles.

En aquest apartat es veuen els diferents elements que conformen aquest sistema i el circuit en el que es troben. Al mateix temps es realitza una comprovació dels diferents elements originals, determinant si són operatius o és necessari substituir-los per uns de nous.

4.3.1 Circuit elèctric del sistema d'il·luminació

El circuit elèctric del sistema d'il·luminació està compost per diferents elements disposats en una certa configuració, que treballen a una tensió de 12V. Per aquest motiu, com s'ha explicat anteriorment es necessita una subministració de 12V per a aquest circuit, que s'aconsegueix mitjançant el convertidor Buck DC-DC.

Amb l'element de subministració ja seleccionat, es procedeix a dibuixar el circuit elèctric d'aquest sistema, juntament amb la descripció dels diferents elements que intervenen.

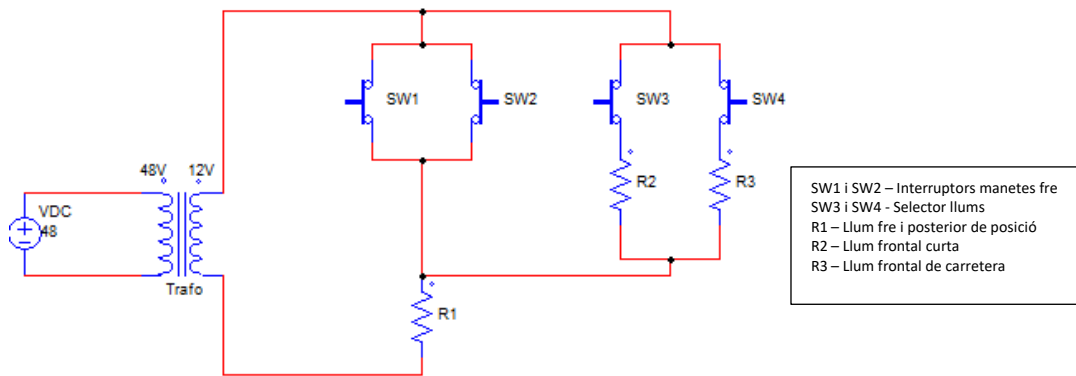


Figura 4.3 Circuit elèctric del sistema d'il·luminació ²³

En el circuit a part del convertidor de tensió, trobem dos tipus d'elements com són els interruptors i les resistències. Per poder identificar quin element de la motocicleta equival a cada un en el circuit representat, en la mateixa figura es troba una llegenda.

Els interruptors representats com a SW1 i SW2 són els equivalents als interruptors que s'activen amb les manetes de fre. Aquests interruptors es troben connectats amb la resistència R1, és a dir, la resistència del llum de frenada.

Els dos interruptors següents es troben en el selector de llums, permeten connectar o desconectar les llums curtes i les llums de carretera o llargues. Les dues llums han de permetre que el vehicle sigui vist des de la part posterior també, per tant, s'han d'activar tant les llums davanteres com les posteriors. Per aquest motiu, en el circuit s'aprecia que els interruptors SW3 i SW4 es troben connectats amb la resistència R1. A part, cada un dels interruptors referent al selector de llums es troba connectat amb la resistència equivalent R2 i R3.

²³ Font: Pròpia

Per veure amb claredat la interacció dels interruptors amb les resistències, a continuació es troba la taula de les possibles configuracions.

SW 1	SW 2	SW 3	SW 4	R1	R2	R3
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	0

Taula 4.6 Configuració interruptors



4.3.2 Resistències

Els elements resistius com ja s'ha especificat, són el conjunt de resistències que es troben en el circuit elèctric de la figura 4.3. En aquest cas tot i tenir tres elements resistius diferents, la motocicleta només consta de dues bombetes, una en el frontal i l'altre en el pilot posterior.

La bombeta del frontal, és del tipus S2 amb un portalàmpades de tipus BA 20 d, aquest tipus de bombeta, consta de dues resistències al seu interior. El portalàmpades consta de tres pins, permetent que la connexió de les dues resistències en el circuit sigui independent. Perquè cada resistència proporcioni una il·luminació diferent, s'utilitza un element reflector en la resistència R2 que cobreix una part de la resistència, tapant part de la llum i evitant que sobrepassi d'una certa altura.

L'altre bombeta utilitzada en el pilot posterior, es tracta d'una bombeta del tipus plafó, un tipus de bombeta més simple i de forma tubular, on els extrems actuen com a punts de connexió amb la resta del circuit elèctric.

En la següent taula s'observen les diferents característiques de les dues bombetes, i una il·lustració de la forma de cada una.

	Bombeta frontal	Bombeta pilot posterior
Tipus	S2 – BA 20 d	plafó
Tensió	12V	12V
Potència nominal	25W	5W
Imatge		

Taula 4.7. Característiques bombetes

Les dues bombetes originals que porta la motocicleta han estat provades amb una font d'alimentació externa i segueixen funcionant, per tant no cal adquirir unes de noves per al moment.

4.3.3 Interruptors

Els interruptors originals de la motocicleta es troben en un estat inutilitzable, estan molt desgastats i els hi falten algunes parts. Per aquest fet i que ha resultat molt complicat arreglar-ho, es necessari adquirir uns de nous.

En el circuit elèctric es troben 4 interruptors, que es poden agrupar en dos grups.

El primer grup d'interruptors format pels SW1 i SW2, ja s'ha explicat que equivalen a les manetes de fre. Es tracten d'uns interruptors que intervenen quan es pressiona la maneta del fre i es tanca el circuit elèctric. Aquests interruptors es poden adquirir per separat de les manetes o amb el muntatge ja realitzat, a continuació es pot veure una taula amb els preus de cada element per poder comparar quin és més recomanable.

Tipus	Preu unitari	Total
Manetes	5,50€	15,15€
Interruptors	2,08€	
Conjunt	8,70€	17,39€

Taula 4.8. Comparació cost manetes i interruptor del fre

Per una raó d'estalvi de temps, evitar errors i degut a que la diferència en el preu és mínima, s'implementen les manetes amb l'interruptor ja muntat.

Centrant-se en l'altre parell d'interruptors, els encarregats d'activar les llums de carretera i les llums de posició, aquests interruptors es troben integrats en un selector de llums. Per substituir el selector original, no ha estat possible trobar cap del mateix model o similar, per tant, s'integra un selector de llums més modern, que també inclou l'interruptor de la botzina i l'interruptor dels llums intermitents.

Es disposa del selector de la marca Leonelli amb número de referència MR54074S00, és un selector amb les funcions bàsiques per a una motocicleta, tot i que no s'utilitzen totes les funcions que disposa.

A continuació podem observar com és el selector que s'utilitza.



Figura 4.4 Selector de llums Leonelli ²⁴

4.4 Implementació sistema elèctric

Per a la implementació del sistema elèctric es necessita conèixer les connexions dels dos circuits amb la font d'alimentació, la connexió dels diferents elements dins del circuit i la col·locació dels diferents components en la motocicleta.

4.4.1 Circuit elèctric general

A continuació trobem l'esquema del circuit elèctric complet, en ell s'hi troba l'adició del clàxon, connectat al circuit del sistema d'il·luminació, perquè la tensió de treball també és de 12V.

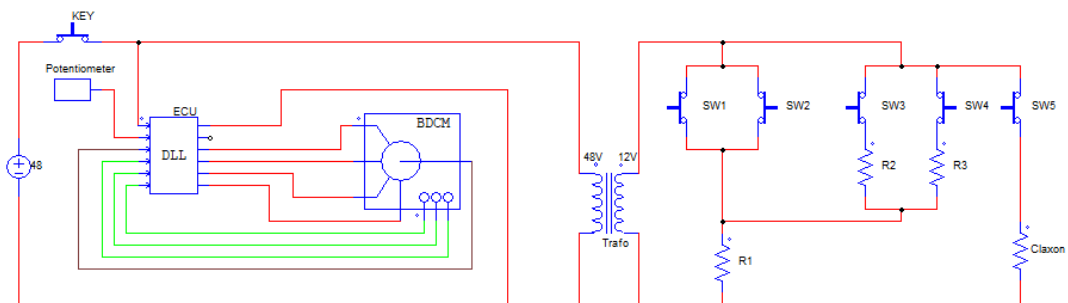


Figura 4.5 Circuit elèctric general ²⁵

Com es pot veure en la figura, es troben les dues parts del circuit, el circuit del sistema de control, alimentat directament per la bateria a 48V i el circuit del sistema d'il·luminació, on la bateria alimenta el convertidor Buck i aquest redueix la tensió fins als 12V, tensió en la que treballa el circuit de il·luminació.

En el circuit del sistema de control s'observen els diferents perifèrics que el conformen. La ECU té connectada en els pins d'entrada el potenciòmetre amb l'interruptor regulador de les velocitats, les lectures dels tres sensors, el terra dels sensors i la intensitat provinent de la bateria. El circuit d'il·luminació resta igual com

²⁴ Font: (Comercial Martínez 2020)

²⁵ Font: Pròpia

s'ha explicat en l'apartat corresponent. Un element comú per els dos circuit és l'interruptor que mitjançant una clau obre o tanca el pas de la corrent.

Com es pot veure es tracta d'un circuit senzill exceptuant de la unitat de control electrònic, però que només s'han de realitzar les connexions dels perifèrics, per tant, es simplifica la complexitat. Així doncs, a l'hora del muntatge s'ha de seguir el circuit que es mostra en la figura.

4.4.2 Connexions cablejat

Totes les connexions entre els diferents cables han d'estar assegurades per evitar la seva desconexió en cas de moviment, vibracions o forts cops. També cal que les connexions es trobin ben connectades i aïllades, per evitar que es produeixin curtcircuits. En la següent taula es veu el cablejat i les connexions de la ECU amb els diferents perifèrics (McCrate 2018).

Denominació	Cables ECU	Connexió	Cables perifèrics
Throttle	1 ----- 2 ----- 3 -----	Potenciòmetre	1 ----- 2 ----- 3 -----
Reverse	4 ----- 5 -----	(no connectat)	---
3 Speeds	6 ----- 7 ----- 8 -----	Interruptor de 3 posicions	6 ----- 7 ----- 8 -----
Electric lock	9 ----- 10 -----	Clau arrencada	9 ----- 10 -----
Charging port	11 ----- 12 -----	Connector de càrrega	11 ----- 12 -----
Brakes (x2)	13 ----- 14 -----	(no connectat)	---
Brake lamp (x2)	15 ----- 16 -----	(no connectat)	---
Indicator light	17 ----- 18 -----	(no connectat)	---
Hall sensor	19 ----- 20 ----- 21 ----- 22 ----- 23 -----	Sensor de Hall	19 ----- 20 ----- 21 ----- 22 ----- 23 -----
BLDC	24 ----- 25 ----- 26 -----	BLDC motor	24 ----- 25 ----- 26 -----
Batteries	27 ----- 28 -----	Bateria	27 ----- 28 -----

Taula 4.9 Connexions ECU

Un cop vistes les connexions de la ECU amb els perifèrics i la font d'alimentació, es veuen les connexions realitzades en el circuit del sistema d'il·luminació.

Inici	Final	Color cable
Bateria	Convertidor	-----
Convertidor	Interruptors	-----
SW1	R1	-----
SW 2	R1	-----
SW 3 & SW 4	R1	-----
SW 3	R2	-----
SW 4	R3	-----
SW 5	Clàxon	-----
Resistències	Convertidor	-----
Convertidor	Bateria	-----

Taula 4.10 Connexions cables en el sistema d'il·luminació

Tots els cables es situen per dins del xassís de la motocicleta, evitant l'exposició a l'exterior i així procurant que no puguin ser malmesos. Les connexions entre el cablejat que es connecta amb la ECU es realitza mitjançant connectors de plàstic que ja incorpora aquesta, exceptuant els cables de les bateries i del motor BLDC, els quals es substitueix l'anell que porten per un connector de pins.

Els cables dels components que es troben en el manillar, es condueixen pel protector frontal, i s'introdueixen en l'interior del xassís mitjançant una ranura. El recorregut entre la protecció frontal i la ranura és mínima, està en una posició difícil de malmetre en cas d'accident o caiguda, per tant, els cables queden ben protegits en aquest petit recorregut.

4.4.3 Posicionament i subjecció components dels sistemes elèctrics

En aquesta part de la implementació del sistema elèctric es veu la posició en la motocicleta dels components afegits o substituïts, els components originals no s'han canviat de posició. Aleshores, es determina la posició del convertidor de tensió DC-DC, el selector de llums, la ECU i la bateria, tot i que aquesta última ja s'ha comentat on va situada. Excepte el selector de llums i el potenciòmetre, la resta de components es troben situats en l'interior del xassís de la moto, ja que es buit i és el millor element per aïllar-los i protegir-los del exterior.

El selector de llums per un qüestió pràctica i de seguretat es situa en el manillar, en la part esquerra d'aquest, al costat del fre per reduir al mínim la distància a recórrer amb el dit i no haver de treure la mà d'aquest. Com es tracta d'un selector homologat no necessita cap protector ni aïllament contra la pluja. Per subjectar el selector en aquella posició, aquest mateix incorpora un cargol per reduir el diàmetre del forat i crear un ajust. Amb el potenciòmetre passa exactament el mateix.

A continuació es troba una imatge amb els diferents elements dels sistemes elèctrics que es troben en el manillar.



Figura 4.6 Components posicionats en el manillar ²⁶

Els altres components ja s'ha comentat que es situen en l'interior del xassís. Al ser metàl·lic, es necessari evitar el contacte amb els components, per això es recobreix la part interior amb una espuma de foam en forma de eggcrate (Amidata S.A.U. 2020). Així doncs, s'evita el contacte entre els components i el xassís i al mateix temps s'encoixina l'interior, prevenint que els components en cas que es desprenguin pateixin danys greus.

En la següent figura es pot observar la espuma anomenada, com protegeix de cops i evita el contacte dels components amb el xassís de la motocicleta.



Figura 4.7 Espuma foam en forma de eggcrate ²⁷

A continuació podem veure un croquis aproximat amb les posicions dels components afegits en l'interior del xassís.

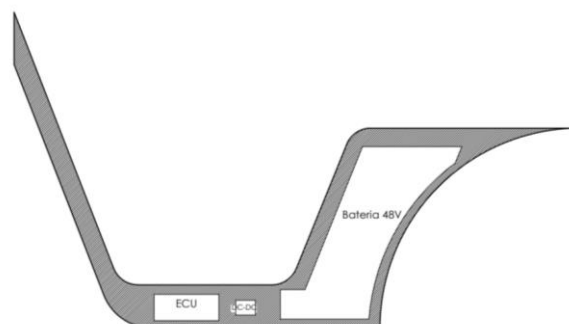


Figura 4.8 Distribució components del sistema elèctric ²⁸

²⁶ Font: Pròpia

²⁷ Font: Pròpia

²⁸ Font: Pròpia

Com s'ha explicat, la bateria ocupa el volum buidat en l'extracció del dipòsit de benzina. A part, és l'únic espai en la motocicleta amb un volum suficientment gran com per albergar una bateria d'aquestes característiques i dimensions. Per a la subjecció de la bateria es troba un component fonamental com és el parafangs posterior, aquest té el mateix radi que la paret inferior de la bateria i provoca que aquesta no es pugui moure en cap direcció, fent que quedi fixe. Com la bateria és un element d'elevat pes, cal posar un parell de reblons en la unió amb el xassís per tal de distribuir les forces en diferents punts d'unió. Tot i així, en la part inferior del xassís es troba una làmina de gran espessor on la bateria reposa, és a dir, transmet gran part del seu pes per aquella làmina.

En la figura s'aprecia que la ECU i el convertidor de tensió es troben situats en la part inferior i central del xassís, tant la part superior com la inferior contenen un forat, però es troba protegit.

En la part superior es troba una tapa de plàstic, en la qual s'afegeix un ribet de goma en les vores del forat, per aconseguir un bon aïllament de l'aigua. En canvi en la part inferior es troba el bloc motor, que ja actua com a protector per a possibles cops i protegeix els components de possibles esquitxades o entrades d'aigua, però per assegurar la impermeabilitat de l'interior del xassís i conseqüentment dels components del sistema elèctric, es col·loca una membrana autoadhesiva i impermeable. Amb aquestes mesures s'aconsegueix una impermeabilització dels components del sistema elèctric, que són fàcilment fets malbé al entrar en contacte amb aigua.

En la tapa del xassís que protegeix els components electrònics es col·loca el port de càrrega, ja que és un lloc accessible i fàcil per connectar el carregador. A més, és un lloc amb prou espai en la part inferior, necessari perquè la connexió amb la ECU es realitza per aquesta i es necessita un cert espai. Al port se l'hi ha posat un tapa per poder aïllar-lo del exterior, i com s'observa en la figura 4.9 es tracta d'un port del tipus ATS amb 3 pins.



Figura 4.9 Implementació port de càrrega ²⁹

²⁹ Font: Pròpia

5. Sistema transmissió

En aquesta part de la memòria es repassen els conceptes de transmissió de potència i relacions de velocitats, es seleccionen els diferents elements que actuen en la transmissió i es calculen les característiques de transmissió i velocitat que ofereix el motor implementat amb els engranatges seleccionats.

Respecte el tipus de carenat utilitzat per transmetre la potència, s'utilitza el mateix que l'original, una cadena de de transmissió de potència que connecta la corona amb el pinyó. És un sistema que ofereix una gran eficiència a l'hora de transmetre potència.

5.1 Equacions de relació de transmissió de potència

Les equacions de relació de transmissió de potència, permeten calcular les magnituds de la motocicleta com la velocitat o el parell. Aquestes magnituds, s'assoleixen gràcies a la transmissió mitjançant una cadena de transmissió de potència, que connecta el pinyó de l'eix motor amb la corona de la roda posterior.

Les relacions que es troben entre pinyó i corona són la velocitat angular i la potència. Un cop conegudes les relacions entre ells, es poden calcular altres magnituds com la velocitat o la força que es genera en l'arc exterior de la roda.

Centrant-se en la relació entre les velocitats angulars de dos engranatges diferents, aquestes es relacionen pel número de dents, mitjançant la següent fórmula.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad \rightarrow \quad \omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \quad [rad/s]$$

Equació 7. Relació velocitats entre engranatges simples

Mitjançant aquesta fórmula, coneixent el valor de la velocitat angular 1 i el número de dents dels tots dos engranatges s'obté com a resultat el valor de la velocitat angular 2. Un cop conegut aquest valor, i coneixent el diàmetre de circumferència es pot calcular la velocitat en l'arc exterior de la roda.

$$v = \omega \cdot r \quad [m/s] \quad \text{ó} \quad \omega = \frac{v}{r} \quad [rad/s]$$

Equació 8. Equació velocitat moviment rotacional

Un cop vistes les dues relacions per poder determinar les velocitats, es procedeix a explicar les relacions de transmissió de potència. En el cas de qualsevol sistema, el sumatori de potències és igual a zero, i es pot expressar de la següent forma.

$$\sum P = P_{generada} - P_{consumida} - P_{pèrdues} = 0$$

Equació 9. Potència del sistema de transmissió

En el cas d'engranatges la potència generada correspon a la produïda per l'element conductor, i la consumida correspon al conduït. Les pèrdues poden ser provocades per molts factors diferents, on els més influents són la fricció, la calor o la poca precisió a l'hora de mecanitzar el conjunt dels engranatges. En el cas de

motocicletes on s'utilitza una cadena de transmissió, les pèrdues que es troben també venen derivades de la poca tensió d'aquesta i la petita diferència entre el pas de la cadena i el del engranatges.

Per poder determinar el valor de la potències, aquestes es troben relacionades amb la velocitat angular i el parell motor, es tracta d'una relació proporcional en els dos casos, per tant, quanta més potència es genera major és la velocitat angular i el parell que s'assoleix.

$$P = T \cdot \omega \text{ [W]}$$

Equació 10. Potència de gir

El parell motor, al tractar-se d'un moment de força es defineix com el producte entre la força i la distància al punt seleccionat, en aquest cas la distància equival al radi del pneumàtic.

$$T = F \cdot r \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Equació 11. Parell motor

Substituint aquest última equació en l'equació 11 i aplicant la relació entre la velocitat angular i la velocitat lineal s'arriba a una expressió diferent per a la potència.

$$P = F \cdot r \cdot \omega = F \cdot v \text{ [W]}$$

Equació 12. Potència de gir

Amb les expressions de la potència ja definides, es precedeix a esmentar com es calcula les pèrdues generades. Calcular les pèrdues originades és una tasca complexa i que requereix un instrumental sofisticat, per poder recollir les dades necessàries i realitzar els càlculs, per tant, el que es fa és aplicar un rendiment, és a dir, aproximar el valor que representen les pèrdues respecte la potència generada. Per mostrar com es realitza el càlcul s'agafa un percentatge del A%.

Retornant a l'equació del sumatori de potències,

$$P_{generada} - P_{consumida} - P_{pèrdues} = 0$$

$$P_{generada} - P_{consumida} - P_{generada} \cdot \frac{A}{100} = 0$$

$$P_{consumida} = P_{generada} \left(1 - \frac{A}{100}\right)$$

Equació 13. Potència consumida

Substituint l'expressió de l'equació 11, i anomenant la potència consumida com a P_2 i la potència generada com a P_1 , s'arriba a una expressió on es relacionen els dos parells motors en funció de les velocitats angulars de cada engranatge.

$$T_2 \cdot \omega_2 = T_1 \cdot \omega_1 \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right)$$

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right)$$

Equació 14. Relació entre parells motors en funció de ω

En aquesta equació es pot realitzar un últim canvi substituint la relació de l'equació 8.

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right)$$

Equació 15. Relació entre parells motors en funció de z

Amb aquest seguit d'equacions i relacions, es pot calcular totes les magnituds necessàries per poder comparar en el següent apartat, quin és l'engranatge que més interessa implementar (Freire 2019).

5.2 Engranatges

En aquesta part es procedeix a la selecció del pinyó i la corona que s'implementen, en funció de les característiques que més interessin. Per determinar varies de les característiques s'utilitzen les equacions de l'apartat anterior.

La substitució dels engranatges és deguda a que el motor elèctric no ofereix les mateix prestacions que el motor de combustió, i per tant, s'ha de valorar si cal substituir-los o no, en cas de substituir-los trobar quina substitució és la més adient.

5.2.1 Relacions d'engranatges

Abans de realitzar la selecció dels engranatges que es volen, és necessari tenir en compte alguns factors i algunes característiques que han de complir la parella d'engranatges per poder realitzar la seva funció de forma correcte.

Per aconseguir que dos engranatges engranin entre ells o mitjançant una cadena, tots dos han de complir que el mòdul d'aquests sigui el mateix. En cas contrari els forats de les dents no poden coincidir, provocant que el moviment rotatori no sigui fluid i desgastant les dents dels tots dos engranatges (Hernández et al. 2008).

Tornant a l'apartat anterior, es troben unes equacions que relacionen una magnitud física amb característiques dels engranatges. Aquestes són l'equació 8, que relaciona el número de dents amb la velocitat angular, i posteriorment es troba l'equació 15, que relaciona el parell motor amb el número de dents també. La velocitat angular i el parell són dues característiques en la transmissió que determinen quina corona i pinyó són més favorables per al nostre projecte.

La diferència entre les dues equacions, és que en l'equació 8 la velocitat angular és inversament proporcional al número de dents, i en canvi en l'altre equació s'observa que el parell és proporcional al número de dents. Per tant, si augmentem el número de dents, la velocitat angular disminueix i el parell augmenta, és a dir, la rotació és

més lenta però l'esforç a realitzar és menor. Posant-se en el cas contrari, si es disminueix el número de dents, la velocitat de rotació augmenta, però és necessari un esforç superior (Rodríguez 2020).

L'especificació de quines característiques són més favorables per a la nostre aplicació, permet comparar quina de les diferents corones és la més desitjable. Interessa una velocitat aproximada a la permesa per als ciclomotors i un parell elevat, per minimitzar els esforços del motor. S'ha de buscar un equilibri per afavorir a totes dues magnituds, ja que com s'ha pogut veure totes dues són inversament proporcionals.

5.2.2 Pinyó

El pinyó de la motocicleta es tracta del engranatge que es troba fixat en l'eix del motor elèctric, per tant, les característiques de gir són les mateixes que les del motor. Per aquest fet, actua com a engranatge conductor, és a dir, és l'engranatge que origina el moviment rotatori en la transmissió.

Es disposa d'un pinyó de diàmetre primitiu suficientment capaç de transmetre de forma eficaç el parell que ofereix el motor, també el pas entre dents concorda amb el pas de la cadena de transmissió que incorpora la motocicleta. Com es disposa d'aquest pinyó, no es necessari adquirir un de nou, que suposaria un augment del pressupost.

En la taula que es troba a continuació s'especifiquen les dimensions del pinyó esmentat. Les especificacions de cada mesura es troben en l'annex IV (de Diego 2018).

Mòdul	4
Pas [mm]	12,57
Nº de dents	11
∅ primitiu [mm]	44,01
∅ exterior [mm]	50
∅ interior [mm]	36,5

Taula 5.1. Dimensions pinyó

Com el pinyó té les mateixes característiques de gir que el motor elèctric, aplicant l'equació 11 es troba el valor del parell que proporciona.

$$T_{pinyó} = \frac{P_{motor}}{\omega_{motor}} = \frac{2000}{4300 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 4,44 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

5.2.3 Corona

Un cop determinat el pinyó per implementar, es procedeix a la selecció de la corona més adient, en funció de les característiques de transmissió de potència que s'han comentat anteriorment. Per recordar aquestes característiques, s'ha esmentat que interessa una aproximada a la permessa pels ciclomotors i que el parell sigui elevat, per reduir al mínim els esforços del motor elèctric. Un altre aspecte que cal recordar és que el mòdul de la corona sigui el mateix que el del pinyó, per tenir els mateixos valors en el pas entre dents i poder engranar correctament.

En aquest cas es disposen de 3 corones diferents, i per valorar quina és la més adient s'aplica el mètode del VTP, aleshores es procedeix a definir quins factors són els determinants en aquest mètode.

- Velocitat: Propera a 45 km/h amb càrrega, per tant la velocitat en buit ha de ser superior. És un aspecte que després es pot regular mitjançant el limitador de velocitat.
- Parell: Interessa parell elevat, per augmentar força i reduir esforços del motor, perquè tingui prou força en l'arrencada.
- Implementació: Interessa aprofitar els forats roscats ja existents (\emptyset forats fixació = 64 mm).

Coneixent els factors més determinants a l'hora de seleccionar la corona, es procedeix a definir les dimensions i realitzar els càlculs de relació de transmissió per a cada corona.

El càlcul de les velocitats és en el buit, és a dir, sense tenir en compte les forces que s'oposen a al moviment de rotació, com és la fricció amb el terra. Per tant, els valors calculats són sense càrrega i la velocitat calculada no equival a la velocitat que pot arribar en acció. El càlcul de la velocitat a la que arriba la motocicleta no és realitza per un tema de temps i recursos. Per poder realitzar el càlcul de la velocitat es necessari el diàmetre del pneumàtic, que és de 540 mm.

El percentatge de pèrdues s'especula que es pròxim al 5%, derivat de la tensió en la cadena i la precisió en la mecanització dels engranatges.

	Corona 1	Corona 2	Corona 3
Nº de dents	33	50	52
\emptyset primitiu [mm]	132,04	200,06	208,06
\emptyset exterior [mm]	138,03	206,05	214,05
\emptyset interior [mm]	124,53	192,55	200,55
\emptyset forats fixació [mm]	64	64	100
ω [rpm]	1433,3	946	909,62
V roda buit [km/h]	145,872	96,3	89,68
T buit [N·m]	12,66	19,17	19,95

Taula 5.2. Característiques corones

Amb totes les dades i càlculs de les tres corones diferents, es procedeix a aplicar el mètode del valor tècnic ponderat.

Factors	Pes (g_i)	Corona 1		Corona 2		Corona 3	
		Pes (p_i)	Producte	Pes (p_i)	Producte	Pes (p_i)	Producte
Velocitat	7	2	14	4	28	4	28
Parell	9	2	18	4	36	4	36
Implementació	7	5	35	5	35	2	14
Suma	28		67		99		78
VTP		0,48		0,71		0,56	

Taula 5.3. VTP selecció corona

Finalment mitjançant el mètode de selecció, s'obté que la millor opció de corona per implementar és la corona 2. Com s'ha comentat anteriorment, per optimitzar al màxim l'eficiència de la cadena, s'utilitza un tensor per aquesta.

6. Medi ambient

6.1 Emissions

Els vehicles propulsats generen dos tipus de emissions que es divideixen en les emissions de gasos i les emissions acústiques.

Les emissions de gasos comporten una alteració de l'atmosfera, suposa una desviació de la composició mitjana natural de l'aire. Són emissions que en l'actualitat s'està treballant per reduir, degut a les conseqüències que tenen com l'alteració de la salut humana o de recursos biològics (Gangoletts 2020a).

La generació de les emissions de gasos és diferent segons el mètode de propulsió utilitzat, per poder comparar entre els dos es calcula els kg de CO₂ equivalent que generen. Per calcular-ho, es realitza el producte entre el consum i el factor d'emissió i per conèixer aquest es consulten les llistes del MITECO (MITECO 2020).

El motor de combustió genera emissions en el procés de combustió del combustible que s'evacuen mitjançant el tub d'escapament, per tant, la immissió arriba on circula la motocicleta, en les ciutats.

A diferència del motor de combustió, el motor elèctric genera les emissions en el procés de càrrega de la bateria. Aquestes emissions es generen en el procés de creació d'energia elèctric, és a dir, en les centrals elèctriques i per tant la immissió no es produeix on circula la motocicleta, sinó en les centrals elèctriques. El fet que la immissió no sigui en la ciutat és considera una millora perquè no afecta de manera directa a la salut humana.

A continuació trobem una taula amb els valors d'emissions d'un motor i altre, per veure la millora en l'aspecte ambiental que s'aconsegueix amb la substitució realitzada. El factor d'emissió del motor de combustió equival al factor d'emissió del gasoil sense plom 95 i per el factor d'emissió del BLDC es considera que es té contractat els serveis de ENDESA, ja que el factor d'emissió depèn de la comercialitzadora. En l'annex V es troben els diferents valors per a combustibles.

Motor	Consum	Factor emissió	Kg CO ₂ equivalent
Combustió	5 l	2,065 kgCO ₂ /l	10,325 kgCO ₂ eq.
BLDC	0,806 kWh	0,27 kgCO ₂ /kWh	0,218 kgCO ₂ eq.

Taula 6.1 Emissions CO₂ equivalent

S'observa que les emissions en kilograms de diòxid de carboni equivalent, generades pel motor de combustió, són gairebé quaranta-i-cinc cops més elevades que les generades pel motor elèctric que s'implementa, sense tenir en compte que el de combustió té una major autonomia. En aquest aspecte com es pot apreciar la substitució aporta una millora immensa.

Un cop vista la reducció d'emissions de gasos mitjançant la substitució, es comparen les emissions acústiques entre un motor i l'altre. Per poder realitzar una

comparativa, s'utilitza un sonòmetre i es compara la freqüència sonora (dB A) en funció de la potència que es proporciona al motor. Es posen només dos casos, deguda la dificultat en esbrinar el nivell de tensió o combustible subministrat, per això, es mira la freqüència sonora sense alimentar al motor i posteriorment donant el màxim de potència.

	Motor Combustió [dB A]	Motor elèctric [dB A]
Sense alimentació	74,5	0
Potència màxima	90,04	73,4

Taula 6.2 Comparació freqüència sonora

Centrant-nos en el primer cas, com es veu en les dades obtingudes, el motor elèctric no genera cap freqüència sonora ja que s'atura per complet, en canvi el motor de combustió necessita seguir en funcionament per no permetre el pas del aire i ofegar-se. Si ens fixem en el segon cas, quan es dona la màxima potència, el motor de combustió té un valor de la freqüència sonora més elevat que el motor elèctric, derivat de la forma de funcionar de cada un. Tot i així, el motor elèctric ha arribat a aquest valor degut a les petites vibracions que es generen en el contacte amb el bloc motor.

Com s'ha pogut observar en les dues comparacions anteriors, la substitució d'un motor de combustió per un motor elèctric ha comportat millores en l'àmbit del medi ambient, a partir de la reducció d'emissions generades en comparació amb el motor que tenia.

Pel que fa el tema d'etiquetes ambientals per a la circulació, al implementar aquest motor elèctric, en un cas hipotètic d'homologació de la motocicleta, s'obtidria un certificat conforme aquest vehicle emet zero emissions, podent circular lliurement per aquelles zones de baixes emissions de l'àrea metropolitana de Barcelona (Ajuntament de Barcelona 2020a).

6.2 Gestió de residus

Un cop vistos els diferents elements que conformen aquesta motocicleta i els nous elements que s'han incorporat, cal determinar com s'ha d'actuar un cop aquests arriben al final de la seva vida útil.

Per conèixer com actuar amb els residus en qüestió, primerament s'ha de determinar el tipus de residu que s'està tractant. Un cop classificat es troben dues vies de gestió segons la classificació d'aquest, la primera via de gestió és aplicar un tractament previ a l'eliminació o eliminar el residu directament. L'altre via és valoritzar el residu, donar una segona funció al element abans d'eliminar-lo, tot i que no tots els residus poden ser valoritzats (Gangolells 2020b).

Per determinar el tipus de residu i les possibles vies de gestions aplicables, en aquest cas cal consultar la web del sistema documental de residus de Catalunya (ARC 2020).

En la taula de continuació es troben els diferents elements que constitueixen la motocicleta, la classe de residu segons perillositat, les possibles vies de gestió i la prioritats d'aquestes.

Component	Codi CER	Classe	Prioritat	Via de gestió
Bateria 48V	200133	P	1	R0403/06
ECU	200136	NP	1	R0414
			1	R1201/02/03/05/10
Sistema elèctric	200136	NP	1	R0414
			1	R1201/02/03/05/10
Pneumàtics	160103	NP	1	R0306/14
			2	R0101/02/03
Xassís	160117	NP	1	R1206
			2	R0401/14
Bastidor	160117	NP	1	R1206
			2	R0401/14
Forquilla	160117	NP	1	R1206
			2	R0401/14
Proteccions	160119	NP	1	R0306/14
			2	R0101/02/03
			3	D0502
Materials plàstics	160119	NP	1	R0306/14
			2	R0101/02/03
			3	D0502

Il·lustració 6.1 Taula gestió de residus

Seguint aquestes vies per gestionar els residus generats es disminueix l'impacte en el medi ambient, ja que els residus són tractats per empreses especialitzades inclús el transport es realitza per transportistes certificats en cada residu.

7. Resum de pressupost

En aquesta part del projecte es veu un breu resum del document de pressupost que es realitza. En ell s'hi troben tant els costos tècnics que equival als honoraris per el treball i les hores realitzades i també es troba el cost d'execució, el cost dels diferents components implementats en la motocicleta o els mecanitzats realitzats.

Inicialment es troba la taula amb les hores invertides en cada part del projecte.

Activitat	Duració [hora]	Cost hora [€/hora]	Cost total [€]
Realització del Project Charter	7	12,5	87,5
Cerca d'informació	15	12,5	187,5
Elecció dels elements a incorporar	22	12,5	275
Comparació entre els diferents elements	25	12,5	312,5
Elecció posicionament i implementació dels elements	39	12,5	487,5
Implementació del motor elèctric	15	12,5	187,5
Implementació del sistema elèctric	34	12,5	425
Implementació del sistema de transmissió	15	12,5	187,5
Altres activitats	43	12,5	537,5
Elaboració documents del projecte	85	12,5	1062,5
TOTAL	300	12,5	3750

Taula 7.1 Cost tècnic del projecte

En aquesta altra taula es troba el cost dels diferents components i mecanitzats.

Mòdul	Descripció	cost unitari [€/unitat]	Unitats	Cost [€]
Motor elèctric	Motor elèctric	106,96	1	106,96
	Mecanitzat	20	1	20
	DIN 933 M8x40	0,58	4	2,32
	DIN 125 M8	0,12	8	0,96
	DIN 934 M8	0,12	6	0,72
	TOTAL			
Alimentació	Bateria 48V	400	1	400
	Convertidor DC-DC	67,9	1	67,9
	Fusible	0,22	1	0,22
	Espuma foam	28,46	2	56,92
	DIN 933 M6x10	0,32	4	1,28
	TOTAL			
ECU	ECU i potenciòmetre	47,03	1	47,03
	Interruptor velocitats	11,58	1	11,58
	Espuma foam	28,46	1	28,46
	Membrana	11,87	1	11,87
	DIN 933 M6x10	0,32	4	1,28
	TOTAL			
Sist. Il·luminació	Selector llums	48	1	48
	Interruptor fre	8,7	2	17,4
	Cable Ø4mm	0,42	10	4,2
	Regleta	9,69	2	19,38
	TOTAL			
Sist. Transmissió	Pack transmissió	64,9	1	64,9
	Tensor de cadena	15,69	1	15,69
	TOTAL			
Altres	Eix pedals Ø17mm	40	1	40
	Rodament	2,89	2	5,78
	DIN 471 Ø17mm	0,04	4	0,16
	Esprai primera capa metalls	7,17	2	14,34
	Esprai primera capa plàstic	6,53	1	6,53
	Esprai negre mat	3,19	3	9,57
	TOTAL			
COST TOTAL EXECUCIÓ				1003,45

Taula 7.2 Cost d'execució del projecte

Com s'observa és un cost elevat però justificable, ja que els elements emprats no tenen un baix cost de mercat. Com es pot veure en el gràfic de continuació, el major percentatge del cost d'execució va destinat a l'alimentació del motor i dels circuits elèctrics.

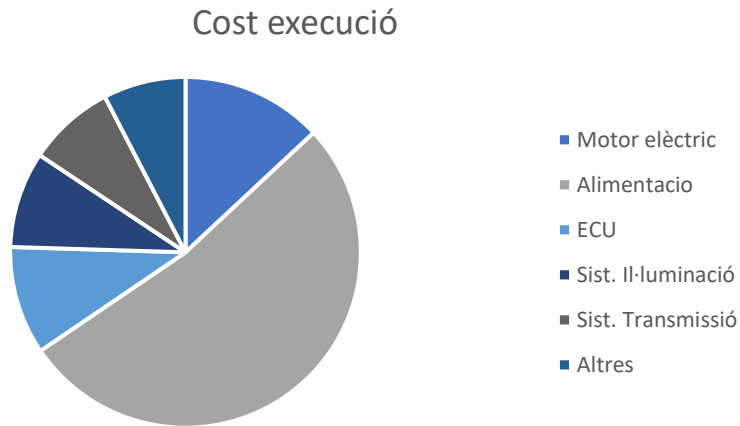


Figura 7.1 Gràfic percentual cost execució ³⁰

³⁰ Font: Pròpia

8. Planificació i programació següent

En aquesta part del projecte es planteja com s'ha de seguir aquest i les possibles activitats posteriors a realitzar.

En aquest projecte com ja s'ha definit no es pretén crear una motocicleta apta per a la circulació, sinó una visió de com podria ser i veure la millor distribució per a electrificar aquestes motocicletes antigues de combustió. Per tant, s'explica com s'hauria de procedir en els tràmits corresponents, tot i que no es portin a terme. Un altre aspecte que impossibilita la realització d'aquestes tasques és l'ús d'un motor i ECU que no són homologats per un tema de qualitat. Són components que per obtenir la certificació de circulació necessiten utilitzar parts electròniques molt fiables.

Per procedir amb la corresponent tramitació de reformes, primer s'hauria de revisar tots els aspectes que s'han modificat o afegit en el ciclomotor en el Real Decret 750/2010, on s'especifiquen les característiques que s'han de complir en la reforma a realitzar.

Un cop comprovat que totes les reformes són correctes, cal tramitar l'informe de conformitat i el certificat del taller que es troben en l'annex II i III del Real Decret 866/2010 per el que es regula la tramitació de les reformes en vehicles. Amb la tramitació i aprovació d'aquests informes, posteriorment cal portar el vehicle a realitzar una inspecció tècnica per part de la DGT, on es verifica que la reforma feta és correcta i es troba dins de la normativa establerta en el Real Decret 2822/1998 per el que es regula el reglament general de vehicles.

Amb aquest seguit de tràmits es podria aconseguir que la substitució i modificació dels diferents components, fos aprovada i apte per a la circulació.

Un cop realitzada la part pràctica, seria convenient realitzar un estudi de càrregues, amb la nova distribució dels pesos en el ciclomotor.

Com s'ha comentat al llarg del treball, la unitat de control del motor és un component que es pot realitzar en un futur. La realització d'aquest component de la motocicleta és una feina molt laboriosa i complicada de realitzar.

Per realitzar aquest component es necessita la part del control motor i el circuit integrat per realitzar les connexions. La part del control motor consisteix en crear el programa mitjançant una programari com per exemple Matlab. Aquest programa conté el conjunt d'instruccions que posteriorment s'implementen en la memòria del circuit integrat. La realització del circuit integrat consisteix en l'estudi i creació de l'estructura d'aquest.

Per tant, la planificació a seguir per la continuació d'aquest projecte seria primerament realitzar el programa amb el conjunt d'instruccions del control motor. Posteriorment es realitzaria el circuit físic d'aquesta unitat de control.

A continuació trobem el diagrama de Gantt per a aquesta tasca futura.

Activitat	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9
Estudi control motor									
Realització programa control motor									
Estudi estructura microcontrolador									
Selecció components electrònics									
Implementació en el circuit									

Taula 8.1 Diagrama Gantt programació següent

9. Conclusions i agraïments

9.1 Conclusions

A l'inici del projecte s'ha establert l'objectiu de dur a terme de forma pràctica la substitució del motor de combustió en una motocicleta antiga per un d'elèctric. Un cop marcat l'objectiu principal, s'ha definit l'abast del projecte i els requeriments d'aquest. A més, com que aquest canvi comporta modificar o implementar altres components en la motocicleta, s'han plantejat les diferents activitats necessàries per dur-ho a terme.

Així mateix, en l'anàlisi de l'estat de l'art s'ha pogut observar la situació actual dels vehicles antics i dels vehicles contaminants, juntament amb les restriccions que se'ls hi ha imposat. També, s'han pogut veure les ajudes i millores que comporta el fet de tenir un vehicle elèctric. A més, pel que fa a l'aspecte legal, cal destacar que no hi ha cap inconvenient en realitzar aquest substitució, sempre i quan es presenti tota la tramitació corresponent i s'utilitzin components homologats per a la circulació. Cal remarcar que la Derbi Variant es considerada un vehicle històric, però ho deixa de ser un cop realitzada la substitució en la forma de propulsió, seguint el Reial Decret 1247/1995 per el que s'aprova el Reglament de vehicles històrics.

Seguidament s'han determinat quins components eren els més indicats, donant especial importància a la selecció del motor elèctric perquè d'aquest depenen altres elements, com la bateria o la unitat de control. Així mateix, s'ha determinat que la millor opció era emprar un motor de 2000 W de potència, ja que, al tractar-se d'un ciclomotor, s'ha cregut que era suficient per a aquest. Cal destacar que un dels reptes més difícils al llarg del projecte ha estat l'estudi per la implementació d'aquest. És a dir, ha resultat complicat pensar una manera per fixar-lo amb seguretat i en la posició correcta, evitant grans modificacions visuals. Això s'ha aconseguit mecanitzant el bloc del motor original a partir d'un forat amb les mesures del diàmetre i les pestanyes del motor elèctric seleccionat. D'aquesta manera, s'ha assolit una implementació fàcil i segura, ja que es troba amb restricció de moviments en totes direccions. A més, aquestes restriccions presenten una alta resistència perquè el bloc motor està format per un aliatge de metalls durs.

Referent a la bateria de 48 V, cal esmentar que s'han contractat els serveis d'una empresa exterior a fi de produir-la amb la forma desitjada i facilitar, per tant, la seva implementació. Cal destacar, però, que l'empresa no ha entregat la bateria en el termini establert; tot i així, s'han pogut realitzar les proves necessàries mitjançant quatre bateries de 12 V connectades en sèrie.

Un altre aspecte clau al llarg del projecte ha estat el sistema elèctric, la seva implementació i posicionament, ja que necessita protegir-se de cops i aïllar-se del exterior. Per aquests motius, tots els components del sistema elèctric es troben posicionats en l'interior del xassís. A l'inici del projecte es va determinar, també, que s'hauria de renovar el sistema d'il·luminació, ja que els seus components no es trobaven o estaven malmesos. Així doncs, s'ha dissenyat un circuit que s'alimenta

amb la mateixa bateria que el motor elèctric, a partir d'un convertidor de tensió DC-DC.

Per realitzar les comprovacions en el funcionament tant del motor com del sistema elèctric, s'han col·locat quatre bateries de 12 V en sèrie, per arribar als 48 V que necessita. S'ha comprovat, doncs, que el motor elèctric rota correctament, la tensió es transmet eficientment per totes les connexions del motor amb la unitat de control electrònic, i la implementació dels engranatges seleccionats ha estat ben feta. Cal esmentar que el funcionament del sistema d'il·luminació també ha funcionat de manera correcta, tot provant les diferents configuracions possibles. Per tant, es pot concloure que el muntatge i la implementació, tant del motor com dels altres components, s'ha portat a terme de forma encertada.

A més, cal destacar la millora aconseguida en l'àmbit de les emissions a partir de la substitució del motor. Així doncs, tant les emissions de gasos com les acústiques s'han vist dràsticament reduïdes, contribuint de forma positiva en el medi ambient i en la reducció de la contaminació atmosfèrica.

A nivell d'activitats que es poden realitzar en un futur, es podria crear la nostra pròpia unitat de control motor. És un projecte molt ambiciós i molt complex de realitzar, ja que s'ha de crear el programari i dissenyar i construir el circuit físic. Cal destacar, però, que aquest últim és econòmicament menys viable, ja que s'han d'utilitzar components fiables i segurs.

En conclusió, s'ha pogut observar que tot funciona correctament, ja que les comprovacions han resultat positives. Per tant, es pot afirmar que s'ha aconseguit complir l'objectiu d'aquest projecte de manera exitosa, ja que el ciclomotor realitza la mateixa funció que anteriorment, però amb una forma de propulsió diferent a la original i amb un nombre reduït d'emissions.

9.2 Agraïments

En primer lloc agrair al meu tutor en Daniel Arumí per portar el meu projecte i sobretot orientar-me en els inicis d'aquest, tot i la situació de pandèmia en la que ens trobem.

Agrair també l'ajuda i suport del meu pare, a l'hora de dur a terme la part pràctica, ja que és un projecte on és difícil treballar sol a l'hora de fer els diferents muntatges necessaris.

10. Bibliografia

AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2020a. Etiquetes ambientals. *àrea metropolitana de Barcelona* [en línia], Disponible en: <https://www.amb.cat/s/web/mobilitat/mobilitat-sostenible/contaminacio-atmosferica/etiquetes-ambientals.html>.

AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2020b. Què és la Zona de Baixes Emissions Rondes Barcelona? *Ecologia, Urbanisme, Infraestructures i Mobilitat* [en línia], Disponible en: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/ca/afectacions-la-mobilitat/que-es-la-zona-de-baixes-emissions-de-barcelona>.

ALARCON, O.E., 2019. *Controlador electrónico de velocidad para cuatro motores sin escobillas de un dron* [en línia]. S.l.: Politècnica Campus Sur. Disponible en: http://oa.upm.es/56555/1/TFG_OMAR_ESTALIN_ALARCON_BALSECA.pdf.

AMAZON, 2020. *Motor BLDC* [en línia]. 2020. Barcelona: s.n. Disponible en: https://www.amazon.es/gp/product/B087LNG3TX/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o08_s00?ie=UTF8&psc=1.

AMIDATA S.A.U., 2020. Peli IM2370-FOAM de densidad media. *RS-Online* [en línia]. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: [https://es.rs-online.com/web/p/rellenos-de-espuma/1111060/?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Almacenaje_%26_Manutención_y_Elevación_Whoop+\(2\)-_\(ES:Whoop%21\)+Rellenos+de+Espuma-_-1111060&matchtype=&pla-304030219120&gclid=CjwKCAiAudD_BRBXEiwAudakX_XS](https://es.rs-online.com/web/p/rellenos-de-espuma/1111060/?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Almacenaje_%26_Manutención_y_Elevación_Whoop+(2)-_(ES:Whoop%21)+Rellenos+de+Espuma-_-1111060&matchtype=&pla-304030219120&gclid=CjwKCAiAudD_BRBXEiwAudakX_XS).

ARC, 2020. CATÀLEG DE RESIDUS DE CATALUNYA. *Sistema documental de residus* [en línia]. [Consulta: 15 diciembre 2020]. Disponible en: https://sdr.arc.cat/sdr/ListGrupsResidus.do?_ga=2.155992179.952571408.1609891259-1904765327.1582977847.

ARUMÍ, D. y ORTEGA, J.A., 2020. Microcontroladors. . UPC:

CICLOS ORTEGA, 2020. Cargador de baterias YME-YEC09. *Baterias y cargadores* [en línia]. [Consulta: 27 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.ciclesortega.com/cargadores-y-sus-accesorios/3345-cargador-y-mantenedor-de-baterias-yme-yec09-eu-00-yec-9-original-yamaha-8945080270542.html>.

COLLINS, D., 2018. What are wound field motors and where are they applied? *Motion control tips* [en línia], Disponible en: <https://www.motioncontroltips.com/what-are-wound-field-motors-and-where-are-they-applied/>.

COMERCIAL MARTÍNEZ, 2020. Interruptor de luces Leonelli Universal. *Mando de luces* [en línia]. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.comercialmartinez.com/spa/item/9954074.html>.

COMPANÍA LEVANTINA DE REDUCTORES, 2016. Diferencias entre motores con escobillas y brushless – Blog CLR. [en línia]. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/diferencias-motores-con-escobillas-brushless/>.

DE DIEGO, R., 2018. Engranajes. *Polamalu* [en línia], Disponible en: <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>.

DERBI, 2020. MÁS DE 90 AÑOS DE PASIÓN POR LAS MOTOS. *Marca Derbi* [en línia]. [Consulta: 20 octubre 2020]. Disponible en: http://www.derbi.com/es_ES/marca/.

ELEKTRUN CARS, 2016. Homologar en España.. el gran paso. *Blog transformar coche a elèctrico*

[en línea]. [Consulta: 18 octubre 2020]. Disponible en: <http://elektron.com/homologar-en-espana-el-gran-paso/>.

ENTABAN SUBMINISTROS INDUSTRIALES, 2020. Tornilleria. *Productos* [en línea]. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://entaban.es/33-tornilleria>.

FREIRE, J., 2019. Transmissió de potència. . UPC:

GANGOLELLS, M., 2020a. Contaminació atmosfèrica. . UPC:

GANGOLELLS, M., 2020b. Gestió de residus. . UPC:

GOVERN D'ESPANYA, 1995. *REAL DECRETO 1247/1995, de 14 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Vehículos Históricos* [en línea]. 1995. Spain: BOE. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1995/08/09/pdfs/A24645-24648.pdf>.

GOVERN D'ESPANYA, 1998. *Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos* [en línea]. 1998. Spain: BOE. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/BOE-A-1999-1826-consolidado.pdf>.

GOVERN D'ESPANYA, 2010a. *Real decret 750/2010, de 4 de juny, pel qual es regulen els procediments d'homologació de vehicles de motor i els seus remolcs, màquines autopropulsades o remolcades, vehicles agrícoles, així com de sistemes, parts i peces d'aquests vehicles* [en línea]. 2010. Spain: BOE. Disponible en: https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2010/06/24/pdfs/BOE-A-2010-9994-C.pdf.

GOVERN D'ESPANYA, 2010b. *Real decret 866/2010, de 2 de juliol, pel qual es regula la tramitació de les reformes de vehicles* [en línea]. 2010. Spain: BOE. Disponible en: https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2010/07/14/pdfs/BOE-A-2010-11154-C.pdf.

HDI BATTERY, 2020. HDI Battery. Soluciones para todo tipo de baterías. *Baterías* [en línea]. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.hdibattery.com/>.

HERNÁNDEZ, F., HERNÁNDEZ, V., OCHOA, M. y FONT, J., 2008. *Ingeniería gráfica. Introducción a la normalización*. 3rd. UPC: UCP. ISBN 84-609-4659-2.

ILES, 2013. Champ magnétique au centre d'une bobine. *iLES* [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <https://owl-ne.ch/mod/page/view.php?id=605&forceview=1>.

MACARULLA, M., 2020. Mètodes d'avaluació d'opcions. . UPC:

MARTÍN, J., 2019. Retrofit, o cómo transformar un coche gasolina o diésel en eléctrico: cuánto cuesta y quién lo hace en España. *motorpasion* [en línea]. [Consulta: 18 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/retrofit-como-transformar-coche-gasolina-diesel-electrico-precio-quien-hace-espana-ri>.

MATHEW, S., 2013. Brushless DC Motor, How it works ? *Learn engineering* [en línea], Disponible en: <https://learnengineering.org/brushless-dc-motor.html>.

MCCRATE, M., 2018. Full Comprehensive Complete wiring guide and review for a 48 Volt 1800 Watt Brushless DC motor (BLDC) with hall sensors and 33 Amp 1800 Watt sensed controller • motor model my1020 BLDC • controller model BY15WF01-A. [en línea]. London: Disponible en: <https://mcmptk.files.wordpress.com/2018/12/wiring-guide.pdf>.

MITECO, 2020. FACTORES DE EMISIÓN. [en línea]. Madrid: Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf.

MOTORES NICHESE, 2019. Motores C.C. *Motor eléctrico* [en línea]. [Consulta: 10 octubre

2020]. Disponible en: <http://motores.nichese.com/motor cc.htm>.

PONS, A., 2018. Magnetimse, inducció i electromagnetisme. . UPC:

RODRIGUEZ, A., 2013. Plan De Mejoramiento (Yaki Hortua). *Bing* [en línea]. [Consulta: 24 noviembre 2020]. Disponible en:
<http://plandemejoramientoyaki.blogspot.com/2013/08/4.html>.

RODRÍGUEZ, H., 2020. Transmisión por Cadenas Cálculo y diseño. [en línea]. Sevilla: Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>.

SOLÀ, J., 2012. Las Escobillas de Calidad y con Seguridad. *Ferreteria Jumilla Solà* [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en:
<https://ferreteriajumillasola.wordpress.com/2012/08/17/escobillas-calidad-seguridad-y-prestigio/>.

TASHAKORI, A. y EKTESABI, M., 2014. Position Sensors Fault Tolerant Control System inBLDC Motors. *Researchgate*.

TNAIRAV, 2019. Esquema electrico Derbi Variant. *Amoticos* [en línea]. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.amoticos.org/t10262-esquema-electrico-derbi-start-3>.

WARWICK DEPARTMENT OF PHYSICS, 2020. Hall Effect Measurements. *Warwick* [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2020]. Disponible en:
<https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/postgraduate/regs/mpagswarwick/ex5/techniques/electronic/hall-effect/>.