



# Projecte de disseny mecànic i electrònic d'un cotxe teledirigit

Document:

Memòria

Autor:

Iván Castro Rosales

Director - Codirector:

Jordi Sans / Manuel Lamich

Titulació:

Doble Grau en Enginyeria Mecànica i Electrònica  
Industrial i Automàtica

Convocatòria:

Tardor, 2023

TREBALL DE FI D'ESTUDIS



## Resum

Aquest projecte es centra en el sector del automodelisme. No es concreta per una categoria en particular ja que es pretén dissenyar un vehicle per a l'oci més que per a la competició.

El cotxe a dissenyar farà servir un motor elèctric donat que el sistema és més senzill que un vehicle propulsat amb un motor de combustió.

Al tractar-se d'un projecte per un doble grau (mecànica i electrònica), es buscarà treballar en àmbits d'ambdues titulacions:

Per una part, es farà el disseny mecànic del xassís i del sistema de direcció i tracció del vehicle, escollint un motor del mercat i tractant de fer la fabricació del producte en impressió 3D, una tecnologia en creixement i a l'abast del públic general.

En quant a la part electrònica, es busca crear un sistema de comandament alternatiu al radio control actual. A més, també es farà el disseny d'un sistema d'adquisició de dades extern, dissenyat amb Arduino, per completar el disseny del vehicle amb un recull de dades durant les sessions de funcionament.



## Abstract

This project is focused on model cars sector. It doesn't fit in any particular category because it intends to create a vehicle design which scope is recreation rather than competition.

The designed car will use an electric engine due to the simplicity in front of a vehicle with combustion engine.

As this is a double degree project (mechanics and electronics), it will have work in fields on both of them:

On one hand, the mechanic field will be about designing the chassis and the direction and traction systems of the vehicle, choosing one engine of the market. In addition, the manufacturing of the car will be with 3D printing, due to be a growing technology and available for almost everyone.

On the other hand, in the electronic part, it's wanted to create an alternative system to the one established (radio control). In addition, it will be created an external data acquisition system, designed with Arduino, to complete the vehicle's design with an additional system that can catch up with some data on a session.

# Índex

Resum.....	2
Abstract .....	3
Glossari .....	10
1. Introducció .....	11
1.1. Objecte .....	11
1.2. Abast .....	11
1.3. Requeriments.....	11
1.4. Justificació.....	12
2. Antecedents i revisió de l'estat de l'art .....	13
2.1. Història dels vehicles teledirigits .....	13
2.2. Tipus de cotxes teledirigits.....	15
2.3. Components d'un cotxe teledirigit elèctric .....	17
2.3.1. Xassís .....	17
2.3.2. Suspensió.....	19
2.3.3. Neumàtics.....	21
2.3.4. Servo .....	23
2.3.5. Motor elèctric .....	25
2.3.6. ESC .....	27
2.3.7. Transmissió .....	28
2.3.8. Bateria .....	31
2.3.9. Comunicació.....	36
2.3.10. Microcontrolador.....	45
2.4. Sistema d'adquisició de dades.....	47
3. Metodologia .....	48
4. Plantejament i decisió sobre solucions alternatives.....	49
4.1. Requisits a complir.....	49
4.2. Anàlisi de solucions alternatives .....	49
4.2.1. Xassís .....	49
4.2.2. Suspensió.....	51
4.2.3. Neumàtics.....	52
4.2.4. Servo .....	53
4.2.5. Direcció .....	54
4.2.6. Motor.....	55
4.2.7. ESC .....	56
4.2.8. Transmissió .....	57
4.2.9. Comunicació.....	58
4.2.10. Microcontrolador.....	59

4.2.11.	Adquisició de dades .....	60
5.	Desenvolupament de la solució escollida.....	61
5.1.	Disseny electrònic .....	61
5.1.1.	Servomotor .....	62
5.1.2.	Motor.....	63
5.1.3.	Combinació servo i motor .....	67
5.1.4.	Control remot .....	68
5.2.	Adquisició de dades .....	72
5.2.1.	Sensor de temperatura .....	72
5.2.2.	Acceleració.....	73
5.2.3.	GPS .....	76
5.2.4.	Mòdul SD .....	78
5.2.5.	Sistema complet .....	80
5.3.	Disseny mecànic.....	82
5.3.1.	Transmissió .....	82
5.3.2.	Direcció .....	95
5.3.3.	Rodaments.....	96
5.3.4.	Disseny 3D .....	97
5.4.	Impressió 3D .....	103
5.5.	Muntatge .....	105
5.6.	Test .....	107
6.	Resum del pressupost.....	108
7.	Anàlisi i valoració de les implicacions ambientals i socials.....	110
8.	Conclusions .....	111
9.	Planificació i treball futur proposat.....	112
9.1.	Planificació.....	112
9.2.	Treball futur proposat.....	114
10.	Referències bibliogràfiques.....	115

## Índex de taules

Taula 1: Comparació propietats materials [58][59][60][61] .....	18
Taula 2: Sentit de gir en funció de l'amplada de pols [18] .....	24
Taula 3: Comparació motor brushless i brushed [21].....	26
Taula 4: Funcions d'un ESC programable [28] .....	27
Taula 5: Característiques bateries Ni-Cd [34] .....	31
Taula 6: Característiques bateries Ni-Mh [34] .....	32
Taula 7: Característiques bateries Li-Ió [34] .....	33
Taula 8: Característiques bateries LiPo [34] .....	35
Taula 9: Comparativa entre AM i FM [107].....	36
Taula 10: Versions WiFi [42][43][45] .....	39
Taula 11: Versions Bluetooth [38][39][40][41].....	40
Taula 12: Versions xarxes mòbils [51][52][53][54][55][56][57] .....	43
Taula 13: Comparativa entre mètodes de comunicació .....	44
Taula 14: Propietats plàstics impressió 3D.....	50
Taula 15: Comparació de processos de producció .....	50
Taula 16: Descripció pins BTS7960 [110] .....	64
Taula 17: Funcions app 1 .....	69
Taula 18: Funcions app 2 .....	70
Taula 19: Informació enviament app 2 [114] .....	71
Taula 20: Descripció pins MPU-6050 [68] .....	73
Taula 21: Descripció pins GPS [71] .....	76
Taula 22: Descripció pins lector SD [69].....	78
Taula 23: Connexió pins lector SD [70].....	79
Taula 24: Resultats càlcul dents engranatges .....	84
Taula 25: Resultat càlculs sistema pinyó-corona .....	85
Taula 26: Resultats càlcul sistema d'engranatges de 2 etapes .....	86
Taula 27: Dades sistema d'engranatges de 2 etapes comercial.....	87
Taula 28: Resultat càlcul de forces als engranatges .....	89
Taula 29: Límit elàstic materials[61][58].....	90
Taula 30: Resultat càlcul de tensió a flexió dels engranatges .....	90
Taula 31: Resultat càlcul diàmetre mínim eix d'entrada.....	92
Taula 32: Resultat càlcul diàmetre mínim eix intermedi.....	93
Taula 33: Resultat càlcul diàmetre mínim eix de sortida .....	94
Taula 34: Coeficients de fricció [90].....	95
Taula 35: Resultat càlcul moment de gir roda.....	96
Taula 36: Resultat càlcul de rodaments.....	96
Taula 37: Peces d'impressió 3D.....	104
Taula 38: Cost realització projecte .....	108
Taula 39: Cost peces cotxe teledirigit.....	108
Taula 40: Cost DAQ.....	109
Taula 41: Cost final cotxe teledirigit .....	109
Taula 42: Cost final projecte amb IVA .....	109
Taula 43: Consum energètic .....	110
Taula 44: Tasques a realitzar durant el projecte .....	112

## Índex d'imatges

Imatge 1: Primer vehicle teledirigit [1] .....	13
Imatge 2: Big Guff, dels germans Good [1] .....	13
Imatge 3: Cotxe radio control de Hasbro [1] .....	14
Imatge 4: RC10 de Team Associated [1] .....	14
Imatge 5: Motor DC brushed [95] .....	15
Imatge 6: Motor Nitro [94] .....	15
Imatge 7: Buggy [96] .....	16
Imatge 8: Fórmula [97] .....	16
Imatge 9: Rally [98] .....	16
Imatge 10: Monster Truck [99] .....	16
Imatge 11: Xassís de plàstic [20] .....	17
Imatge 12: Xassís de plàstic reforçat [20] .....	18
Imatge 13: Xassís d'alumini [20] .....	18
Imatge 14: Xassís de fibra de carboni [20] .....	18
Imatge 15: Suspensió d'un cotxe teledirigit [6] .....	19
Imatge 16: Parts d'un amortidor [7] .....	19
Imatge 17: Dibuixos del neumàtic [100] .....	21
Imatge 18: Farciment rodes [9] .....	22
Imatge 19: Servomotor [17] .....	23
Imatge 20: Posicions segons PWM [18] .....	24
Imatge 21: Freqüència de polsos [18] .....	24
Imatge 22: Diferència entre brushed i brushless [101] .....	26
Imatge 23: ESC per motor brushless [102] .....	27
Imatge 24: Transmissió per corretges [31] .....	28
Imatge 25: Tipus d'engranatges [31] .....	28
Imatge 26: Paràmetres d'un engranatge [31] .....	29
Imatge 27: Caixa d'engranatges amb diferencial [31] .....	30
Imatge 28: Bateria Ni-Cd [103] .....	31
Imatge 29: Bateria Ni-Mh [104] .....	32
Imatge 30: Bateria Li-Ió [105] .....	33
Imatge 31: Bateria LiPo [106] .....	35
Imatge 32: Diferència entre AM i FM [107] .....	36
Imatge 33: Cristalls per radio control [108] .....	37
Imatge 34: Logo WiFi Alliance [43] .....	38
Imatge 35: Logo Bluetooth SIG [41] .....	39
Imatge 36: Cèl·lules de xarxa mòbil [51] .....	42
Imatge 37: Esquema d'un microcontrolador .....	45
Imatge 38: Diferència entre l'arquitectura Von Neumann i Harvard [109] .....	46
Imatge 39: Funcionament DAQ .....	47
Imatge 40: Bobina de PLA [117] .....	50
Imatge 41: Tipus de suspensió [116] .....	51
Imatge 42: Roda coche RC .....	52
Imatge 43: Servo MG90S .....	53
Imatge 44: Disposició 1 direcció .....	54
Imatge 45: Disposició 2 direcció .....	54
Imatge 46: Disposició 3 direcció .....	54
Imatge 47: Motor Mabuchi .....	55
Imatge 48: Característiques motor Mabuchi .....	55
Imatge 49: BTS7960 [110] .....	56
Imatge 50: Tracció posterior [118] .....	57
Imatge 51: Tracció total [120] .....	57
Imatge 52: Transmissió per corretja [119] .....	57

Imatge 53: HC-05 [111] .....	58
Imatge 54: Arduino Uno [112] .....	59
Imatge 55: Arduino Nano [113] .....	60
Imatge 56: Esquema connexió motor i servo .....	61
Imatge 57: Esquema connexió servo.....	62
Imatge 58: Esquema pont en H [63].....	63
Imatge 59: Funcionament pont en H dreta [63] .....	63
Imatge 60: Funcionament pont en H esquerre [63].....	63
Imatge 61: Gir motor dreta [63].....	63
Imatge 62: Gir motor esquerre [63].....	63
Imatge 63: Pins de connexió BTS7960 .....	63
Imatge 64: Funcionament pont en H segons PWM [64] .....	64
Imatge 65: Esquema connexió motor.....	65
Imatge 66: Esquema connexió motor amb joystick .....	66
Imatge 67: Esquema connexió servo i motor amb joystick i potencíometre.....	67
Imatge 68: Esquema de connexió final motor i servo .....	68
Imatge 69: App 1 .....	68
Imatge 70: Relació d'instruccions i caràcters enviats .....	69
Imatge 71: App 2 .....	70
Imatge 72: Modificació de paràmetres des d'app .....	71
Imatge 73: Esquema de connexió sensor temperatura .....	72
Imatge 74: Pins MPU-6050 [68].....	73
Imatge 75: Esquema de connexió MPU-6050.....	74
Imatge 76: Dades de l'MPU-6050 .....	74
Imatge 77: Gràfic de l'MPU-6050.....	75
Imatge 78: Pins GPS [71].....	76
Imatge 79: Esquema de connexió GPS .....	76
Imatge 80: Dades del GPS .....	77
Imatge 81: Pins del lector SD [69].....	78
Imatge 82: Esquema Master-Slave [70] .....	79
Imatge 83: Esquema de connexió lector SD .....	79
Imatge 84: Lectura targeta SD.....	80
Imatge 85: Esquema de connexió sistema DAQ complet .....	80
Imatge 86: Lectura targeta SD sistema DAQ complet .....	81
Imatge 87: Taula de transmissions segons pinyó i corona [121].....	82
Imatge 88: Circuit Off-Road [122].....	83
Imatge 89: Circuit On-Road [123] .....	83
Imatge 90: Característiques d'una dent d'engrenatge [124].....	84
Imatge 91: Pinyó (14T) - Corona (70T).....	85
Imatge 92: Sistema d'engrenatges [79].....	86
Imatge 93: Sistema d'engrenatges calculat.....	86
Imatge 94: Sistema d'engrenatges comercial .....	87
Imatge 95: Forces d'un engranatge [84] .....	88
Imatge 96: Forces entre dos engranatges [84].....	88
Imatge 97: Esquema aproximat de les forces que actuen entre els engranatges .....	89
Imatge 98: Factor de Lewis [83] .....	90
Imatge 99: Esquema eix d'entrada.....	92
Imatge 100: Diagrama de forces .....	92
Imatge 101: Esquema eix intermedi.....	93
Imatge 102: Diagrama de forces .....	93
Imatge 103: Esquema eix de sortida .....	94
Imatge 104: Diagrama de forces .....	94
Imatge 105: Esquema eix de direcció .....	96
Imatge 106: Vista inferior del xassís .....	97
Imatge 107: Vista en detall de les ranures del xassís.....	97



Imatge 108: Vista en detall dels orificis per la direcció .....	98
Imatge 109: Xassís amb les parets laterals .....	98
Imatge 110: Peces flexibles de la transmissió .....	99
Imatge 111: Laterals de la transmissió .....	99
Imatge 112: Protecció del motor .....	99
Imatge 113: Para-xocs .....	100
Imatge 114: Direcció .....	100
Imatge 115: Orificis per cargolar l'Arduino .....	101
Imatge 116: Suports elements electrònics .....	101
Imatge 117: Suport per la carcassa davanter .....	102
Imatge 118: Suport per la carcassa del darrere .....	102
Imatge 119: Paràmetres PLA .....	103
Imatge 120: Paràmetres TPU .....	103
Imatge 121: Disposició 1 impressió 3D .....	104
Imatge 122: Disposició 2 impressió 3D .....	104
Imatge 123: Disposició 3 impressió 3D .....	104
Imatge 124: Disposició 4 impressió 3D .....	104
Imatge 125: Xassís amb parets laterals .....	105
Imatge 126: Muntatge transmissió .....	105
Imatge 127: Eix de la roda .....	105
Imatge 128: Direcció .....	106
Imatge 129: Cotxe teledirigit complet .....	106
Imatge 130: Dades recollides pel sistema d'adquisició de dades .....	107
Imatge 131: Diagrama de Grantt inicial .....	113
Imatge 132: Diagrama de Grantt final .....	113

## Glossari

- **CAD:** Disseny Assistit per Computador
- **Setup:** Posada a punt del cotxe
- **4WD:** Tracció a les 4 rodes
- **2WD:** Tracció a dos rodes
- **On-Road:** Per dins de l'asfalt/pista
- **Off-Road:** Per fora de l'asfalt/pista (sorra, camins, etc)
- **GT:** Categoria de cotxes Gran Turisme
- **Rally:** Categoria de cotxes que corren per trams de pista o de sorra
- **Drift:** Categoria de cotxes que consisteix en fer derrapatges
- **Monster Truck:** Cotxe tot terreny amb rodes de grans dimensions i suspensions de molt recorregut
- **Crawler:** Tot terrenys similars als de la vida real. Destinats a travessar terrenys escarpats
- **Grip:** Adherència dels neumàtics amb el terreny
- **Slicks:** Neumàtics llisos
- **Duresa Shore:** Escala de mesura de la duresa elàstica dels materials
- **PWM:** Modulació d'amplada de polsos
- **ESC:** Control de Velocitat Electrònic
- **BEC:** Circuit Eliminator de Bateria. Un regulador de voltatge.
- **AM:** Amplitud Modulada
- **FM:** Freqüència Modulada
- **DSS:** Compartició Dinàmica de l'espectre. Permet alternar l'ús de l'espectre radioelèctric
- **PPM:** Modulació per posició de polsos
- **Hotspot:** Localització on es poden connectar dispositius per accedir a internet
- **EDR:** Detecció i resposta de punt final. Tecnologia de ciberseguretat de Bluetooth
- **SSP:** Emparellament Simple Segur. Protocol de seguretat de Bluetooth
- **HS:** High Speed. Canal Bluetooth basat en WiFi
- **BLE:** Bluetooth de baix consum
- **EATT:** Protocol d'atribut millorat. Millora l'enviament de dades per Bluetooth
- **IoT:** Internet de les coses
- **UHF:** Freqüència Ultra Alta
- **DAQ:** Sistema d'adquisició de dades
- **CPU:** Unitat Central de Processament
- **ROM:** Memòria de lectura
- **RAM:** Memòria d'accés aleatori
- **LMDh:** Categoria de cotxes Le Mans Daytona Hypercar
- **FDM:** Modelatge per deposició fosa. Tecnologia d'impressió 3D
- **I2C:** Protocol de connexió entre dispositius
- **NMEA:** Associació Nacional d'Electrònica Marina. Referent al format de dades GPS
- **Bus SPI:** Bus d'Interface Perifèrica Serial. Bus de connexió de 4 fils
- **STL:** Format d'arxiu CAD usat normalment per impressió 3D. *Standard Tessellation/Triangle Language.*

# 1. Introducció

## 1.1. Objecte

En aquest projecte l'objectiu principal es dissenyar la part electrònica i la part mecànica d'un cotxe teledirigit.

En quant a l'electrònica del vehicle, es farà un anàlisi de les diferents opcions de comunicació inalàmbrica disponibles per tal de trobar una alternativa a la comunicació actual. També es farà el desenvolupament del software i hardware necessari. Finalment, es dissenyarà un sistema d'adquisició de dades per a la conducció del vehicle.

Per la part mecànica es farà el disseny del xassís i del mecanisme de transmissió mitjançant un programa de CAD. També es farà càlcul d'esforços i de dimensionat de la transmissió, tant engranatges com eixos. Finalment, els components dissenyats seran fabricats amb impressió 3D.

## 1.2. Abast

A simple vista, un cotxe teledirigit, pot semblar un artefacte sense gaire complicació. Tanmateix, ens trobem davant vehicles que poden arribar a tenir un nivell de complexitat semblant a un cotxe real. Aquests cotxes, a nivell de competició, poden arribar a tenir la de fer modificacions en parts mecàniques i electròniques (*set up*), per tal de millorar el rendiment segons la pista on es troben.

Es per això que hem de considerar que aquesta classe de vehicles tenen darrera importants estudis d'enginyeria en diferents camps com poden ser l'aerodinàmica, suspensions, materials, transmissions, electrònica, elèctrica i d'altres. És necessari acotar el treball als àmbits en els que treballarem.

El projecte es centrarà principalment en les àrees de mecànica i electrònica. Concretament en el disseny 3D i prototipat a nivell mecànic. A nivell electrònic es farà especial atenció al control de motors i adquisició de dades.

Altres camps com pot ser la incidència aerodinàmica al vehicle o les suspensions quedarà en un segon pla.

Cal destacar que aquest projecte obre les portes a altres branques de l'enginyeria que poden aprofundir en altres aspectes que no es tractaran en aquest treball.

## 1.3. Requeriments

Per la realització d'aquest projecte és important tenir alguns coneixements previs.

En concret serà necessari tenir nocions bàsiques sobre Arduino i els mòduls que se li poden incorporar. Això implica també saber programació, sobretot C, que és el llenguatge en el que es basa aquest microcontrolador.

En quant a la part mecànica serà necessari saber fer servir programes de CAD com SolidWorks o Catia. També serà essencial entendre les propietats mecàniques dels materials.

El vehicle haurà de ser funcional amb el sistema de transmissió inalàmbrica escollit en el transcurs del treball. També haurà de disposar d'alguns sensors per fer una recollida de dades.



## 1.4. Justificació

L'elecció d'aquest treball prové d'un interès personal pel món de l'automobilisme i del radio control.

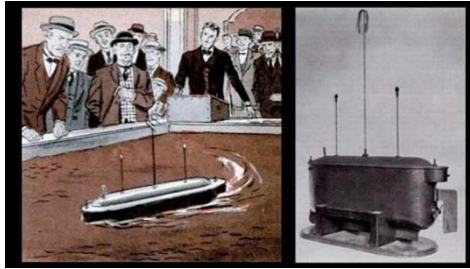
Es buscava realitzar un treball conjunt per la doble titulació, i considerant l'interès en els àmbits anteriors, es va creure que un projecte d'aquest tipus era perfecte per veure com el treball de les dues titulacions es complimentava i anava de la mà per crear un producte complet i funcional, fent ús de les dues disciplines.

## 2. Antecedents i revisió de l'estat de l'art

### 2.1. Història dels vehicles teledirigits

A l'actualitat, és molt senzill trobar vehicles teledirigits a tot tipus d'establiments. Ja siguin centres especialitzats, botigues de joguines o grans superfícies comercials. Fins i tot, es pot crear un a casa amb pocs materials. Però per treballar en aquest camp, cal tenir una petita idea de la seva història.

Per trobar referències al primer vehicle teledirigit cal anar més de cent anys enrere. Nikola Tesla, l'any 1898, va presentar al Madison Square Garden el primer vehicle teledirigit. Consistia en un petit vaixell comandat remotament.



*Imatge 1: Primer vehicle teledirigit [1]*

A més, el mateix any, el propi Tesla, va crear una patent d'un vehicle no tripulat, un concepte que anys més tard es coneixeria com a dron. Es per aquestes invencions que Nikola va ser tot un revolucionari de finals del segle XIX en quant als vehicles telecomandats per ones elèctriques.

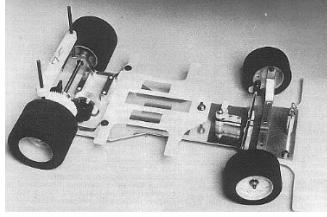
Al 1937, el primer avió radio control, el "Big Guff", va fer el seu primer vol. Tanmateix, no va ser fins després de la Segona Guerra Mundial que van començar els avenços en aquest camp. Degut al desenvolupament militar, es van començar a crear dispositius comandats a distància com míssils o tancs.



*Imatge 2: Big Guff, dels germans Good [1]*

Tots aquests avenços van fer possible la invenció del transmissor i el receptor, capaços d'establir estats de moviment per cada senyal rebuda. A l'ús conjunt de transmissor i receptor, se'l va anomenar Telekino, "moviment a distància".

Al 1950, la famosa empresa Hasbro va crear uns automòbils controlats a distància. Estaven pensats per ser una eina de pastura, però els grangers van rebutjar aquesta tecnologia. Des del departament d' I+D dedicat a la creació de joguines, es va veure un gran potencial en aquest producte. Per tant, el van adoptar, fent-lo més petit i més atractiu per als nens.



*Imatge 3: Cotxe radio control de Hasbro [1]*

A mitjans dels 50, es va inventar el transistor, fent possible la reducció de la grandària de les emissores i reduint també el consum de les mateixes. Gràcies a aquesta invenció, va començar la transmissió multicanal, fent possible controlar diferents paràmetres a l'hora. (Direcció, acceleració, etc)

En els anys 60 van començar a comercialitzar-se els primers cotxes teledirigits (RC) per al públic general. Arribaven en format de kits, és a dir, incloïen comandament i el cotxe.

Però la veritable evolució dels cotxes RC va arribar a la dècada dels 70, on van començar a vendre's els primers cotxes *off-road*. Des de llavors, també comencen a comercialitzar amb accessoris i carrosseries extres per aquest nou *hobby*.

Al 1984 apareix l'RC10, de *Team Associated*, considerat el primer cotxe radio control elèctric de la història.



*Imatge 4: RC10 de Team Associated [1]*

Cap a finals del segle XX, l'avenç de la tecnologia permet crear emissores amb una radiofreqüència de 2,4GHz, evitant interferència entre emissores. Aquesta tecnologia és la més utilitzada a dia d'avui.

## 2.2. Tipus de cotxes teledirigits

Actualment hi ha molts tipus de cotxes teledirigits al mercat, per tant, és important fer una distinció. Aquests vehicles poden ser categoritzats segons:

- **Escala:**

Determina la grandària dels vehicles. Normalment són les següents:

$1/4$                        $1/6$                        $1/8$                        $1/10$                        $1/16$

Quan més petit es un cotxe, més llisa i petita ha de ser la superfície per la que circuli, mentre que si és més gran, pot anar per terrenys més irregulars i necessitarà d'una superfície major.

- **Tracció:**

Els vehicles poden ser tracció a les quatre rodes (4WD) o tracció posterior (2WD o RWD). Els vehicles 4x4 solen ser més pesats i consumeixen més energia. Això es deu a que es propulsen les quatre rodes, per tant, el consum del motor és major i la complexitat mecànica augmenta.

Un vehicle amb tracció posterior, tot i tenir una complexitat i un consum reduït de la bateria, presenta alguns inconvenients. L'acceleració és bona i la inèrcia del vehicle fa que el pes es mogui cap endarrere, assegurant una bona adherència posterior. Tanmateix, aquest punt positiu pot arribar a ser negatiu a les corbes, on si les rodes posteriors giren a una velocitat major, pot fer que el vehicle sigui inestable i és més fàcil patir sobreviratge.

- **Sistema de propulsió:**

La propulsió d'aquests vehicles pot ser mitjançant motors de combustió o motors elèctrics. Els de combustió són més potents i les velocitats solen ser més altes, però també són més cars. Per altra banda, els motors elèctrics presenten una gran acceleració i poden arribar a bones velocitats. Aquests últims es poden dividir en *brushless* o *brushed*, que s'explicarà més endavant en el treball.



Imatge 5: Motor DC brushed [95]



Imatge 6: Motor Nitro [94]

- **Terreny:**

Cal diferenciar entre els cotxes que estan destinats a rodar en pistes de ciment o asfalt (*On-Road*) d'aquells vehicles pensats per córrer per qualsevol tipus de terreny (*Off-Road*).

Un vehicle d'*Off-Road* té una suspensió molt més complexa que un cotxe de pista. Els tot terreny han de poder suportar els impactes de salts i d'un terreny irregular, mentre que els de pista roden per superfícies més llises i regulars.

- **Tipus de vehicles:**

El tipus de vehicle normalment ve condicionat pel tipus de terreny on circula. En pista es pot diferenciar entre Fòrmules, GTs, *Rally* o *Drift*.

En el cas de cotxes tot terreny hi ha els *buggys*, que solen ser els més populars, els *Monster Truck* i *Crawlers* (tipus Rover) entre d'altres.



*Imatge 7: Buggy [96]*



*Imatge 8: Fòrmula [97]*



*Imatge 9: Rally [98]*



*Imatge 10: Monster Truck [99]*



## 2.3. Components d'un cotxe teledirigit elèctric

Els cotxes teledirigits, tant de benzina com elèctrics, tenen molts elements en comú que s'exposaran a continuació. Tanmateix, hi ha elements únics en ambdós tipus. Per exemple, en el cas d'un cotxe teledirigit de benzina s'incorpora un motor de combustió, mentre que en l'elèctric el motor s'alimenta per energia elèctrica. Es per això, que en aquest apartat s'explicaran molts elements comuns entre ambdós tipus de vehicles, però també hi haurà altres elements usats únicament en els cotxes elèctrics:

### 2.3.1. Xassís

El xassís és un dels components més importants. La seva funció es la de subjectar tota la resta de components del vehicle i permetre la connexió entre ells. Una de les claus del disseny del xassís es una bona distribució dels components, així com tenir en compte el pes dels mateixos. D'aquesta manera, s'assegura que al muntar tots els elements, si s'ha fet un bon repartiment de pes, el vehicle serà molt més estable. El xassís també s'encarrega de connectar les rodes amb el sistema de propulsió i direcció.

Aquest component ha de suportar les càrregues i tensions que deriven de les condicions del terreny per on es circula. També pateix les tensions provocades per la frenada i acceleració, així com tensions laterals a l'hora de fer girar el cotxe.

Per tot el que s'ha comentat anteriorment, el xassís aporta rigidesa al cotxe. És important que sigui un element robust ja que un mal disseny pot derivar en una ruptura del xassís i pot arribar a malmetre altres components. També defineix la forma del vehicle, per tant, no serà el mateix dissenyar l'estructura per un GT, un Fòrmula o un *Crawler*.

En el sector dels cotxes teledirigits, trobem diferents tipus de xassís. El més comú és un xassís d'una sola peça, tot i que en el mercat podem trobar cotxes amb l'estructura dividida en dos i unida per un amortidor. Aquest disseny millora l'agilitat del cotxe però és més complex i perd robustesa en front d'un xassís d'una sola peça. És més adient per cotxes preparats per circular per pista.

Un altre aspecte a tenir en compte a l'hora de dissenyar el xassís és el material del mateix. Cada material aporta unes propietats o altres. Aquests són els materials més utilitzats:

- **Plàstic:** És el material més habitual. La seva fabricació sol ser per injecció i permet fabricar grans lots a preus reduïts, es per això que és el més utilitzat. Un altre manera de fabricar un xassís de plàstic és mitjançant tecnologia additiva com ara impressió 3D. Es tracta d'un material durader, però presenta una baixa resistència, per tant, sol ser necessari dissenyar-lo amb nervis per tal de que reparteixin els esforços i així fer més difícil l'aparició de possibles esquerdes i un posterior trencament. Generalment els xassís de plàstic són els més tous i tenen una major flexibilitat.



Imatge 11: Xassís de plàstic [20]

- **Plàstic reforçat amb fibra:** En aquest cas, el plàstic incorpora fils de fibra de vidre o de carboni. Es pot fabricar mitjançant també injecció. Es difícil diferenciar-lo d'un xassís fet únicament de plàstic, però les seves propietats milloren, sent més lleuger, rígid i resistent. Tot i que es pot pensar que és una millora respecte el plàstic, també presenta les seves febleses. En ocasions es pot necessitar certa flexibilitat, però el plàstic reforçat és més fràgil. A més, a baixes temperatures, la fragilitat es veu agreujada ja que es poden produir esquerdes.



Imatge 12: Xassís de plàstic reforçat [20]

- **Alumini:** Normalment aquest material s'utilitza en cotxes de benzina, ja que actua com a dissipador de calor del motor. És poc usual veure un xassís d'alumini en cotxes elèctrics. Tot i que la seva durabilitat i rigidesa és major a la d'un xassís de plàstic, és més pesat, per tant no és el material més adient per elèctrics. A més, s'ha de tenir en compte si s'ha de mecanitzar, ja que això fa que augmenti el cost d'aquest component.



Imatge 13: Xassís d'alumini [20]

- **Fibra de carboni:** La fibra de carboni està formada per capes de teixit de carboni barrejades amb resina epoxi. És un material molt lleuger y rígid, però no resisteix bé els cops i té un cost elevat. Permet modelar formes complexes, tot i que en el món dels cotxes teledirigits es sol fer servir una làmina plana. Degut al seu elevat cost no és un material tan comercial com els anteriors, tot i que en competicions és bastant popular gràcies a les bones propietats que té.



Imatge 14: Xassís de fibra de carboni [20]

	Plàstic	Plàstic reforçat	Alumini	Fibra de Carboni
Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	~1500	1900	2700	~1800
Resistència a la tracció (N/mm <sup>2</sup> )	50	170	220	4000
Mòdul de Young (N/mm <sup>2</sup> )	3000	2500	69000	500000
Preu	Molt Baix	Baix	Elevat	Molt elevat

Taula 1: Comparació propietats materials [58][59][60][61]

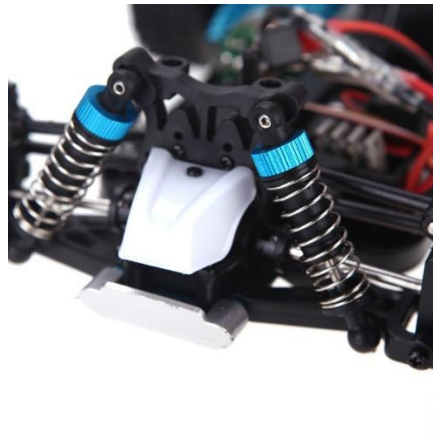
### 2.3.2. Suspensió

El sistema de suspensió d'un cotxe, tant teledirigit com real, té la missió de mantenir les rodes del vehicle en contacte amb el terra el màxim de temps possible, evitant perdre tracció i direcció.

A més de la seva comesa principal, la suspensió també afecta a com es comporta el cotxe quan es passa per un salt o un sot, al prendre una corba o agafar el piano. Fins i tot, pot influir en la inèrcia del vehicle a l'hora d'accelerar i frenar. Tot això fa que la suspensió incideixi en l'adherència i estabilitat del vehicle.

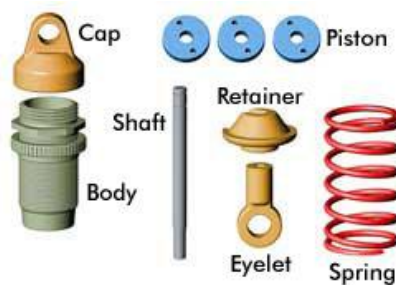
En cotxes de joguina aquest element sol ser de plàstic. Això fa que sigui un component fràgil i es pot trencar amb facilitat. A vegades, ni tan sols porta un sistema de suspensió. Molts cotxes de joguina incorporen un basculant per l'eix davanter i un altre basculant o inclús un eix rígid per la part posterior.

Quan la gama d'aquests vehicles és major, comencen a aparèixer sistemes de suspensió més complexos. En aquests casos la suspensió està formada per una molla, normalment d'alumini, i un amortidor.



Imatge 15: Suspensió d'un cotxe teledirigit [6]

L'amortidor sol comptar amb un sistema de retenció de rebot mitjançant oli o silicona. També incorpora un pistó per fer el retorn més suau.



Imatge 16: Parts d'un amortidor [7]

Per l'elecció de la millor suspensió pel vehicle teledirigit, cal tenir en compte alguns aspectes:

- **Duresa de la molla:** Aquest factor pot influir en gran mesura en el comportament del cotxe. Una molla tova permet una millor adherència. Això es degut a que la reacció és més ràpida. Per tant, permetrà que les rodes estiguin en contacte amb el terra el màxim de temps possible. La contra partida d'una molla tova és que augmenta la probabilitat de que el cotxe bolqui.

Per altra banda, una molla més dura és adient per grans salts. Afegeix agilitat i estabilitat al cotxe en indrets on hi ha molta adherència. Si per contra, no hi ha un bon *grip*, no és recomanable fer-la servir.

Per tant, amb el que s'ha comentat amb anterioritat, es pot dir, que la duresa de la molla es té en compte segons l'adherència que busquem.

Al mercat trobem molles de diferents colors. Això ens indica la seva duresa. Tot i així, cada fabricant utilitza el seu propi codi de colors.

A nivell teòric, podem trobar una relació que ens determina la duresa de la molla, aquesta s'anomena llei de Hooke:

$$F = K \times X [N]$$

F: Força de la molla

K: Constant elàstica [N/m]

X: Distància de compressió o allargament de la molla [m]

Gràcies a aquesta fórmula, si apliquem una força coneguda, i també coneixem la distància de compressió de la molla, podem determinar la duresa (K). Això és útil quan ens hem de decidir entre dues molles que a simple vista tenen una duresa semblant, tot i que si apliquem la llei de Hooke podem trobar la diferència entre elles.

- **Viscositat del líquid del amortidor:** L'amortidor absorbeix les oscil·lacions de la molla perquè retorni a la seva posició ràpidament. És per això que normalment es busca que el tipus de molla escollida i la viscositat del líquid (oli o silicona) tinguin concordança. Això vol dir que si tenim molles dures, la millor opció es un líquid viscos, mentre que si tenim molles toves, és més convenient un oli o silicona amb menys viscositat.

Si no hi ha concordança entre aquests dos elements, el cotxe pot perdre estabilitat. Tot i així, aquests són paràmetres que s'ajusten en funció del tipus de pista on es corri i del feedback del pilot amb el cotxe.

La viscositat ajudarà a passar sots i salts amb major o menor facilitat.

- **Posició de la suspensió:** El sistema de suspensió pot ser totalment vertical o amb certa inclinació. Si s'escull una posició totalment vertical, el pas per sots millorarà, però hi haurà més facilitat de bolcar.

Quan més vertical sigui la posició, la velocitat de la tija serà major, i serà com aplicar un líquid més viscos. Al contrari, si la inclinació augmenta, l'amortiment serà més progressiu, per tant, es comportarà com si el líquid fos més viscos.

Per una altre part, si la posició de la suspensió, s'allunya del xassís, l'efecte serà com si la molla fos més dura, mentre que si l'apropem, es comportarà com una molla tova.

### 2.3.3. Neumàtics

Els neumàtics són un dels components més importants i determinants a l'hora de que el vehicle tingui un bon rendiment. Una bona elecció pot fer que es passi d'un cotxe molt difícil de conduir a un cotxe estable. Escollir les rodes correctes pot influir en la suspensió, estabilitat, la frenada i acceleració del cotxe, el pas per corbes i evidentment, en el *grip* que hi ha entre el vehicle i el terreny per on es corre.

Existeixen dos tipus de neumàtics, els de goma i els d'espuma:

El neumàtic d'espuma aporta una gran adherència i es pot trobar una gran varietat de compostos segons duresa i condició de la pista. Tot i així, aquest material és molt delicat i es pot fer malbé amb les imperfeccions de la pista. Tot això fa que la mecànica del cotxe pugui patir més del compte. És un material que s'utilitza força gràcies a un preu reduït, a la gran varietat de neumàtics que podem trobar i es poden modelar amb facilitat per arribar al diàmetre de roda òptim. Un altre inconvenient és que dominar i entendre el funcionament d'aquest material és complex i comporta moltes hores de dedicació.

En quant als neumàtics de goma, són més resistents que els d'espuma. La seva duració és major, però també són més pesades i l'adherència sol ser menor. No cal modificar el diàmetre de la roda i la mecànica pateix menys que amb rodes d'espuma.

Els neumàtics són importants per tenir una conducció còmode i un bon rendiment. Es per això que cal tenir en compte diferents aspectes:

- **Dibuix del neumàtic:** L'elecció del dibuix és important. Per escollir el neumàtic adequat, primer cal tenir en compte el tipus de terreny per on es correrà. Per pista, habitualment es fan servir neumàtics *slicks*, és a dir, llisos, tot i que també es poden fer servir neumàtics amb ranures, semblants als que es fan servir en cotxes de carrer. Per disciplines *off-road*, habitualment s'utilitzen rodes amb tacs o fins i tot amb pales, ja que es necessita que tant la sorra com la possible aigua del terreny s'evacui ràpidament, mentre que en *on-road* el que es busca és aconseguir la màxima tracció i adherència possibles.



Imatge 17: Dibuixos del neumàtic [100]

- **Resistència:** La resistència o duresa d'un neumàtic aporta un grau específic de *grip*. Tanmateix, el desgast de la roda es un factor a tenir en compte, que ve relacionat per la duresa del neumàtic. Els neumàtics es classifiquen segons la seva duresa *Shore*. Quan menor és el número més tova es la roda. Un neumàtic tou tindrà un bon rendiment, però tindrà una durada limitada. Mentre que si augmentem la seva duresa, el rendiment empitjora en favor de una durabilitat més prolongada. Tot i que una roda més tova té un millor rendiment, és important tenir en compte les condicions de la pista y la temperatura. Un neumàtic tou a altes temperatures es desgastarà ràpidament. A més, si la pista està bruta, el seu rendiment empitjorarà. El compost més habitual sol ser d'una duresa mitja, ja que dona versatilitat en qualsevol condició.

- **Llanda:** El disseny de la llanda també és important. Cal tenir en compte el material i la forma d'aquesta. Això pot influir en el pes i en la rigidesa d'aquest element, afectant al rendiment de la goma. De nou, el més important a l'hora d'escollir o dissenyar una llanda, és conèixer per on correrà el vehicle.

Normalment, el neumàtic va enganxat a la llanda. A més, entre aquests dos components, es pot afegir un addicional. Es tracta d'un farciment (*mouse*) que busca aportar una major rigidesa. Aquest element es classifica per colors:

- **Groc:** Duresa mitjana. S'utilitza per pistes d'asfalt. El seu rang d'aplicació va des de baixes fins a mitjanes temperatures, de igual forma que amb l'adherència.
- **Vermell:** La duresa és major. S'utilitza en altes temperatures i un alt *grip* en asfalt.
- **Blau:** Es fa servir per *off-road*. Aporta una bona rigidesa sobretot amb neumàtics nous, al principi de la seva vida útil.
- **Negre:** Aporta rigidesa durant tota la vida útil del neumàtic. El seu ús principal és en *off-road*.



Imatge 18: Farciment rodes [9]

### 2.3.4. Servo

El servo s'encarrega de controlar la direcció del vehicle. Mitjançant un impuls elèctric, el servomotor gira fins la posició especificada, per tant, és un element ideal per tenir una direcció ràpida i precisa. Normalment es fa servir un sol servo per la direcció, però si ens trobem en escales grans, com per exemple 1/8, podria ser necessari incorporar un altre servo per poder moure correctament les rodes. D'aquesta manera cada servo controlaria un dels neumàtics de la direcció.

Un servo es un component format per una combinació de peces. Està compost per un motor, de corrent continua o alterna (els motors AC solen fer-se servir en l'àmbit industrial), un microprocessador, engranatges i un *encoder* o potenciòmetre. Tot això s'encapsula en una petita caps de plàstic.



Imatge 19: Servomotor [17]

El motor que incorpora el servo es mou a altes velocitats, però té molt poc parell. Per poder revertir aquesta prestació, es fa ús dels engranatges. Just abans de la sortida de l'eix del servo, va muntat aquest mecanisme que permet una gran reducció. Gràcies a això, les altes revolucions i el poc parell (N/m) es transformen en un moviment angular controlat amb una gran força. Aquests engranatges poden ser de plàstic o d'alumini. Els d'alumini tenen una major durabilitat i suporten més força i velocitat, mentre que els de plàstic tenen unes prestacions pitjors però el seu preu es reduït.

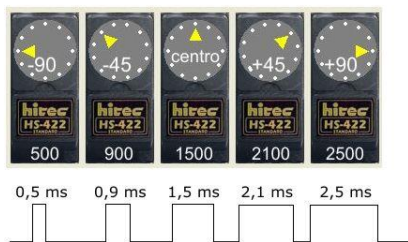
Per poder fer un bon control de la seva posició angular, de l'acceleració i la velocitat, s'uneix un *encoder* als engranatges. D'aquesta manera, ens trobem en un sistema de control a llaç tancat, on tenim una consigna (posició), donada pel receptor i una retroalimentació de la posició actual, proporcionada per l'*encoder*. Normalment el moviment d'aquest component està limitat a 180-230 graus.

Un servomotor disposa de 3 cables o connexions. Dos son per l'alimentació (positiu i negatiu), que en corrent continua es troba entre els 4 i 8 volts. El restant s'utilitza per la rebuda de senyals de control del servomotor.

Aquest element es controla amb la modulació de l'amplada de pols (PWM). El control es va fer d'aquesta forma degut a que principalment, la transmissió de dades en models teledirigits es fa amb radio freqüència. Fer ús del PWM permet poder controlar diversos servos d'un mateix model, i per tant, poder enviar diferents senyals a la vegada.



Quan el component rep un pols d'1,5ms d'amplada la posició del motor serà de 90 graus. Si reduïm aquest pols fins 1ms, el servo es posicionarà als 0 graus, mentre que si els pols té una amplada de 2ms, la posició serà de 180 graus.



Imatge 20: Posicions segons PWM [18]

Amb aquesta relació, podem determinar que si l'amplada del pols es major a 1,5ms, el servo girarà a la dreta, mentre que si es menor, girarà a l'esquerra. La següent taula resumeix l'explicació anterior:

Amplada de pols	Sentit de Gir
1ms	← (0°)
<1,5ms	↶ (0°-89°)
1,5ms	↑ (90°)
>1,5ms	↷ (91°-180°)
2ms	→ (180°)

Taula 2: Sentit de gir en funció de l'amplada de pols [18]

Aquests polsos s'envien amb una freqüència de 50Hz, o el seu equivalent en temps, que són 20ms.



Imatge 21: Freqüència de polsos [18]

Els servomotors més moderns deixen de controlar el motor en el moment que deixen de rebre polsos de control. Això vol dir que cada segon ha de rebre fins a 50 polsos, amb un marge del 20%. Si el temps sense rebre polsos és major, el servo entra en repòs, disminuint així el seu consum d'electricitat.

D'aquesta manera, un servo és un element essencial per un cotxe teledirigit. A l'hora d'escollir un, és necessari tenir en compte la grandària del vehicle, per poder comptar amb el servo més adequat. També es important el material del engranatges interns, com s'ha esmentat amb anterioritat.



### 2.3.5. Motor elèctric

La funció del motor es transformar l'energia química del combustible, o elèctrica, en un moviment rotatori. Aquest moviment rotatori permet fer girar les rodes, i per tant, el vehicle es pot desplaçar.

Tot i que existeixen cotxes teledirigits amb motors de combustió, en aquest treball, es farà atenció exclusivament als motors elèctrics. En comparació amb un cotxe de benzina, un cotxe teledirigit elèctric té una gran capacitat d'acceleració, és més econòmic i també requereix un menor manteniment que un motor de combustió.

Actualment, existeixen dos tipus de motors elèctrics, els *brushed*, un motor elèctric amb escombretes, i els *brushless*, que manquen d'aquest element:

#### 1. Motors *Brushed*

Com el seu propi nom indica, aquests motors funcionen amb escombretes. Les parts dels *brushed* solen ser les següents:

- **Estator:** Així es denomina a la carcassa interior. És la part que es fixa al motor. Dins es troben uns imants que funcionen com a pols magnètics.
- **Rotor:** En el camp dels cotxes teledirigits, aquesta peça sol tenir 3 pols. Al voltant d'aquests, va enrotllat el bobinat, que determina en gran mesura les prestacions que tindrà el motor. A un dels extrems del rotor es troba l'eix de sortida, al qual es munta el pinyó del vehicle.
- **Bobinat:** Es tracta de cable enrotllat. El número de voltes de cable determina les característiques del motor. Si el número d'espines (o voltes) és reduït, el parell es veurà disminuït mentre que les rpm que s'assoliran seran majors. Per contra, un bobinat amb moltes espines, tindrà un gran parell, però veurà reduïdes les revolucions.
- **Col·lector:** A l'altre extrem del rotor es troba el col·lector. S'encarrega d'evitar la inversió de corrent que es produeix cada cop que la bobina es mou en un pla perpendicular al camp magnètic, a més de reduir l'arissat de la corrent. Sobre aquest element es recolzen les escombretes.
- **Escombretes:** La seva funció és transmetre la corrent al col·lector. Es pot regular el seu angle respecte els pols magnètics del motor. Quan major sigui l'angle, majors revolucions s'assoliran, a risc d'augmentar el consum i reduir el parell.
- **Rodaments:** És on es recolza el rotor. Normalment trobem un a cada extrem del rotor. Un al cos principal del rotor i un altre a la campana.
- **Campana:** Es troba a un dels extrems del motor. La seva funció es tancar el motor i fer de suport del rotor i les escombretes. També s'encarrega d'acumular la tensió rebuda del variador. Gràcies a això, pot regular el que han de recórrer les escombretes a sobre dels imants del motor. A aquest element poden anar soldats condensadors per tal d'absorbir l'energia paràsita, reduint el soroll i les interferències que fa el motor quan funciona.

El funcionament d'aquest tipus de motors és el següent: Es passa corrent elèctrica pel fil conductor del bobinat. Aquesta corrent arriba a través de les escombretes. Les escombretes freguen al col·lector que a la seva vegada alimenta el bobinat i es genera un camp magnètic que interactua amb els imants permanents que hi ha a l'estator. D'aquesta manera es provoca una força que fa girar el rotor i l'eix del motor.

Com a punt negatiu, cal destacar que el fregament de les escombretes amb el col·lector fan que aquestes es desgastin, per tant, s'han de canviar les escombretes de forma periòdica.

## 2. Motors *Brushless*

A diferència dels motors *brushed*, els *brushless* no tenen escombretes. En aquest tipus de propulsors, només tenim el rotor, que és la part mòbil on es troben els imants permanents i la part fixa, anomenada estator, que és un hi van els bobinats del fil conductor.

En els motors *brushless*, al no haver-hi escombretes, la corrent passa directament pel bobinat de l'estator. Aquesta corrent genera un camp magnètic que al interaccionar amb els imants del rotor crea una força que impulsa l'eix.

En el cas dels propulsors sense escombretes, a més de tenir en compte les voltes del bobinat, també cal considerar un altre paràmetre important, el factor "kV". Aquest factor indica el número de revolucions a les que pot girar el motor per cada volt que se li aplica. Per exemple, si es té un motor de 300kV i se li apliquen 10 Volts, el propulsor podrà arribar fins les 3000rpm.

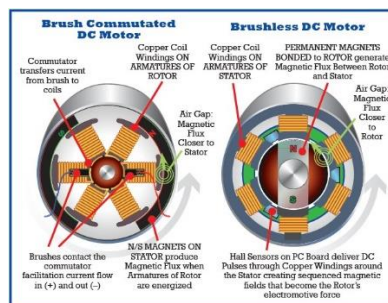
Per tant, juntament amb el número de voltes del bobinat, el kV, determinarà les característiques del motor. Tanmateix, s'ha de tenir en compte, que quan major sigui aquest factor, el parell disminuirà i la velocitat serà major. Per contra, si el kV és menor, la velocitat serà menor i el parell major.

Com que no hi ha escombretes ni col·lector que controlin que el rotor gira, caldrà fer ús d'un variador electrònic. La seva funció es saber a quina posició es troba el rotor en tot moment, per saber quina és la quantitat de corrent correcta que han d'aplicar. Això ho pot fer gràcies a uns sensors que incorpora. Els variadors d'aquest tipus de motors són més complexos que els dels propulsors *brushed*, ja que necessiten donar resposta a temps real en funció de la posició del rotor.

A continuació hi ha una comparativa entre els dos tipus de motors elèctrics:

Motors <b>Brushless</b>	Motors <b>Brushed</b>
Major potencia i velocitat	Menor potencia i velocitat
Més car (ESC específica)	Més barat (sistema més simple)
Millor eficiència	Pitjor eficiència
Baixes temperatures	Altes temperatures
Llarga vida útil	Curta vida útil
Baix manteniment	Alt manteniment (escombretes)
Menor soroll	Major soroll
Més petit i lleuger	Més gran i pesat

Taula 3: Comparació motor brushless i brushed [21]



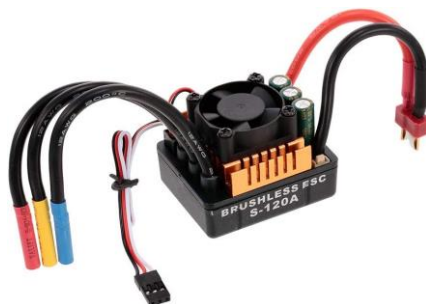
Imatge 22: Diferència entre brushed i brushless [101]

Cal tenir en compte que el més important es saber quina modalitat es correrà, a més de si es vol per un ús competitiu o com a entreteniment. Normalment, els propulsors *brushed* es fan servir en models d'iniciació, ja que té un control més senzill i és més fàcil aprendre, mentre que els *brushless* es solen utilitzar quan el pilot adquireix més experiència i es capaç de tenir un millor control sobre el cotxe i pot aprofitar la major potencia d'aquests motors.

### 2.3.6. ESC

L'ESC (*Electronic Speed Controller*), té la finalitat de controlar i variar la velocitat del motor. També varia el sentit de gir del motor. Normalment es fan servir en motors *brushless*. Actualment és un element format per un circuit electrònic amb diferents components. Antigament el variador funcionava mecànicament mitjançant servos. Actualment, es tracta d'un element electrònic. Aquest canvi ha fet que el control del motor sigui més suau i precís.

En vehicles de joguina o de preu baix, el variador sol estar incorporat al propi receptor, mentre que en gammes més altes, l'ESC sol ser un element separat de la resta.



Imatge 23: ESC per motor brushless [102]

Actualment, els variadors més sofisticats permeten modificar diferents paràmetres mitjançant software per adequar el component i l'entrega d'energia a les necessitats del vehicle. Es poden modificar els següents paràmetres:

Paràmetre	Definició
<i>Operation Mode</i>	Indica com operará el ESC. Es pot activar la marxa enrere i el fre
<i>Drag brake</i>	Fre motor
<i>Brake strength</i>	Força del fre
<i>Drive frequency</i>	Freqüència de treball del ESC/motor. Un nivell alt aporta més suavitat
<i>Brake frequency</i>	És la freqüència a la que treballa el fre. Un valor baix fa que el fre sigui més agressiu.
<i>Temperature set</i>	Permet tallar el corrent si la temperatura del variador o motor supera un número determinat.

Taula 4: Funcions d'un ESC programable [28]

La gran majoria de variadors actuals tenen un sistema BEC (*Battery Eliminating Circuit*). Aquest circuit permet regular el voltatge a un nivell estable per poder alimentar el servo i altres components. D'aquesta manera, s'estalvia haver d'incorporar bateries extra per alimentar la resta d'elements electrònics.

Els variadors BEC fan servir resistors per disminuir el voltatge de les bateries. D'aquesta manera, el receptor pot funcionar a 5V sense que pateixi una sobrecàrrega per l'alt voltatge de la pila. Quant major és el voltatge de la bateria o compta amb més cel·les, i si el receptor consumeix més, es genera calor, per l'efecte *Joule* que passa al resistor. Si la corrent arriba a ser molt alta, podria cremar els resistors, fent malbé el sistema.

Existeixen dos tipus de variadors BEC, els lineals i els canviants. Els lineals mantenen el voltatge constant, mentre que els canviants varien el voltatge a una alta freqüència, per reduir-lo de manera més efectiva. D'aquesta manera s'evita generar calor. Si es fa servir una bateria de 4 o més cel·les, es recomana un variador ESC amb BEC canviant.

Els variadors ESC normalment són controladors de PWM per poder fer funciona els motors elèctrics. El receptor envia un senyal PWM al controlador de velocitat amb una variació d'1 a 2ms. Quan s'envia la primera senyal, el motor està aturat. La segona senyal s'envia 1,5ms després i fa funcionar el propulsor al 50% de la seva potencia. Als 2ms el motor funciona ja funciona al màxim de la potencia que pot donar.

Els ESC per motors *brushed* no són compatibles amb motors *brushless*. Els variadors per propulsors sense escobretes creen un corrent altern trifàsic a partir del corrent de la bateria. Es per això que un ESC per *brushed* tindrà 2 cables, mentre que un per *brushless* en tindrà 3.

Un dels pols genera un voltatge petit que es proporcional a la velocitat de gir. Aquest voltatge és el que fa servir el variador per determinar la velocitat i la direcció del motor en tot moment. Gràcies a aquesta informació, l'ESC interpreta i decideix el corrent que ha d'enviar en tot moment per fer funcionar el motor correctament. Es convenient escollir un variador que estigui per sobre de la corrent màxima que demana el motor.

### 2.3.7. Transmissió

Per transmetre el gir del motor a les rodes es fa servir una transmissió d'engranatges. Normalment són rodes dentades, tot i que és possible fer la transmissió mitjançant corretges.



Imatge 24: Transmissió per corretges [31]

Pels cotxes teledirigits de gamma baixa o de joguina les rodes solen ser de plàstic, mentre que en vehicles de gamma més alta o de competició es fabriquen de metall o materials més resistents, degut a l'alta exigència de la transmissió.

Es poden trobar diferents tipus de rodes dentades en funció de les necessitats requerides:

- **Engranatges rectes:** Es solen fer servir quan el moviment s'ha de transmetre entre eixos paral·lels.
- **Engranatges helicoidals:** Aquest tipus de roda dentada transmet menors càrregues però pot funcionar a major velocitat. A més, son més silenciosos respecte els rectes.
- **Engranatges cònics:** Permet transmetre el moviment entre eixos perpendiculars.



Imatge 25: Tipus d'engranatges [31]

Habitualment la transmissió es fa mitjançant dos engranatges. Un d'ells va unit a l'eix del motor i s'anomena *pinion gear*. L'altre, l'*spur gear*, és el que es col·loca a l'eix de les rodes.

En el sistema mètric trobem mides preestablertes (0,4, 0,5, 0,6, etc). Aquest valor representa el mòdul de l'engranatge i és la relació entre el diàmetre primitiu i el nombre de dents:

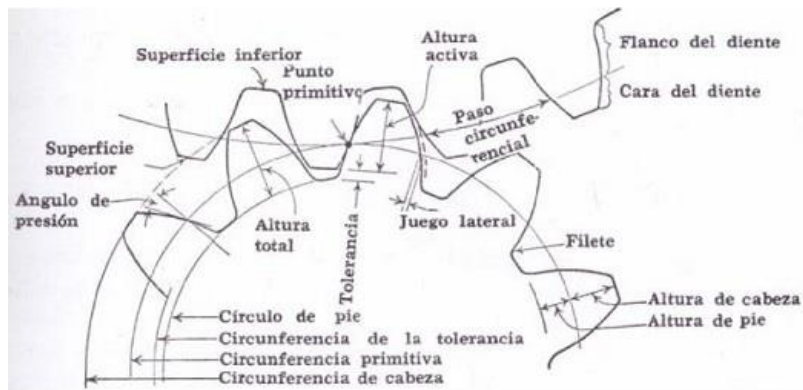
$$m = \frac{\phi}{n^{\circ} \text{ dents}}$$

Aquest valor el podem convertir a sistema imperial. En aquest sistema les mides són 24, 32 i 48 entre d'altres. I aquest valor s'anomena *diametral pitch* (dp), que fa referència al nombre de dents per polzada d'engranatge:

$$dp = 25,4 \times \frac{n^{\circ} \text{ dents}}{\phi} = 25,4 \times \frac{1}{m}$$

També podem saber la distància entre dos punts entre dents consecutius. Aquesta mesura és el pas i es calcula de la següent forma:

$$pas = m \times \pi \text{ [mm]}$$



Imatge 26: Paràmetres d'un engranatge [31]

En funció de les dents de cada un dels engranatges podem regular el parell que entregarà el motor o la velocitat del cotxe. Aquest ajust ve definit per la següent relació:

$$r_t = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

On,

1 és el *pinion gear* i 2 l'*spur gear*;

Z és el nombre de dents de l'engranatge;

d és el diàmetre [mm] de la roda dentada;

n és la velocitat de gir [rpm];

$\omega$  és la velocitat angular [rad/s].

Amb aquestes relació es pot determinar el següent:

- Si  $r_t < 1$  serà reductor.
- Si  $r_t > 1$  serà multiplicador.

En funció de les necessitats del vehicle i de la disciplina, es poden canviar els engranatges, variant diàmetre o nombre de dents per tal de modificar la relació de transmissió. Quan major sigui l'*spur gear* o menor sigui el pinyó, la relació de transmissió augmentarà, fent que augmenti el parell però es redueixi la velocitat màxima. Per contra, si els dents del *pinion gear* augmenten o l'*spur gear* disminueix el nombre de dents, la velocitat màxima serà major. Tanmateix, instal·lar un pinyó massa gran pot comportar un mal rendiment del cotxe, fent que es sobreescalfi.

A més dels engranatges de transmissió, la majoria de cotxes teledirigits incorporen un diferencial.

Aquest element és un conjunt d'engranatges. La seva finalitat és la de provocar una diferència de velocitat de gir a les rodes motrius, de tal manera que quan es pren una corba, la roda interior girarà més lentament que la exterior, ja que ha de recórrer més distància. En recta, ambdues rodes giren a la mateixa velocitat. Gràcies al diferencial, s'aconsegueix una passada per corba més suau.



*Imatge 27: Caixa d'engranatges amb diferencial [31]*

El diferencial en aquest tipus de vehicles no és imprescindible; en els vehicles de gamma més baixa o petits, no hi sol ser. Tot i així, la manca d'aquest element provoca que en corba, el cotxe tingui una roda (exterior) que té adherència, mentre l'altre (interior) va lliscant degut a anar a la mateixa velocitat però haver de recórrer menys distància. Això provoca que el cotxe pugui derrapar.



### 2.3.8. Bateria

La bateria té la funció d'alimentar el motor, els servos i el receptor del vehicle. Es pot posar una bateria pel motor i una altre per la resta d'electrònica o una sola bateria per tot el sistema. En el segon cas caldrà un sistema BEC, com s'ha esmentat anteriorment, per controlar la corrent que circula.

A l'hora d'escollir una bateria cal tenir alguns aspectes en compte:

- **Voltatge [V]**
- **Intensitat o corrent [A]**
- **Capacitat de la bateria [mAh]**
- **Efecte memòria:** Aquest fenomen només es produeix en bateries Ni-Cd. Quan es recarrega una d'aquestes bateries sense que s'hagi esgotat completament. Això es deu a que si no deixem que la càrrega s'esgoti per tornar-la a carregar, els cristalls de níquel i cadmi creixen, fent malbé la pila. Hi ha carregadors que poden reduir aquest efecte.
- **Taxa o velocitat de descàrrega:** És la quantitat d'amperes que la bateria pot subministrar durant una hora de forma continua.

Actualment podem trobar al mercat diferents tipus de bateries per alimentar el nostre sistema:

- **Pila:** És un element d'emmagatzematge d'energia que normalment un cop descarregada s'ha de llençar, tot i que hi ha piles recarregables. Ofereixen un voltatge de 1.5 volts.
- **Bateria Ni-Cd:** Són bateries compostes per níquel i cadmi. Tenen dos pols, en el positiu hi ha hidròxid de níquel i en el negatiu trobem l'hidròxid de cadmi. Són bateries recarregables però al llarg de la seva vida, la capacitat màxima disminueix degut al efecte memòria. Ofereixen un voltatge d'1.2V, tot i que si estan carregades completament, poden arribar a oferir 1.4V durant un curt període de temps. Quan el seu voltatge és inferior a l'1.1V, es considera que la bateria està descarregada. Normalment la vida d'aquest element es d'uns 1000 cicles de càrrega. La seva taxa de descàrrega és alta degut a que les resistències interiors son petites. És convenient que no es carreguin més d'un cop al dia, ja que el seu ús fa que s'escalfin i s'han de deixar refredar a temperatura ambient.

Avantatges	Inconvenients
Preu reduït	Contaminants
Capacitat bona	Auto descarrega
Llarga vida útil	No es poden carregar més d'un cop al dia
Temps de càrrega reduït	Efecte memòria
Alta descàrrega	

Taula 5: Característiques bateries Ni-Cd [34]



Imatge 28: Bateria Ni-Cd [103]

- **Bateria NiMH:** Són bateries de níquel i hidrur metàl·lic. Degut a la seva fabricació, el preu augmenta respecte les Ni-Cd. Aquestes piles també tenen efecte memòria però es tan reduït que normalment es menysprea. Tenen una gran densitat d'energia per volum/pes.

D'igual forma que les Ni-Cd, les NiMH, proporcionen un voltatge de 1.2V, però carregades al complet poden arribar a oferir 1.4V durant un breu període.

La seva vida útil és d'entre 400 a 600 cicles de càrrega. Degut a les resistències internes petites, aquestes bateries permeten carregar-les a un alt amperatge. Al contrari que les Ni-Cd, aquestes sí que es poden carregar diversos cops en un dia, però d'igual forma, s'han de refredar abans de tornar a carregar-les.

Pateix un alta auto descàrrega i es necessita un carregador especial per aquest tipus de bateries. El carregador de Ni-Cd no és apte per les NiMH.

Avantatges	Inconvenients
Alta densitat d'energia	Baixa taxa de descàrrega
No contaminen	Alt temps de càrrega
Efecte memòria menyspreable	Vida útil curta
Càrrega a alt amperatge	Pateix sobrecàrregues
Possibilitat de carregar diversos cops al dia	

*Taula 6: Característiques bateries Ni-Mh [34]*



*Imatge 29: Bateria Ni-Mh [104]*



- **Bateria Li-Ió:** Bateries de Liti-Ió. Tenen una densitat energètica molt alta i l'auto descàrrega és molt petita. No té efecte memòria. Té una gran capacitat i gràcies a la alta densitat, el seu volum i pes és reduït.

Aquestes bateries tenen un nivell de descàrrega baix, per tant, no es convenienent fer-les servir per motors elèctrics. El seu ús és adient per servos i altres elements electrònics amb una demanda elèctrica menor.

La seva vida útil està entorn dels 300/500 cicles de càrrega.

Avantatges	Inconvenients
No té efecte memòria	Molt contaminants
Auto descàrrega molt baixa	Temps de càrrega alt
Alta densitat energètica	Sobrecàrregues
Volum i pes reduït	Vida útil curta
Possibilitat de carregar diversos cops al dia	Taxa de descàrrega mitja

*Taula 7: Característiques bateries Li-Ió [34]*



*Imatge 30: Bateria Li-Ió [105]*

- **Bateria LiPo:** Les bateries de polímer de liti són una variant de les Li-Io però tenen més densitat energètica, per tant, poden tenir una millor capacitat i prestacions en un volum més reduït. Actualment són les més utilitzades.

Aquestes bateries estan disposades de tal manera que cada cel·la té un voltatge de 3,7V. Agrupant les cel·les, tant en sèrie com en paral·lel, podem obtenir majors voltatges i capacitats.

Al mercat, aquestes bateries venen amb una nomenclatura. Consisteix en un número, que indica les cel·les, i una lletra que indica el tipus de connexió (Paral·lel o Sèrie).

Per exemple:

**3S1P** o **3S** → 3 cel·les connectades en sèrie

**3S2P** → 3 cel·les en sèrie connectades en paral·lel amb un altre conjunt de 3 cel·les connectades en sèrie entre elles

**Agrupació de cel·les en sèrie:** El voltatge total serà el voltatge nominal (3.7V) per la quantitat de cel·les en sèrie. En quant a la capacitat, en una connexió en sèrie, no varia, sent la capacitat de les bateries.

$$V_{Total} = N^{\circ} \text{ cel \cdot les} \times 3.7V \quad [V]$$

$$Capacitat_{Total} = Capacitat_1 = Capacitat_2 = \dots = Capacitat_n \quad [mAh]$$

**Agrupació de cel·les en paral·lel:** En aquest cas, el voltatge total correspon al voltatge nominal. La capacitat, per contra, es veurà multiplicada pel nombre de cel·les. Els paràmetres de les bateries connectades en paral·lel han de ser els mateixos.

$$V_{Total} = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad [V]$$

$$Capacitat_{Total} = N^{\circ} \text{ cel \cdot les} \times Capacitat \quad [mAh]$$

Un altre paràmetre a tenir en compte és la velocitat de descàrrega. Aquest valor normalment ve referenciat en funció de la capacitat.

Si es té una bateria d'1C amb una capacitat de 2200mAh, es subministraran 2.2 amperes en una hora. Si a la bateria se li exigeix el doble d'amperes (4.4A), la duració de la bateria serà de 30 minuts. Aquest paràmetre limita la corrent màxima que se li pot exigir. En el cas de l'exemple d'1C, no se li podria exigir un subministrament de 4.4A ja que es supera la corrent màxima permesa de 2.2A,

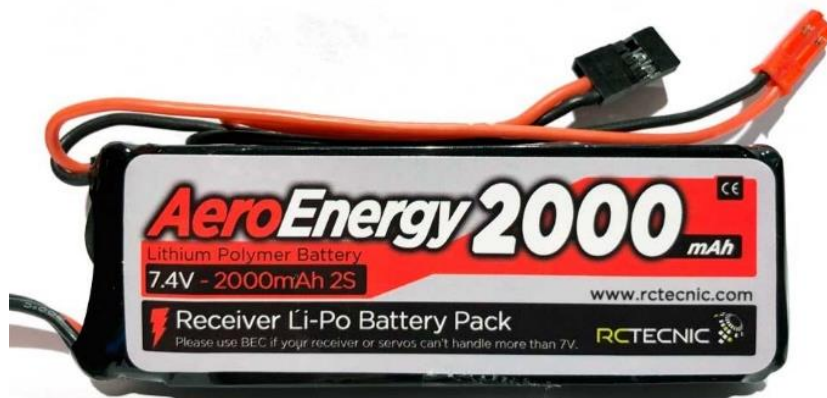
De forma teòrica, també es pot saber la duració de la bateria. Ve donat per la següent expressió:

$$Temps \quad [min] = \frac{Capacitat \quad [mAh] \times 60}{1000} \times Velocitat \quad descàrrega \quad [A]$$

Degut a que aquest tipus de bateria està compost per diferents cel·les, pot passar que algunes d'aquestes es descarreguin o carreguin més que altres. És per això que calen carregadors especials que permetin balancejar i equilibrar de nou les cel·les. A més, si una cel·la es descarrega completament, es trenca i no es pot tornar a recuperar, es per això que és important evitar la descàrrega total. Tenen una vida útil d'uns 500 cicles de càrrega.

Avantatges	Inconvenients
No té efecte memòria	Càrrega lenta
Alt nivell de descàrrega	Carregador especial
Molt alta densitat energètica	Mal comportament amb sobrecàrregues o altes temperatures
Volum i pes molt reduït	No es pot descarregar per complet
Alt voltatge	Manteniment delicat
	Vida útil mitja

Taula 8: Característiques bateries LiPo [34]



Imatge 31: Bateria LiPo [106]

### 2.3.9. Comunicació

Un cotxe teledirigit, com bé indica el seu nom, es comanda de forma remota. Per a que això sigui possible, cal tenir un emissor i un receptor. En aquest cas, l'emissor seria l'usuari amb el comandament remot que envia les senyals d'instrucció al receptor, que seria el cotxe i els diferents components del mateix.

A l'actualitat i des de els inicis d'aquests vehicles, el mitjà de comunicació entre emissor i receptor ha estat la radio freqüència. Aquest és el motiu pel qual moltes vegades els anomenem com a cotxes radio control.

Tanmateix, en les últimes dècades, han aparegut nous sistemes de transmissió inalàmbrica. Tot i que per el moment, cap d'aquest mitjans s'ha estès en el món del radio control, és interessant analitzar les possibilitats que ofereix cada una d'aquestes tecnologies i veure si en un futur podrien conviure o substituir la radio freqüència per aquesta aplicació.

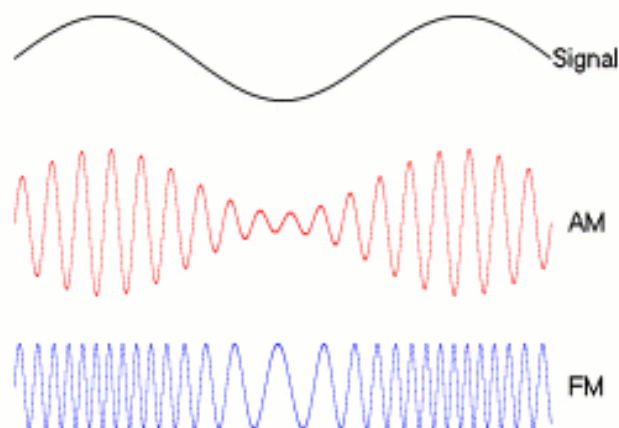
- **Radio freqüència:** Com el seu propi nom indica, aquesta tecnologia funciona a través d'ones de radio. Per poder establir la comunicació entre dispositius es necessita un emissor (Tx) i un receptor (Rx).

Dins del radio control cal distingir entre dos sistemes d'emissió:

- **AM:** La Modulació d'Amplitud és una tècnica que s'utilitza per processar senyals i per establir comunicació entre dispositius. L'amplitud de la ona transmesa varia en funció de la informació que s'envia.
- **FM:** La Modulació de Freqüència és una tècnica anàloga a l'AM. En aquest cas, el que varia es la freqüència.

AM	FM
Modulació i desmodulació senzilla	Modulació i desmodulació més complexa
Electrònica simple i barata	Electrònica més complexa i cara
Vulnerable a camps magnètics	Poca interferència amb camps magnètics
Major ample de banda (canals més separats)	Menor ample de banda (canals més junts i possibilitat de més canals)

Taula 9: Comparativa entre AM i FM [107]



Imatge 32: Diferència entre AM i FM [107]

Als inicis dels cotxes teledirigits, el radio control es feia mitjançant uns cristalls. Tant el receptor com l'emissor incorporaven un amb una freqüència específica, de manera que es sintonitzaven entre ells. Aquesta tecnologia feia servir les freqüències de 27 i 72MHz i s'ha fet servir durant molt anys gràcies al gran abast i la bona penetració de la senyal. Tanmateix, presenta diversos inconvenients. Un d'ells és les interferències que existeixen entre usuaris que fan servir el mateix canal. A més, les antenes eren d'una llargada considerable, arribant a tenir antenes d'un metre. A més, aquests cristalls són molt fràgils, per tant, es trenquen amb facilitat.



Imatge 33: Cristalls per radio control [108]

Degut a aquesta problemàtica, va arribar la tecnologia del 2,4GHz. És la freqüència més utilitzada en el món del radio control. Tot i que molts d'aquests vehicles fan ús dels 2,4GHz de manera fixa, cada cop més, s'està estenent sistemes que incorporen la emissió d'una banda més ampla, el DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*), una tecnologia que també fa servir *Bluetooth* i *Wi-Fi*. Això permet que la informació es transmeti en un ventall de freqüències més ampli, evitant interferències amb altres dispositius. El software de l'emissor escaneja en temps real quina és la millor freqüència a fer servir, i per tant, podent saltar entre canals, per evitar solapament amb altres sistemes. A més, garanteix que el lapse de temps entre l'enviament de l'ordre i la rebuda de la informació sigui mínima i la resposta sigui ràpida.

Les freqüències de 433MHz, 900MHz i 1,3GHz es solen fer servir per dispositius d'una grandària major i amb un abast més ampli.

A més de la forma d'emissió de la informació, també hi ha dos modes per transmetre les dades:

- **Full Function:** Aquestes emissores no permeten la regulació de la velocitat del motor o l'angle de gir. En el cas del motor, la velocitat es constant mentre que en la direcció té tres posicions, tot a l'esquerre, tot a la dreta i recte. El senyal es sol codificar per un nombre determinat de polsos o per un interval de temps entre polsos segons la funció que s'executa.
- **Control Proporcional:** En aquest cas si que es pot regular tant la velocitat del motor com l'angle de la direcció. En aquests comandaments disposem de potenciòmetres per tal de regular-ho. Cada element a controlar s'anomena canal en comptes de funció. Per tant, en un cotxe teledirigit, serà necessari un mínim de 2 canals (direcció y velocitat). La codificació es fa en funció de la durada d'un pols per cada canal (PWM). La suma dels canals dona un senyal en funció de la posició dels polsos (PPM) que es el que es modula i transmet.

La velocitat de comunicació d'un sistema de radio freqüència es troba entre els 9600 i 19200 bauds. El baud és una unitat de mesura que representa el nombre de polsos per segon que envia una transmissió. Per tant, si enviéssim un bit cada segon, tindríem que un bit/s equival a un baud. Actualment aquesta relació no és del tot certa si un pols pot tenir més de dos estats. Si es volgués tenir una relació més exacta entre bauds i b/s seria la següent:

$$B [\text{Bauds}] = \frac{\text{Velocitat [b/s]}}{N^{\circ} \text{ bits per baud}}$$

- **Wifi:** El WiFi és una tecnologia que permet la connexió inalàmbrica entre diferents dispositius o amb internet. WiFi és una marca de Wi-Fi Alliance, una organització comercial que promou i certifica aquesta tecnologia. Aquesta forma de comunicació va sorgir al 1997 quan diferents empreses es van unir per cobrir la necessitat d'establir una connexió inalàmbrica compatible amb diferents tipus de dispositius.



Imatge 34: Logo Wi-Fi Alliance [43]

Aquesta tecnologia funciona mitjançant ones de radio sota l'estàndard IEEE 802.11 que defineix els protocols de connexió entre dispositius. Tot i així, la freqüència de les ones no és sempre la mateixa. Actualment es fa servir una transferència de dades de 2,4 GHz o de 5 GHz. Un WiFi amb més freqüència proporciona unes millors prestacions, tot i que la de 2,4 GHz està molt estesa. Actualment, els dispositius de gamma més alta combinen l'ús de totes dues per una transferència més ràpida.

Perquè una connexió WiFi sigui efectiva es necessita d'un adaptador inalàmbic en el dispositiu per transformar les dades en ones de radio. Aquestes ones són rebudes pel *router* que les decodifica i envia la informació a internet. Tot i que el més convencional és tenir un *router* fix i un dispositiu amb connexió WiFi, l'evolució de la tecnologia i de les xarxes mòbils ha permès fer servir el propi telèfon com a emissor de WiFi, o com s'anomena comunament, *hotspot*. D'aquesta manera, el mòbil pot fer de *router* permetent connexió amb altres dispositius no solament a l'interior de vivendes, oficines o altres centres, sinó que es pot obtenir una connexió WiFi en qualsevol part del món.

A mesura que la tecnologia ha evolucionat, ha permès que WiFi millorés en qualitat i velocitat, de manera que ha estat possible llançar diferents versions:

Estàndard IEEE	Generació	Velocitat (Mbit/s)	Freqüència (GHz)	Any de llançament
802.11	-	1-2	2,4	1997
802.11b	-	1-11	2,4	1999
802.11a	-	6-54	5	1999
802.11g	-	6-54	2,4	2003
802.11n	WiFi 4	72-600	2,4/5	2008
802.11ac	WiFi 5	500-6900	5	2014
802.11ax	WiFi 6	600-9600	2,4/5	2019
	WiFi 6E		2,4/5/6	2020
802.11be	WiFi 7	40000	2,4/5/6	Per confirmar

Taula 10: Versions WiFi [42][43][45]

L'abast del senyal WiFi vindrà determinat segons el protocol que implementin els dispositius a connectar. A més, altres paràmetres com els obstacles que hi hagi entre emissor i receptor o el guany de les antenes serà determinant a l'hora de saber quin és l'abast de la transmissió. Tot i així, es creu que l'abast de les últimes versions WiFi es troba entre els 80 i 250 metres.

El WiFi no només permet accedir a internet des de diferents dispositius sinó que permet crear una xarxa amb diferents aparells, controlant paràmetres de tots ells, com per exemple una casa domòtica o un servidor amb telemetria d'una indústria o d'un cotxe. Això és el que s'anomena IoT (*Internet of Things*). D'aquesta manera, es pot centralitzar la informació en un sol punt, el núvol, i poder accedir a ell des de qualsevol punt

- **Bluetooth:**

El *Bluetooth* és un protocol de comunicació inalàmbrica entre diferents dispositius. Aquesta tecnologia permet intercanviar dades entre dispositius en un rang de distància curt/mitjà, fent servir ones de radio d'alta freqüència (UHF) dins de la banda ISM. Aquest és l'acrònim per les freqüències utilitzades per usos industrials, científics i mèdics.

Les primeres versions de *Bluetooth* funcionaven a 1,2 GHz mentre que actualment les connexions funcionen sobre els 2,4 GHz. En la majoria d'usos, es consumeixen uns 2,5 mW per la transmissió de dades.



Imatge 35: Logo Bluetooth SIG [41]

Aquest protocol de comunicació va aparèixer el 1994. Però no va ser fins uns anys més tard que es va anunciar de forma oficial. Al 1998, diferents empreses entre les que es trobaven Ericsson, Nokia o Intel, van fundar el *Bluetooth Special Interest Group* (*Bluetooth SiG*) per impulsar aquesta nova tecnologia. Fins al moment s'han llançat diferents versions, millorant característiques del protocol, com la connexió o el rang i arreglant problemes de seguretat entre d'altres:

Versió	Llançament	Principals característiques	Velocitat	Abast
1.0a	1999	Problemes de connexió i seguretat	720 kb/s	
1.1	2001	Llest per comercialitzar Aprovat com a estàndard IEEE 802.15.1	720 kb/s	
1.2	2003	Reducció d'interferències	732.2 kb/s	
2.0	2004	Velocitat de dades millorada (EDR) Reducció de consum d'energia	2 Mb/s	50 m
2.1	2007	Emparellament simple segur (SSP)	2 Mb/s	50 m
3.0	2009	Canal d'alta velocitat basat en Wi-Fi (HS)	24 Mb/s	50 m
4.0	2010	Protocol <i>Bluetooth Low Energy</i> Banda ISM de 2.4 GHz	24 Mb/s	Fins 60 m
4.1	2013	Revisió del 4.0 destinada a IoT Connexió entre petits dispositius sense intermediari	24 Mb/s	Fins 100 m
4.2	2014	Compatibilitat amb protocol IPv6	24 Mb/s	Fins 100 m
5.0	2016		32 Mb/s	Fins 100 m
5.1	2019	Reconeix d'on prové l'altre senyal	50 Mb/s	Fins 200 m
5.2	2019	LC3 Àudio Còdec <i>Enhanced Attribute Protocol</i> (EATT) <i>LE Power Control</i>	50 Mb/s	Fins 240 m
5.3	2021	Millores de classificació de canals	50 Mb/s	Fins 240 m

Taula 11: Versions Bluetooth [38][39][40][41]



Cal tenir en compte que l'abast de la transmissió de dades variarà en funció de les condicions que hi hagi en el moment de l'enviament. Per tant, cal tenir els següents aspectes en compte:

- **Espectre de radio:** L'espectre de radio va des dels 30 Hz fins els 300 GHz. Quan major sigui la freqüència, menor serà el rang, però la velocitat de transmissió serà més alta, per tant, s'ha de trobar un equilibri entre velocitat i abast. En el cas de *Bluetooth*, que fa servir la banda ISM, la freqüència està entre els 2400 MHz i 2483 MHz, un bon equilibri entre abast i velocitat de transmissió de dades.
- **PHY:** El mitjà físic de la transmissió de dades. El medi on es fa aquest intercanvi afecta tant a la velocitat com al rang de transmissió.
- **Sensibilitat del receptor:** Ens determina quina és la mesura mínima que el receptor pot interpretar. És a dir, la potència mínima que el receptor pot detectar d'una senyal de radio. En el cas de *Bluetooth* la sensibilitat mínima del receptor es de -70dBm a -82dBm. Un dBm (decibel-miliwatt) es la unitat de mesura que relaciona la potència expressada en decibels (dB) relativa a un miliwatt (mW).

$$x = 10 \times \log_{10} \frac{\text{Potència}}{1\text{mW}} \quad [\text{dBm}]$$

- **Potència de transmissió:** L'elecció de la potència de transmissió ve compromesa per un equilibri entre l'abast i el consum d'energia. Quan major potència, el senyal viatjarà més lluny, però el consum serà major, mentre que si la potència es menor el consum es redueix però la transmissió té un abast més limitat. *Bluetooth* te la potència limitada entre -20dBm (0,01mW) a + 20dBm (100 mW)
- **Guany de l'antena:** L'antena converteix l'energia elèctrica del transmissor en energia electromagnètica i a l'inrevés en el cas del receptor. La ubicació, grandària i disseny de l'antena pot tenir un gran impacte en la transmissió. En el cas del *Bluetooth*, el guany de les antenes sol estar en un rang de -10dBi a +10dBi.
- **Camí perdut:** És la pèrdua de senyal en el camí entre el transmissor i el receptor. L'atenuació del senyal es produeix de forma natural i es veu afectada per l'entorn a mesura que avança. Aquest senyal també es veurà afectat i es pot deteriorar si hi ha obstacles al camí entre el transmissor i el receptor.

- **Xarxes mòbil:** La xarxa per a comunicació mòbil és un altre dels sistemes de comunicació inalàmbrica més utilitzats avui en dia. De la mateixa forma que la resta de tecnologies esmenades en aquest treball, funciona gràcies a ones de radio. El dispositiu emissor transmet la informació a una antena, que a la seva vegada es comunica amb una centraleta. Un cop establerta la comunicació, la centraleta envia la informació al dispositiu receptor a través de la mateixa o altres antenes.

Per a que es pugui fer la comunicació, cal que tant el dispositiu emissor com el receptor, estiguin dins de l'àrea d'abast. L'àrea que cobreix cada antena s'anomena cel·la. És per això que moltes vegades aquesta xarxa també és anomenada xarxa cel·lular. La instal·lació de cel·les permet que els usuaris d'aquesta xarxa puguin estar connectats en tot moment i en qualsevol lloc.



*Imatge 36: Cèl·lules de xarxa mòbil [51]*

Amb el pas dels anys, la tecnologia mòbil ha evolucionat molt. Gràcies a això, la comunicació ha millorat, implementant diferents versions i tipus de xarxes:

- **1G:** La comunicació mòbil va donar inici als anys 70, quan van aparèixer els primers telèfons mòbils. Destacaven per ser molt pesats, cars (i de difícil accés pel gran públic) i grans. En aquell moment la comunicació feia servir canals analògics i només permetia transmetre veu. És el que s'anomena 1G. Al ser la primera tecnologia mòbil, els estàndards eren molt diversos, en funció del país. Avui dia és una tecnologia obsoleta i no s'utilitza.
- **2G:** També anomenat GPRS. És el tipus de xarxa més bàsic i lent que existeix a l'actualitat. Funciona a través de paquets de dades i no de temps de connexió. La seva velocitat teòrica és de 80Kb/s. Només permet fer trucades o enviar SMS. També permet la navegació per internet, però a velocitats molt baixes. Inicialment es va dissenyar amb l'estàndard GSM, creant un sistema totalment digital. Va permetre apropar la telefonia mòbil al públic general.
- **EDGE:** És una evolució del 2G. També anomenat EGPRS. Permet realitzar les mateixes tasques que el 2G però a majors velocitats. En aquest cas, la velocitat màxima teòrica era de 384 Kb/s. Aquesta xarxa funciona quan l'emissor o receptor es troba a prop de l'antena, ja que la distància de transmissió és menor.
- **3G:** Va aparèixer al 2001. També denominat UMTS. Aquesta xarxa es basa en la tecnologia W-CDMA, que permet als usuaris transmetre de manera simultània a la resta d'usuaris, codificant cada senyal amb un codi diferent. La velocitat de transmissió augmenta fins els 2 Mb/s i la comunicació és més fiable, permetent enviar altres tipus de dades com arxius multimèdia. El 3G va ser l'estàndard del primer smartphone.
- **3G+:** És una evolució del 3G. Es basa en l'estàndard HSPDA. La velocitat de transmissió es situa entre els 7 i els 14 Mb/s.

- **4G:** També denominada LTE. Va néixer a la dècada del 2010. Va ser una veritable revolució en la comunicació mòbil ja que permetia poder veure contingut multimèdia per *streaming* sense problemes o enviar arxius de manera gairebé instantània. És la xarxa més utilitzada i estesa actualment, tot i que el 2G/3G encara es segueix utilitzant. Es basa en l'estàndard 3GPP. La seva velocitat és de 150 Mb/s teòrics. Aquesta tecnologia ha permès el desenvolupament del IoT i també permet el comandament des de qualsevol lloc de dispositius connectats a la xarxa.
- **5G:** És la última generació en transmissió de dades via telèfon mòbil. Va néixer al 2020 i ja hi ha moltes zones amb aquesta tecnologia implementada, tot i que la implementació total del 5G encara trigarà uns anys. S'estima que el 5G hauria d'arribar a més del 40% de la població mundial l'any 2024. Aquesta tecnologia millora la capacitat de transmissió de dades, la velocitat, que està compresa entre els 2 i els 20 Gb/s. La latència es millora i és pròxima al mil·lisegon, aconseguint un retard molt reduït. A més, la densitat de dispositius connectats a una antena augmenta considerablement. Una de les principals utilitats que se li vol donar al 5G és la de controlar automatismes de manera remota, amb un retard mínim i una gran precisió. A més, de monitoritzar i sensoritzar moltes indústries, tenint al palmell de la mà la informació en temps real.

Tecnologia	Any	Velocitat	Dades que pot transmetre
1G	70s	-	Veü
2G	80s	80 Kb/s	Veü SMS
EDGE	90s	384 Kb/s	Veü SMS
3G	2000s	2 Mb/s	Veü SMS Arxius multimèdia
3G+	2000s	7 – 14 Mb/s	Veü SMS Arxius multimèdia
4G	2010s	150 Mb/s	Veü SMS Arxius multimèdia IoT
5G	2020s	2 – 20 Gb/s	Veü SMS Arxius multimèdia IoT Automatització

Taula 12: Versions xarxes mòbils [51][52][53][54][55][56][57]

Aquestes serien les principals tecnologies inalàmbrica que es troben disponibles actualment. Tot i així, no totes són adients per incorporar en un cotxe teledirigit. Per tancar aquest apartat, a continuació, hi ha una taula comparativa entre els diferents mètodes de comunicació:

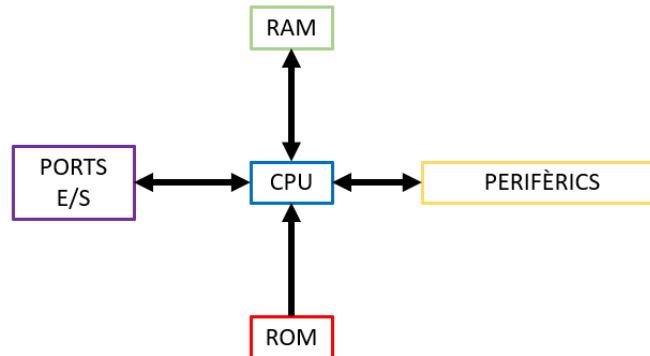
	Freqüència de transmissió	Abast	Complexitat del sistema	Preu
Radio freqüència	2,4 GHz	Fins a 30 m	Senzill	Baix
WiFi	6 GHz	Fins a 20 m	Complex	Alt
Bluetooth	2,4 GHz	Fins a 100 m	Senzill	Baix
Xarxes mòbil	20 MHz	Fins a 30 m	Complex	Alt

*Taula 13: Comparativa entre mètodes de comunicació*

### 2.3.10. Microcontrolador

Aquest element funciona com a “cervell” de tot el sistema. Es capaç de realitzar diverses tasques o processos i té un cost reduït.

Es tracta d'un circuit integrat que consta d'un processador (CPU), d'unitats de memòria (ROM i RAM) i connexions d'entrada i sortida. Per tant, es pot considerar un PC de petites dimensions, tot i que la potència, processos a realitzar i emmagatzematge és molt més limitat.



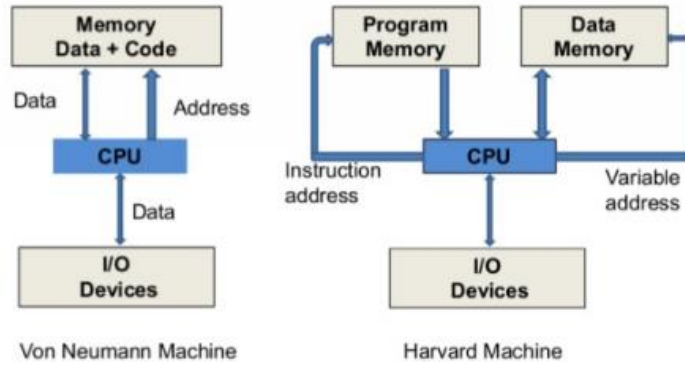
*Imatge 37: Esquema d'un microcontrolador*

El microcontrolador requereix d'un programa per fer una o diverses funcions específiques. Aquest codi s'emmagatzema a la memòria ROM. Sense cap programa carregat, el microcontrolador no fa cap funció, per tant, és essencial entendre i saber programar, per tal de dissenyar un bon sistema.

Aquests dispositius estan pensats per interpretar llenguatge màquina (zeros i uns). Tanmateix, aquest llenguatge és difícil d'entendre per les persones. És per això que la programació es fa amb llenguatge d'alt nivell. Normalment es fa servir el C o el BASIC o adaptacions d'aquests mateixos.

Els microcontroladors poden estar fabricats segons les següents estructures:

- **Von Neumann:** En aquest cas no es possible fer una operació i executar una instrucció al mateix temps degut a que es comparteix un bus de dades comú. Això fa que el microprocessador operi més lentament ja que no pot executar la següent instrucció mentre no acabi la operació amb les dades actual. Aquesta arquitectura no és gaire usada actualment.
- **Harvard:** En aquest cas es separa el bus per les instruccions i les dades. D'aquesta manera es poden executar instruccions mentre es consulten les dades necessàries. El processador pot treballar amb major velocitat. Es té una memòria per emmagatzemar el programa i una altre per les dades.



Imatge 38: Diferència entre l'arquitectura Von Neumann i Harvard [109]

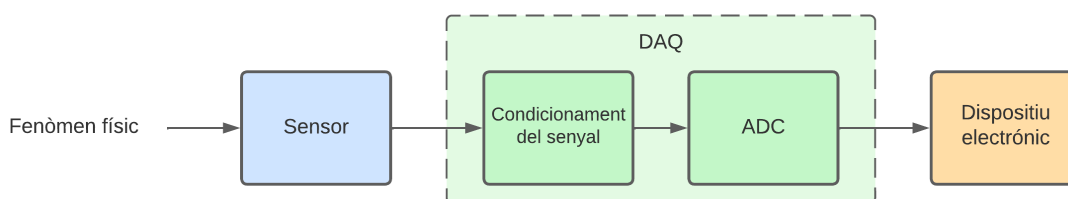
En el cas dels cotxes teledirigits és necessari tenir un microcontrolador connectat dins del cotxe per tal d'interpretar les senyals rebudes, podent canviar l'angle de gir, la velocitat o la direcció del cotxe. A més, també hi ha un altre microcontrolador al comandament a distància per tal de rebre les instruccions que li dona l'usuari (accelerador, direcció i gir). Aquestes instruccions es transformen en senyals elèctrics que són enviats cap al cotxe.

## 2.4. Sistema d'adquisició de dades

L'adquisició de dades (DAQ o DAS) consisteix en prendre mesures del món real i generar unes dades per després poder manipular-les en un dispositiu electrònic. D'aquesta manera es parteix de dades en format analògic que es converteixen en tensions elèctriques i es digitalitzen per poder ser processades. Un cop processada s'envia a un dispositiu electrònic com un ordinador o un microcontrolador que la manipula segons les necessitats de l'usuari.

Els DAQ més actuals consten de quatre elements essencials per la parametrització de fenòmens físics:

- Sensors
- Condicionament del senyal
- Convertidor Analògic/Digital (ADC)
- Dispositiu electrònic (Ordinador, microcontrolador, etc)



Imatge 39: Funcionament DAQ

En el cas de fer servir sensors connectats a un microcontrolador, el pas de condicionament i conversió ja el fa el dispositiu electrònic.

Els sistemes d'adquisició de dades es fan servir en un gran nombre de sectors. Des de aplicacions industrials, fins a competicions del món del motor, passant per una casa domòtica.

Tenir un element que recull mesures de sensors permet controlar paràmetres desitjats. Ja sigui en una màquina d'una fàbrica o la temperatura dins d'un habitacle.

En el sector de la competició és molt comú sensoritzar diferents elements per poder parametritzar-los i extreure el màxim del vehicle i del pilot. Quant més alt és el nivell de la competició més sensors i més paràmetres es poden controlar.

Tanmateix, és necessari separar un sistema d'adquisició amb la telemetria.

Un DAQ és tot aquell sistema que recull dades. Tot i així, no és necessari mostrar-les en temps real o poder manipular-les al moment. Quan les dades es reben a l'ordinador o dispositiu electrònic i es manipulen en temps real estem parlant de telemetria, que no deixa de ser un sistema d'adquisició de dades a temps real.

La telemetria és comuna a la indústria o als habitacles, ja que és necessari saber en tot moment l'estat del fenomen físic que estem mesurant per poder prendre les decisions adequades.

En quant a la competició, la telemetria es fa servir en categories d'alt nivell com la Formula 1 o LMDh del Mundial de Resistència. En categories inferiors o fins i tot en MotoGP, és comú tenir un sistema d'adquisició de dades sense enviament de dades en remot. De tal forma que les mesures preses no es poden recuperar fins que el vehicle torna al garatge.

### 3. Metodologia

El procés que es seguirà per completar aquest treball i assolir els objectius proposats es dividirà en diferents punts, per tal de seguir un ordre lògic i ordenat, assegurant un bon ritme de treball durant el transcurs projecte:

1. Recerca d'informació sobre els components del cotxe teledirigit.
2. Recerca d'informació sobre les diferents formes de comunicació inalàmbrica.
3. Disseny de la part electrònica del cotxe teledirigit.
4. Muntatge de la part electrònica del cotxe teledirigit.
5. Disseny del xassís del vehicle.
6. Disseny i càlculs de la transmissió del vehicle.
7. Simulació d'esforços, per tal d'assegurar un bon funcionament de la part mecànica.
8. Fabricació de la part mecànica del cotxe.
9. Assemblatge de tots els components del vehicle.
10. Probes de rodatge del vehicle.
11. Cost del disseny i fabricació del vehicle.
12. Conclusions.

Seguint aquest ordre, s'assegura un bon flux de treball. D'aquesta manera, dissenyant en primera instància la part electrònica del vehicle, es pot saber el volum que ocuparà la solució, facilitant el disseny del xassís, a més d'una millor distribució dels components.

Per poder realitzar aquest procés, seran necessàries diferents eines:

- Digitals:
  - Paquet Office
  - Navegador Web
  - Arduino IDE
  - Programa CAD (SolidWorks/Catia)
  - Programa de simulació d'esforços (SolidWorks/Catia)
  - Ultimaker Cura
  
- Físiques:
  - Protoboard
  - Arduino
  - Bateria
  - Impressora 3D
  - Motor
  - Mòduls per Arduino (Control de motors, receptor Bluetooth, etc)
  - Servomotor
  - Cargols i femelles
  - Sensors
  - Ordinador per dissenyar i desenvolupar



## 4. Plantejament i decisió sobre solucions alternatives

Un cop analitzats els components dels cotxes teledirigits, cal imposar uns requisits de funcionament i decidir una solució entre diferents possibles alternatives per a la fabricació del vehicle.

### 4.1. Requisits a complir

Partint de la informació donada amb anterioritat i de l'actual mercat de cotxes teledirigits, els requisits del vehicle a fabricar són els següents:

- El vehicle ha d'oferir prestacions similars a un cotxe teledirigit comercial.
- El sistema de comunicació ha de ser alternatiu a la solució actual del mercat.
- Disseny de software depurat i hardware senzill
- Oferir un disseny mecànic resistent i lleuger.
- Oferir una fabricació dels components econòmica i ecològica sense perdre prestacions.

### 4.2. Anàlisi de solucions alternatives

Un cop han estat analitzats els components d'un cotxe teledirigit i s'han acotat unes restriccions de disseny, cal plantejar diferents alternatives per als elements:

#### 4.2.1. Xassís

En quant al disseny del xassís, la decisió es troba entre els possibles materials i processos de fabricació de cada un:

- **Alumini:** La fabricació del xassís en alumini pot ser mitjançant un mecanitzat o per tall (làser o per aigua).
- **Plàstic:** La fabricació amb plàstic es pot fer per injecció o termoconformat. També s'ha de considerar la impressió 3D, que posa la fabricació de prototipatge a l'abast de tothom.

La impressió 3D, més concretament, la FDM (Fused deposition modeling) consisteix en fondre un fil de plàstic i mitjançant un extrusor, dipositar-lo per capes fins arribar a la peça o producte final. És una tecnologia assequible per qualsevol persona i es poden configurar els paràmetres d'impressió per tal d'aconseguir el millor disseny possible.

Dins del món de la impressió 3D, també s'ha de diferenciar entre diferents tipus de plàstics:

- **PLA:** És un dels plàstics més utilitzats en la tecnologia FDM. Es tracta d'un polièster biodegradable. És un material resistent, però no tolera bé el calor, començant a deformar-se a partir dels 60°. És la opció més usada en impressores de baix cost ja que es la més senzilla d'utilitzar.
- **ABS:** És un material provinent del petroli. És molt utilitzat a nivell industrial (LEGO). És molt resistent i és mal·leable, però difícil de trencar. Es desfà a partir dels 220 graus. És resistent a l'aigua i als productes químics. Té una alta capacitat de mecanitzat i és resistent als impactes. No es gaire adequat per a usos a l'aire lliure.
- **PETG:** És una alternativa a l'ABS i al PLA. És un filament molt resistent. Es sol utilitzar per fabricar peces mecàniques o per a la robòtica. Té un bon comportament a altes temperatures.

Material	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	Resistència a la tracció (MPa)	Mòdul de flexió (MPa)	Preu (€/kg)
PLA	1240	60	3600	≈ 15
ABS	1040	39	1900	≈ 20
PETG	1270	50	2150	≈ 25

Taula 14: Propietats plàstics impressió 3D

### Decisió final

Procés de producció	Material	Cost xassís	Volum de producció
Tall làser	Alumini	Alt	Grans o petites quantitats
Tall per aigua	Alumini	Alt	Grans o petites quantitats
Mecanitzat	Alumini	Molt alt	Grans o petites quantitats
Injecció	Plàstic	Baix	Grans quantitats
Termoconformat	Plàstic	Mitjà	Grans quantitats
Impressió 3D	Plàstic	Molt baix	Grans o petites quantitats

Taula 15: Comparació de processos de producció

Tot i que l'alumini presenta unes millors característiques que el plàstic, aquest projecte està destinat a dissenyar un cotxe teledirigit d'oci i no de competició. Per tant, no seria necessari que el xassís fos d'alumini, ja que el plàstic pot suportar els esforços del vehicle.

En quant a les opcions que presenta el plàstic, tant per la injecció com pel termoconformat és necessari crear un motlle. Per aquest motiu, per la producció d'un sol objecte, o una sèrie molt petita, aquests dos processos no serien els més adients.

En aquest projecte es decideix fer ús de la impressió 3D per la facilitat d'accés, el cost de producció i per la possibilitat de poder fer-lo servir en petites i grans sèries. Per la part del material, es creu que la millor opció és el PLA. Tant per propietats, com per preu, com per popularitat es considera que és el material més adient per la fabricació del xassís.

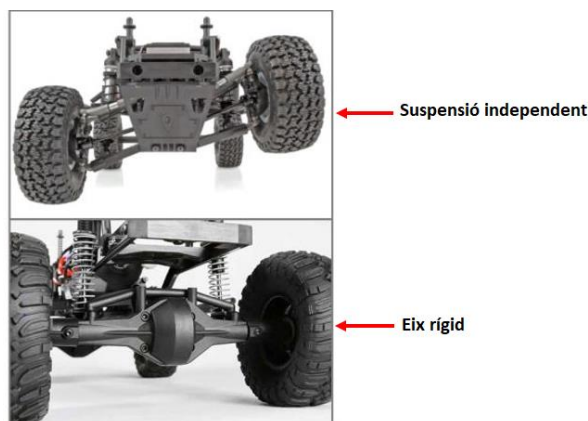


Imatge 40: Bobina de PLA [117]

## 4.2.2. Suspensió

En l'elecció de la suspensió, cal tenir en compte què s'incorporarà al vehicle. Hi ha diferents possibilitats:

- **Suspensió independent per a cada roda:** Cada roda té el seu amortidor i és independent de la resta.
- **Suspensió independent davant i eix rígid darrere:** Les rodes davanteres porten amortidors de forma independent mentre que darrere hi ha una suspensió comuna per ambdues rodes.
- **Eix rígid davant i darrere:** Tant la part davantera com la de darrera incorpora suspensió dependent
- **Sense suspensió davant i eix rígid darrere:** La part davantera no té suspensió i la de darrera es dependent.
- **Sense suspensió davant i suspensió independent darrere:** La part davantera no té suspensió i la de darrera es independent.
- **Sense suspensió davant i darrere:** El vehicle no té amortidors. Només per cotxes de pista.
- **Xassís separat amb amortidor:** El xassís està separat en dos parts que s'uneixen per un amortidor.
- **Suports flexibles:** Alternativa amb peces flexibles impreses en 3D. Es tracta dels suports que connecten l'eix de darrere i els eixos de roda davanteres al xassís. Al ser flexibles, poden absorbir irregularitats del terra, tot i que no són tan efectius com una suspensió normal.



Imatge 41: Tipus de suspensió [116]

### Decisió final

Al tractar-se d'un cotxe de pista, la irregularitat del terreny és mínima. És per això que no és necessari incorporar una suspensió molt agressiva.

Per evitar un sistema molt complex, i tenint en compte la superfície per on ha de rodar el vehicle, es descarta qualsevol opció amb suspensió independent.

Entre les opcions disponibles, es creu que la més convenient és la de crear unes peces flexibles, que facin d'unió entre els eixos i el xassís. D'aquesta manera, la pròpia peça serà la que absorbeixi qualsevol irregularitat i no és necessari crear un sistema de suspensió.

### 4.2.3. Neumàtics

En l'elecció de les rodes, cal tenir en compte aspectes com el diàmetre del neumàtic, el dibuix de la roda o el terreny per on anirà el cotxe.

Al tractar-se d'un cotxe que es dissenyarà per anar per pista, s'ha de descartar qualsevol neumàtic amb relleu o tacs, que són utilitzats en terrenys sorrenos on es necessita que la goma tingui bona adherència amb un terra relliscós.

El diàmetre i l'amplada del neumàtic també és important, ja que un diàmetre inadequat pot fer que el cotxe no pugui extreure de manera correcte la potència del motor o que siguin massa petites i el xassís toqui amb el terra de forma continuada.

#### Decisió final

Com que s'està dissenyant un cotxe pensat per anar per pista o asfalt, es creu convenient escollir uns pneumàtics llisos amb dibuixos, evitant que siguin completament *slicks* ja que no es vol que la roda patini amb freqüència.

En quant a la dimensió de les rodes, es creu convenient escollir un pneumàtic per vehicles d'escala 1/10, ja que es pretén dissenyar un cotxe de dimensions similars a la d'aquesta escala.



*Imatge 42: Roda coche RC*

#### 4.2.4. Servo

Per controlar la direcció d'un cotxe teledirigit, normalment es fa servir un servomotor. Per tant, l'elecció del millor component en aquest cas, es troba en el material dels engranatges interns i la força que es capaç de fer.

Els engranatges interns poden ser de plàstic o de metall. En el cas dels de plàstic solen suportar menors forces i el desgast és major que en els de metall. Per contra, els de metall solen ser més cars.

#### Decisió final

Es decideix fer servir un servo amb engranatges interns de metall. L'elecció ve donada per evitar possibles trencaments durant les sessions de rodatge. Com que es tracta d'un cotxe de dimensions similars a un cotxe d'escala 1/10, es creu convenient agafar el servo MG90S, amb unes característiques adients per la mida del vehicle:



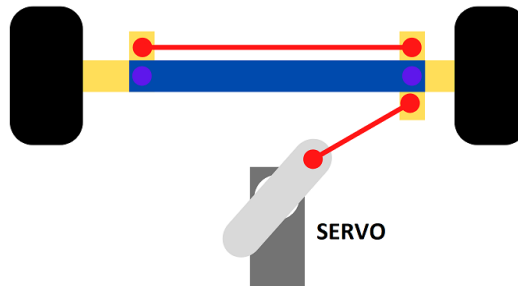
Operating Voltage	4.8V-6V
Operating Current (Idle)	10mA (Typical)
Operating Current (Movement)	100-250mA
Operating Current (Stall)	700mA
Operating Speed	0.1s/60° (4.8V), 0.08s/60° (6V)
Stall Torque	1.8kgf-cm (4.8V), 2.2 kgf-cm (6V)
Dead Band Width	5µs
Maximum Angle of Rotation	90°
Weight	13.4g
Cable Length	175 mm
Dimensions	22mm x 12mm x 28mm (0.8in x 0.4in x 1.1in)

Imatge 43: Servo MG90S

#### 4.2.5. Direcció

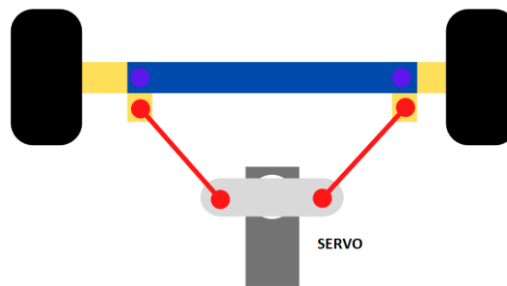
Tot i que el servo és qui controla la direcció, la forma en que es transmet el moviment i es connecta aquest element amb les rodes es pot dissenyar de diferents formes:

- El servo es connecta directament a una de les rodes. L'altre roda rep el moviment mitjançant una unió entre les dues rodes, però de manera indirecta amb el servo.



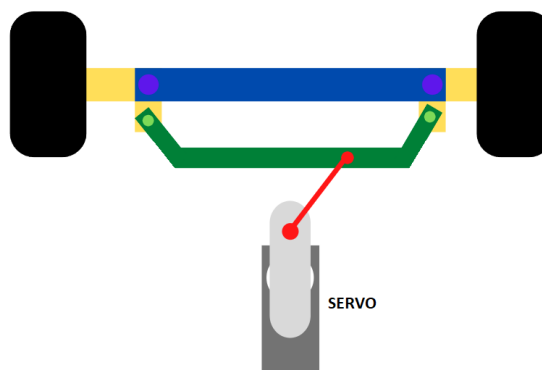
*Imatge 44: Disposició 1 direcció*

- Cada roda es connecta de forma independent a les rodes. D'aquesta manera el servo transmet el moviment de manera indirecte als neumàtics, però totes dues van connectades.



*Imatge 45: Disposició 2 direcció*

- El servo es connecta a un element intermedi. Aquest element és el que uneix ambdues rodes i els hi transmet el moviment del servo. D'aquesta manera s'eviten moviments independents de cada neumàtic.



*Imatge 46: Disposició 3 direcció*

#### Decisió final

S'escull dissenyar un sistema de direcció on el servo es connecti a un element auxiliar. Aquest element auxiliar es connectarà a ambdues rodes. Es creu que aquest disseny pot ser el més senzill a la vegada que un sistema robust i que no permeti que les rodes facin moviments no desitjats al tenir una mateixa connexió per les dues rodes.

#### 4.2.6. Motor

Com s'ha explicat amb anterioritat, existeixen diferents tipus de motors per al sector de l'auto modelisme, que són els següents:

- **Motor de benzina**
- **Motor elèctric brushless**
- **Motor elèctric brushed**

##### Decisió final

El motor de combustió queda descartat ja que aquest projecte vol fer servir un motor elèctric. Entre els dos tipus de motor elèctric, es creu més adient escollir el brushed. El motiu principal és que hi ha motors amb escombretes suficientment ràpids per aquest projecte. Cal tenir en compte que es tractarà d'un cotxe teledirigit d'oci i no per a competició, per tant, no és necessària fer una inversió superior si no es busca un rendiment major.

S'escull un motor de la marca Mabuchi, una marca molt coneguda en aquest sector. Concretament el model RS-540SH 6527, de preu econòmic però amb unes bones prestacions, que són més que suficients per el vehicle que s'està dissenyant.



*Imatge 47: Motor Mabuchi*

Les característiques que presenta són les següents:

	VOLTATGE		SENSE CÀRREGA		MÀXIMA POTÈNCIA		
	Rang d'operació V	Nominal V	Velocitat rpm	Intensitat A	Velocitat rpm	Intensitat A	Potència W
RS-540SH-6527	4,8-9,6	7,2	23400	1,6	20040	9,55	64,9

*Imatge 48: Característiques motor Mabuchi*

#### 4.2.7. ESC

En quant al controlador de velocitat, la elecció està entre dos tipus d'elements:

- ESC preparat per al sector de l'auto modelisme. Ja està programat i controla de forma automàtica la velocitat i direcció del motor.
- Pont en H o *driver* per motors. És un element que s'ha de fer funcionar a través d'un microcontrolador i programar prèviament. La seva funció és essencialment la mateixa d'un ESC però es pot utilitzar en altres sectors.

##### Decisió final

Es decideix escollir el pont en H, ja que permet la programació de l'element i fa que el projecte estigui més enriquit en la part electrònica.

En primera instància el driver escollit és el L298N, però es tracta d'un element per controlar motors de baixa potencia que arriben fins 1,6A. El Mabuchi escollit pot arribar a una potencia de gairebé 10A. És per això que finalment s'escull un pont en H per motors d'alta potencia BTS7960, el *driver* més habitual per aquest tipus de propulsors.

Aquestes són les seves característiques:



- Alimentación: 5.5 a 27V
- Corriente en reposo: 7 uA a 25 ° C.
- Capacidad de PWM de hasta 25 kHz combinada con activación
- Protección de sobrecorriente
- Bloqueo de sobretensión
- Intensidad maxima: 43 Amperios
- Circuito digital de control con entradas de nivel logico
- Velocidad de giro ajustable por PWM (hasta 25 KHz)

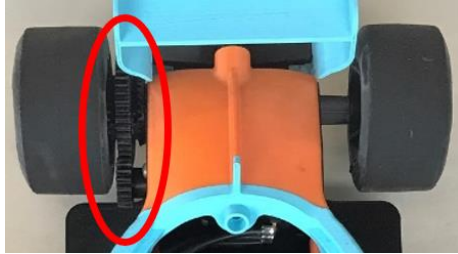
Imatge 49: BTS7960 [110]



#### 4.2.8. Transmissió

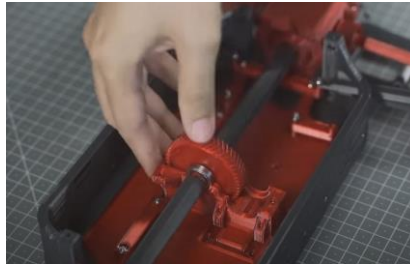
Per transmetre la potència del motor a les rodes es pot fer de diverses maneres que s'han explicat amb anterioritat:

- **Tracció posterior (2WD):** La potència del motor només es transmet a les rodes de darrere.



Imatge 50: Tracció posterior [118]

- **Tracció total (4WD):** La potència es transmet a les quatre rodes. Normalment es fa servir en cotxes *off-road*.



Imatge 51: Tracció total [120]

També es podria considerar la possibilitat de dissenyar una transmissió davantera. Tanmateix, és un sistema que en el sector de l'auto modelisme no és comú.

En qualsevol dels dos casos de tracció, el vehicle pot transmetre la potència del motor a les rodes de diverses maneres:

- **Corretjes:** En el cas d'un 2WD el motor incorpora una roda dentada on va una corretja fins l'eix de darrere, on hi ha una altra roda que rep el moviment de la corretja. En el cas d'un 4WD, s'incorporaria un altre engranatge al motor per tal de tenir una altre corretja a l'eix davanter.



Imatge 52: Transmissió per corretja [119]

- **Eix amb diferencials:** Del motor surt un eix. Aquest transmet la força a un diferencial a cada eix (4WD) o a un sol diferencial a la part de darrere (2WD)
- **Engranatges:** En els dos anteriors casos és necessari afegir aquest element. Tanmateix, si es tracta d'un cotxe de tracció posterior, es pot fer servir un sistema d'engranatges per la transmissió de potència.

## Decisió final

En cotxes per a pista es pot fer servir tant una transmissió total com una posterior. Tot i així, un sistema de tracció total suposa una major complexitat i menor espai al cotxe, ja que es necessita connectar tant l'eix davanter com l'eix posterior al motor.

Dit això, s'optarà per una tracció posterior. En quant al mètode de transmissió, es creu més adient dissenyar un sistema d'engranatges, ja que d'aquesta manera el motor es podrà col·locar a prop de l'eix de darrera i així es disposarà d'un major espai en la resta del vehicle.

## 4.2.9. Comunicació

Habitualment, en el sector de l'auto modelisme, la comunicació es sol fer mitjançant radio control. Tanmateix, hi ha altres possibilitats de comunicació amb el vehicle. Les opcions són les següents:

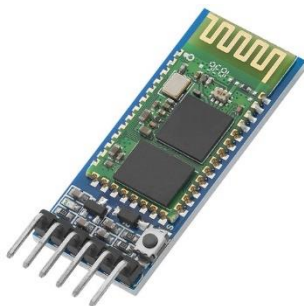
- **Radio control**
- **WiFi**
- **Xarxa mòbil**
- **Bluetooth**

A qualsevol de les opcions, és necessari tenir un receptor dins del cotxe i un emissor controlat per l'usuari.

### Decisió final

Un dels objectius del projecte és buscar un mètode alternatiu de comunicació al que està establert. Per aquest motiu, el control per radio freqüència queda descartat. Entre les altres opcions, es considera que la millor opció és que la comunicació es faci mitjançant Bluetooth. A l'hora de fer la programació i configuració entre emissor i receptor és més senzill que amb la resta d'opcions. Addicionalment, es considera que el Bluetooth permet a qualsevol usuari amb un telèfon mòbil intel·ligent poder fer ús del vehicle sense necessitat de tenir un comandament a distància addicional, fet que redueix el cost i la complexitat del sistema.

S'escull el mòdul Bluetooth HC-05 que té les següents característiques:



### Specifications

» Range:	up to 10m (class 2)
» Frequency:	2.45GHz
» Power supply:	3.3 to 5V
» Dimensions:	37mm + 8mm [1.45in + 0.3in], 15mm [0.6in], 2mm [0.07in]
» Device name:	HC-05
» Password:	1234
» Serial UART interface	

*Imatge 53: HC-05 [111]*

#### 4.2.10. Microcontrolador

A l'hora d'escollir el microcontrolador més adient, cal tenir en compte la potència del dispositiu, així com les dimensions i prestacions del mateix. Tot i que al mercat hi ha molts dispositius diferents, l'elecció es centrarà en els següents microcontroladors:

- **Arduino Uno:** Arduino és una plataforma de prototips electrònics de codi obert. Tot i que existeixen diverses versions d'Arduino, la placa més comuna es l'Uno. Aquesta plataforma permet l'entrada de diferents sensors i es poden controlar diversos perifèrics al mateix temps. L'entorn de programació es propi (Arduino IDE) tot i que està basat en C i C++. Aquesta placa conté un ATmega328 que opera a una velocitat màxima de 20MHz, compta amb diverses entrades i sortides tant digitals com analògiques i pins PWM. Es tracta d'un dispositiu molt versàtil a la vegada que econòmic.
- **Raspberry Pi 3:** Raspberry Pi és una sèrie de computadors de placa reduïda (SBC) de baix cost. El software és de codi obert i permet fer ús de molts tipus de sistemes operatius. La major diferència amb Arduino és la potència de processament. En el cas de la tercera generació, arriba a una velocitat de 1.4GHz.
- **Arduino Nano:** És una de les versions més petites d'Arduino. Conta amb un processador ATmega328 de 16MHz.
- **Raspberry Pi Pico:** Es tracta de la versió més petita de Raspberry. Té un processador dual-core amb una velocitat de 133 MHz.

#### Decisió final

Tot i que Raspberry té plaques més potents que les d'Arduino, en el cas d'aquest projecte, amb qualsevol dels Arduinos mostrats amb anterioritat són suficients. Una altre raó de pes per descartar la Raspberry Pi és un preu més elevat respecte a Arduino.

Entre les dues plaques d'Arduino, l'elecció es decanta per l'Uno. El motiu és una velocitat de processat més ràpida, adequada al propòsit d'aquest projecte. A més, també té una major memòria, que permet ampliar la funcionalitat del vehicle en un futur.



Imatge 54: Arduino Uno [112]

#### 4.2.11. Adquisició de dades

Per al sistema d'adquisició de dades, cal escollir els sensors i el microcontrolador adients. Tot i que en un DAQ es poden parametritzar diferents dades, només es seleccionaran les més bàsiques. També cal tenir en compte si es dissenyarà un sistema extern al de control de velocitat i direcció o un que estigui incorporat. Per tant, es tenen els següents ítems a tenir en compte en la decisió final:

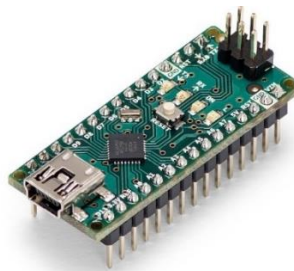
- **Sistema:** Si és extern o intern i si s'envien les dades en temps real o es guarden en un dispositiu d'emmagatzematge
- **Microcontrolador:** En l'elecció del microcontrolador es tindran en compte els següents dispositius:
  - Arduino Uno
  - Arduino Nano
  - Raspberry Pi 3
  - Raspberry Pi Pico
- **Sensors:**
  - Velocitat
  - Revolucions del motor
  - Voltatge i consum de la bateria
  - Posició del vehicle
  - Inclinació del vehicle
  - Acceleracions del vehicle
  - Temperatura
  - Pressió atmosfèrica
  - Gir de la direcció

##### Decisió final

En el cas de la adquisició de dades, es decideix crear un sistema extern al circuit de control del vehicle, de tal manera que es pugui fer servir en altres vehicles.

Per una altra part, s'ha decidit que el sistema emmagatzemarà les dades en una memòria SD, de tal manera que la lectura i anàlisi de dades es faci després de cada sessió i no de manera simultània.

En quant al microcontrolador, al ser un sistema extern i versàtil, ha de tenir un dispositiu de dimensions reduïdes, per tant, es decideix fer ús d'un Arduino Nano.



Imatge 55: Arduino Nano [113]

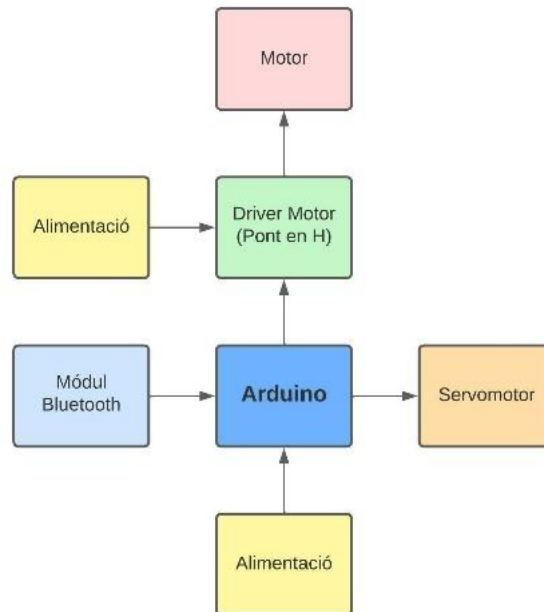
Finalment, els sensors que s'utilitzaran, serà un GPS, en concret el GY-NEO6M V2, que donarà la posició i velocitat del vehicle, a més de la hora i el dia de la mesura presa. També es farà ús de l'acceleròmetre MPU 6050, que a més de l'acceleració, incorpora un giroscopi per mesurar les inclinacions del vehicle i un sensor de temperatura.

D'aquesta manera es considera que amb els sensors escollits, el microcontrolador i el sistema d'emmagatzematge, s'aconseguirà un sistema d'adquisició de dades senzill però complet per al tipus d'ús que es farà.

## 5. Desenvolupament de la solució escollida

### 5.1. Disseny electrònic

El primer que es dissenyarà serà la part electrònica del cotxe teledirigit. Per aconseguir això, cal definir un primer esquema orientatiu de com serà el funcionament i connexió entre els diferents elements.



*Imatge 56: Esquema connexió motor i servo*

Per aconseguir tenir un circuit electrònic semblant a l'esquema anterior, cal començar per parts. D'aquesta manera es poden veure possibles inconvenients o errors en el disseny i muntatge. A mesura que s'obtinguin les diferents funcionalitats (Essencialment fer funcionar el motor i accionar el servomotor) i es verifiqui el correcte funcionament, s'uniran en un sol circuit.

D'entrada, la funcionalitat Bluetooth es deixarà de banda, i no s'incorporarà fins al final del disseny electrònic, quan s'hagi assegurat un correcte funcionament de les parts que assegurin la mobilitat del vehicle.

### 5.1.1. Servomotor

El primer que es començarà a dissenyar serà la part del servomotor. Aquest component serà l'encarregat de la direcció del cotxe.

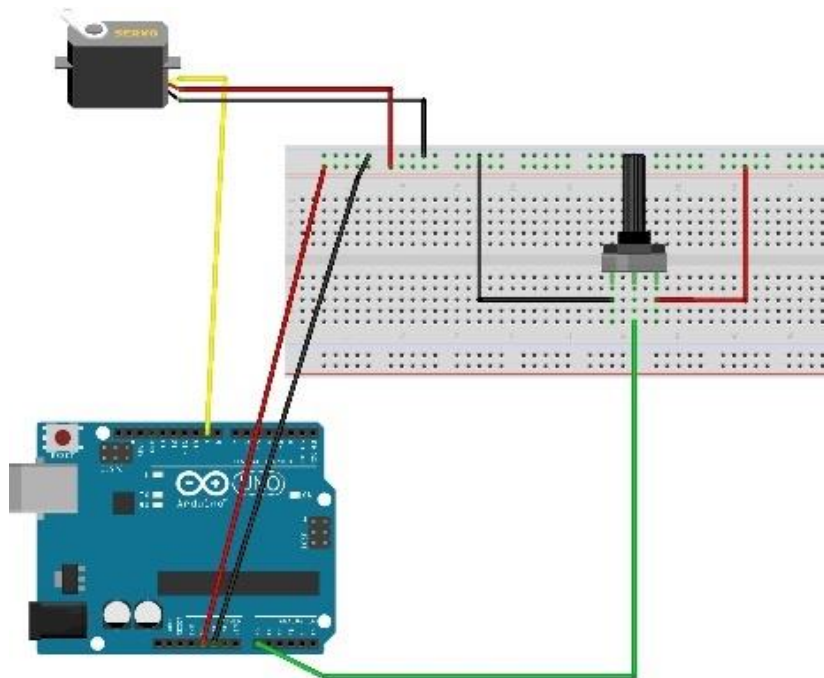
Per programar l'Arduino per controlar el servomotor, es farà servir un potenciòmetre, de manera que amb el gir del mateix, el servomotor, girarà.

El potenciòmetre té 3 potes, una pel voltatge, l'altre és la sortida i la tercera es el GND. La sortida del potenciòmetre ha d'anar connectada a una entrada analògica del microcontrolador, que té una resolució de 10 bits, tenint fins a 1024 valors diferents. Amb la següent fórmula es pot determinar quin serà el canvi de voltatge entre diferents valors, l'anomenada sensibilitat:

$$S = \frac{V_{FS}}{2^N} = \frac{5V}{2^{10 \text{ bits}}} = \frac{5}{1024} = 0.004V$$

D'aquesta manera, es pot confirmar que la diferència de voltatge entre diferents valors serà de 0,004 volts.

L'esquema de muntatge és el següent:



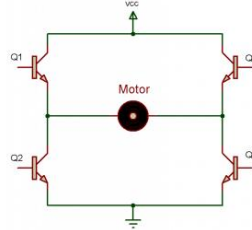
Imatge 57: Esquema connexió servo

El potenciòmetre es connecta a una de les entrades analògiques de la placa d'Arduino. En el cas del servo, es connecta a una entrada digital amb PWM, donat el funcionament d'aquest element explicat anteriorment. El codi es pot trobar en l'apartat 1.1 de l'annex.

### 5.1.2. Motor

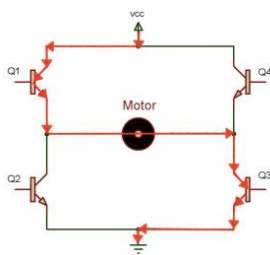
Caldrà incorporar un pont en H entre l'Arduino i el motor.

Aquest circuit electrònic anomenat pont en H, ens permet canviar la direcció de circulació de l'electricitat. Això ho aconsegueix gràcies a quatre transistors connectats.

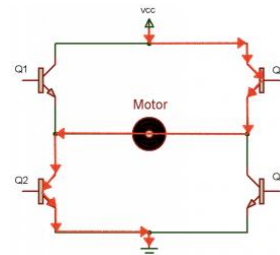


Imatge 58: Esquema pont en H [63]

D'aquesta manera, quan el corrent circula en un sentit, s'activen dos transistors, mentre que si la corrent circula en el sentit oposat, s'activen els altres dos.

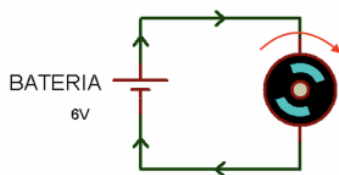


Imatge 59: Funcionament pont en H dreta [63]

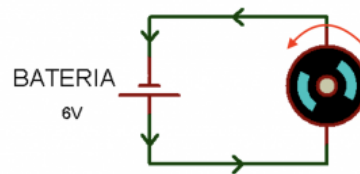


Imatge 60: Funcionament pont en H esquerra [63]

La necessitat d'incorporar aquest circuit al sistema electrònic ve donada per la naturalesa del motor. Al ser un motor de corrent continu, es pot canviar el sentit de gir canviant la polaritat del motor.

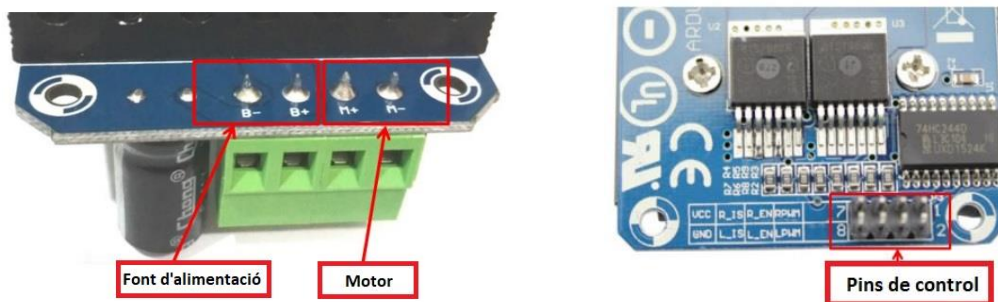


Imatge 61: Gir motor dreta [63]



Imatge 62: Gir motor esquerra [63]

En el cas d'aquest projecte es farà servir el mòdul BTS7960 preparat per motors d'alta potencia. Aquest controlador de motors compta amb un total de 12 pins:



Imatge 63: Pins de connexió BTS7960

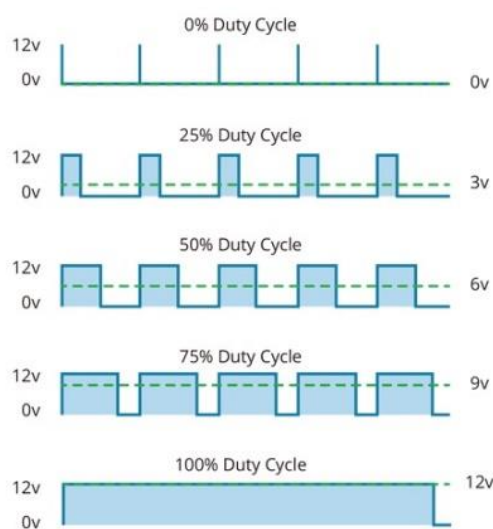


Nº de pin	Nom	Descripció
1	RPWM	Endavant o PWM (Actiu nivell alt)
2	LPWM	Endarrere o PWM (Actiu nivell alt)
3	R_EN	Habilitació endavant (Actiu nivell alt)
4	L_EN	Habilitació endarrere (Actiu nivell alt)
5	R_IS	Sensor de corrent endavant
6	L_IS	Sensor de corrent endarrere
7	Vcc	Positiu microcontrolador
8	GND	Negatiu microcontrolador
9	B+	Positiu font d'alimentació (6-27VDC)
10	B-	Negatiu font d'alimentació
11	M+	Positiu motor
12	M-	Negatiu motor

Taula 16: Descripció pins BTS7960 [110]

Els pins RPWM i LPWM cal que estiguin connectats a un pin de l'Arduino que tingui la funció de PWM si es vol fer un control de la velocitat.

Aquest mètode permet ajustar el voltatge que li arriba al motor en funció de la durada de les pulsacions on el voltatge mig és proporcional a l'amplada de polsos. Així doncs, el motor girarà a una determinada velocitat en funció de l'amplada de pols que se li apliqui. D'aquesta manera, es té la següent figura:



Imatge 64: Funcionament pont en H segons PWM [64]

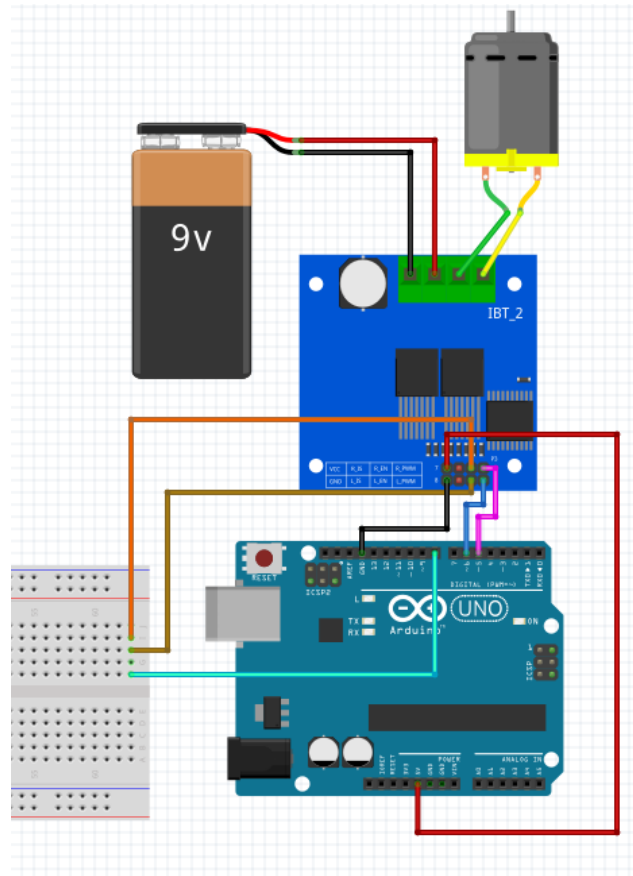


Els connectors R\_EN i L\_EN cal que estiguin connectats si es vol habilitar les funcions d'avanc i retrocés. Si es vol que el cotxe teledirigit només tingui el moviment cap endavant, cal desconnectar L\_EN.

Adicionalment tenim els pins R\_IS i L\_IS. Aquests ens permeten sensoritzar la intensitat tant d'avançada com de retrocés del pont.

### Motor sense control de velocitat ni gir:

Un cop analitzat el funcionament i la utilitat de cada pin, és hora de fer el primer muntatge. L'esquema és el següent:



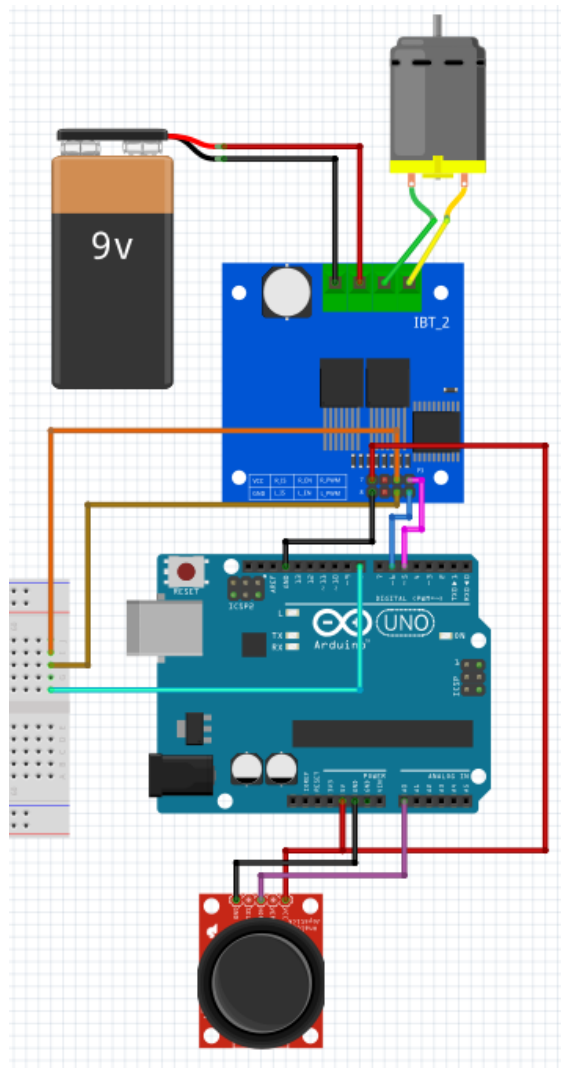
Imatge 65: Esquema connexió motor

Els pins 1 i 2 del pont es connecten a senyals PWM de l'Arduino per poder controlar la velocitat. Com que en el cas del cotxe teledirigit es vol que pugui anar cap endavant com endarrere, es connecten els pins R\_EN i L\_EN a qualsevol entrada de l'Arduino per tal de deixar-los actius.

El programa permetrà girar segons la direcció i la velocitat imposada dins del codi, però no hi haurà manipulació externa. El codi es troba a l'apartat 1.2 de l'annex.

### Motor amb control per *joystick*:

Un cop comprovat el funcionament sense control de la velocitat, es passa a afegir un *joystick* que controlarà tant el sentit de gir com la velocitat del motor. L'esquema de muntatge és el següent:



Imatge 66: Esquema connexió motor amb joystick

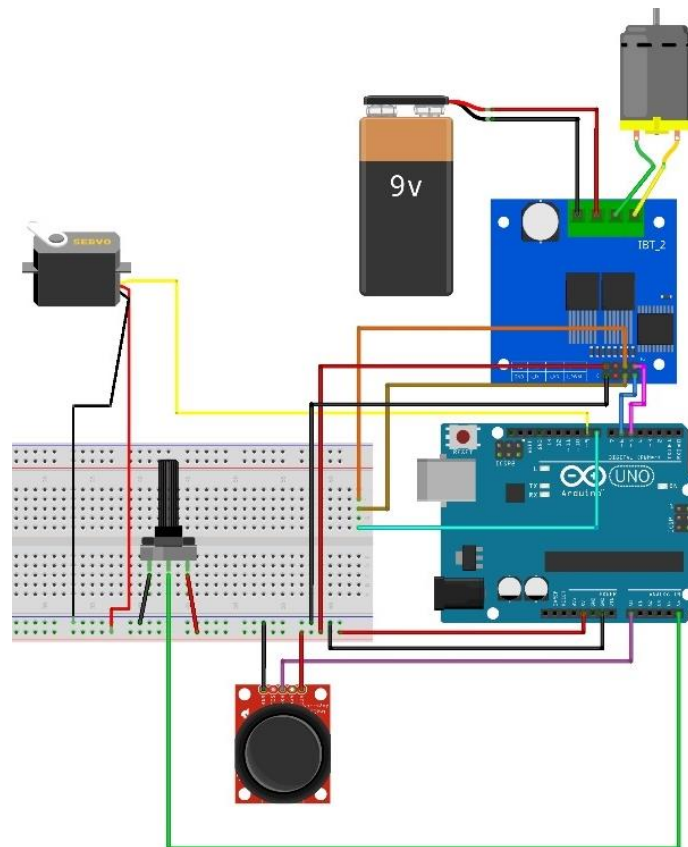
En aquest cas, només es connecta una de les components (vertical o horitzontal). El codi es troba a l'apartat 1.3 de l'annex.

En aquest programa, el *joystick* controla la velocitat i sentit de gir del motor. Si es mou cap endavant, el motor girarà a dretes, variant la seva velocitat fins al màxim recorregut de la palanca. En canvi, si el *joystick* es mou cap endarrere, el motor girarà a esquerres, controlant la velocitat de la mateixa forma. En el cas de que el comandament estigui centrat, amb un marge endavant i endarrere, el motor romandrà aturat.

### 5.1.3. Combinació servo i motor

Un cop s'ha fet el muntatge de prova tant per la direcció com pel motor es muntarà el circuit de tal manera que es pugui controlar a l'hora el servo com el motor. Per aconseguir això, es faran servir com a base els esquemes de connexió prèviament mostrats per tal d'unir aquestes dues funcions.

Per tant, es tindrà el següent esquema per les dues funcionalitats presentades anteriorment:



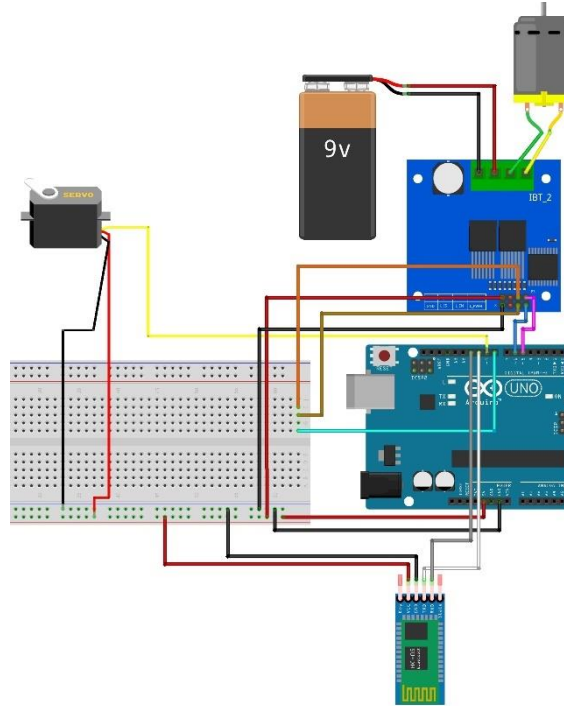
Imatge 67: Esquema connexió servo i motor amb joystick i potenciòmetre

El programa fet servir per aquest muntatge es pot trobar a l'apartat 1.4 de l'annex.

### 5.1.4. Control remot

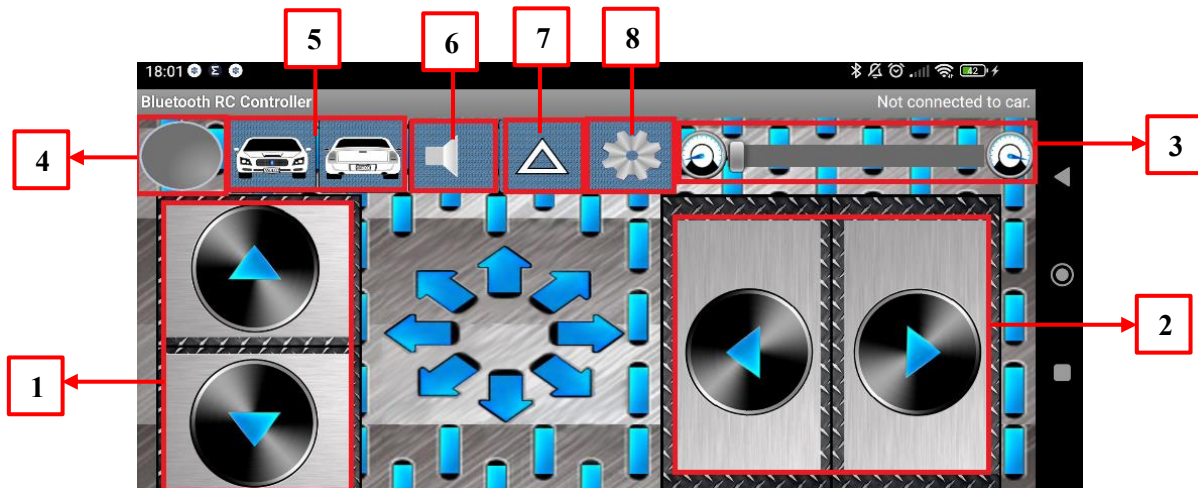
Després de fer la unió del motor i el servo en un mateix circuit, és el moment de substituir les entrades analògiques de control. Per això, es retirarà el joystick i el potenciòmetre i s'afegirà el mòdul Bluetooth per al control remot.

Així queda l'esquema de muntatge:



Imatge 68: Esquema de connexió final motor i servo

Pel comandament del motor i el servo es farà servir una aplicació de mòbil disponible a Play Store.



Imatge 69: App 1

Nº	Funció
1	Endavant/Endarrere
2	Esquerre/dreta
3	Velocitat
4	Estat de connexió
5	Llums
6	Botzina
7	Botó extra
8	Configuració

*Taula 17: Funcions app 1*

Tot i tenir diverses funcionalitats, en aquest cas només es farà servir el control de direcció i velocitat. Aquesta app envia una lletra en funció de l'estat que es vol tenir en el vehicle:

```

Forward -> F
Back -> B
Left -> L
Right -> R
Forward Left -> G
Forward Right -> I
BackLeft -> H
Back Right -> J
Stop -> S
Front Lights On -> W (upper case)
Front Lights Off -> w (lower case)
Back Lights On -> U (upper case)
Back Lights Off -> u (lower case)
Horn On -> V (upper case)
Horn Off -> v (lower case)
Extra On -> X (upper case)
Extra Off -> x (lower case)
Speed 0 -> 0 (zero)
Speed 10 -> 1
Speed 20 -> 2
Speed 30 -> 3
Speed 40 -> 4
Speed 50 -> 5
Speed 60 -> 6
Speed 70 -> 7
Speed 80 -> 8
Speed 90 -> 9
Speed 100 -> q
Stop All -> D

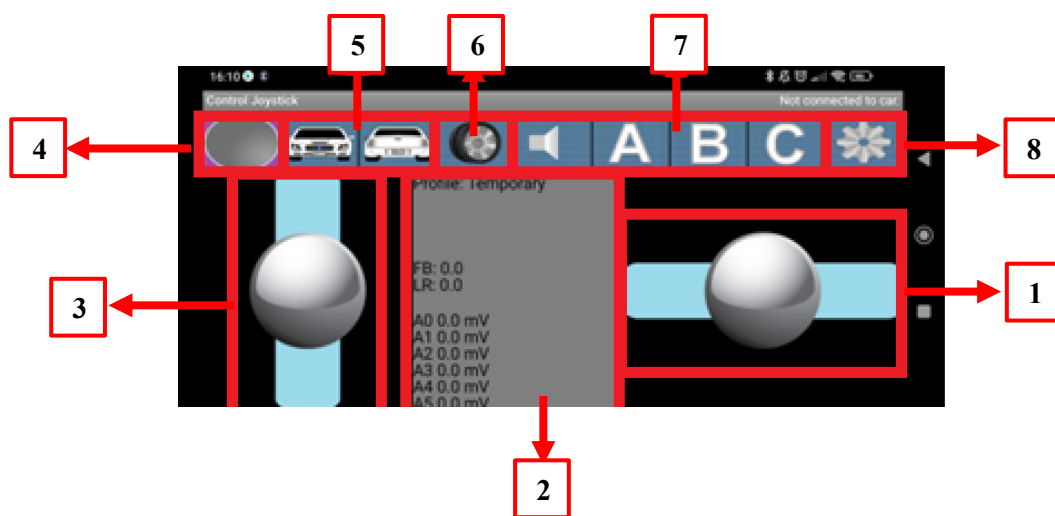
```

*Imatge 70: Relació d'instruccions i caràcters enviats*

D'aquesta manera, l'Arduino rebrà una lletra diferent que haurà d'interpretar i enviar el senyal corresponent a cada un dels components. El programa necessari per fer funcionar aquest exemple es troba a l'apartat 1.5 de l'annex (pagina 9).

Segons el codi, cal programar cada cas o ordre (caràcter rebut). Això permet el control del vehicle, però de manera senzilla, ja que s'estableix una velocitat i angle de gir concret abans de poder moure el cotxe en la direcció desitjada.

Es per aquest motiu que cal donar un pas més. D'aquesta manera es podrà tenir un control més precís del vehicle, variant tant la velocitat com l'angle de gir (en un rang determinat). Per tant, en aquest cas es farà servir una versió més complexa de la aplicació mòbil anterior:



Imatge 71: App 2

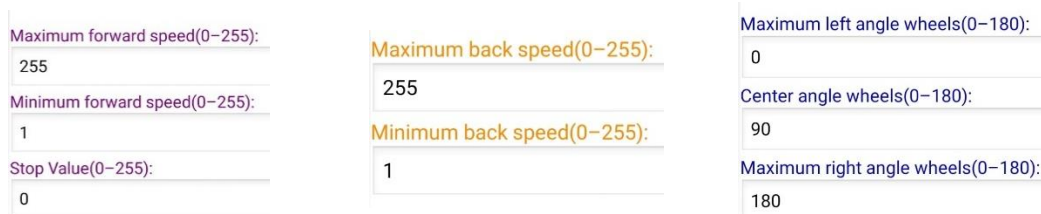
Nº	Funció
1	Control de direcció del servo (Esquerre/dreta)
2	Panell de dades/paràmetres
3	Control de direcció i velocitat motor (Endavant/Endarrere)
4	Estat de connexió Bluetooth
5	Llums
6	Servo addicional
7	Botzina i botons addicionals
8	Configuració

Taula 18: Funcions app 2

Segons la imatge anterior, els *joystick* de l'aplicació permeten un control precís de la velocitat i direcció del motor i l'angle de gir que ve donat pel servo. Addicionalment, aquesta app incorpora un panell de dades i paràmetres (punt 2 a la figura anterior). En aquest panell es pot observar l'angle de gir del servo (0-180°) i la posició de l'accelerador. També es poden llegir fins a 6 sensors, tot i que no es faran servir en aquest cas.

La aplicació presenta diverses funcions més com encendre o apagar llums (punt 5) i el control d'un altre servo (punt 6) que encara no s'explorà en el marc d'aquest treball.

Dins de l'apartat de configuració (punt 8 de la figura anterior) es permet canviar el rang de velocitat i angle dels components. D'aquesta manera es pot controlar la velocitat màxima i mínima, tant endavant com endarrere, el valor de velocitat que es vol quan tenim el *joystick* aturat i també l'angle mínim i màxim a la direcció del vehicle i l'angle central del servo. Aquesta es una opció interessant ja que permet canviar els paràmetres sense haver d'entrar a la programació del microcontrolador.



The image shows a configuration interface with several input fields:

- Maximum forward speed(0-255): 255
- Minimum forward speed(0-255): 1
- Stop Value(0-255): 0
- Maximum back speed(0-255): 255
- Minimum back speed(0-255): 1
- Maximum left angle wheels(0-180): 0
- Center angle wheels(0-180): 90
- Maximum right angle wheels(0-180): 180

Imatge 72: Modificació de paràmetres des d'app

A diferència de l'aplicació anterior, en aquesta no s'envien caràcters sinó 4 bytes que determinen quina acció s'està demanant. D'aquesta manera tenim el següent:

Nº de byte	0	1	2	3
<b>Moviment del vehicle</b>	0xF1	Velocitat endavant	Angle de direcció	Estat del botó
	0xF2	Velocitat endarrere	Angle de direcció	Estat del botó
	0xF3	Motor aturat	Angle de direcció	Estat del botó
<b>Servo addicional</b>	0xF4	Inclinació esquerre-dreta	Inclinació amunt-avall	Estat del botó
<b>Tot aturat</b>	0xF5	Motor aturat	Direcció centrada	Estat del botó
<b>Mida informació</b>	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte
<b>Total</b>	4 Bytes			

Taula 19: Informació enviament app 2 [114]

Com s'observa a la taula anterior, des de l'aplicació s'envia un paquet de 4 Bytes que conté tota la informació necessària per moure el cotxe teledirigit. El primer byte (0) és el que indica quin tipus d'informació seran els dos següents bytes, de manera que si està entre 0xF1-0xF3 el que es controla és el moviment del vehicle, sent el segon byte (1) dedicat a la velocitat i direcció de moviment i el tercer byte (2) destinat a l'angle de servo. En el cas de rebre en el byte 0 un 0xF5, el motor queda aturat i la direcció centrada, mentre que si es rep un 0xF4, el segon byte (1) controla la inclinació a esquerre/dreta i el tercer byte (2) controla la inclinació amunt i avall.

Cal tenir en compte que aquesta informació ve en forma hexadecimal, és a dir que tenim 255 valors. En el cas del motor no és problema, ja que la velocitat es controla amb tots els valors disponibles. Tanmateix, no és el cas del servo, on només tenim un rang de 0 a 180, per tant, en el programa de l'Arduino caldrà fer una filtració de valors, de tal manera que tot i tenir el rang ben posat a la app, no es doni la possibilitat de rebre un valor erroni i sobrepassar els 180 permesos de manera accidental.

El codi desenvolupat per aquesta funcionalitat es troba a l'apartat 1.6 de l'annex.

## 5.2. Adquisició de dades

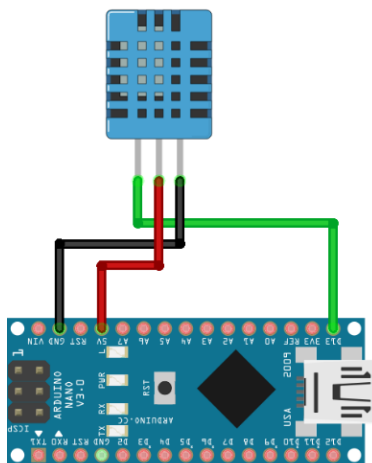
El sistema d'adquisició de dades, com ja s'ha comentat amb anterioritat, serà independent del sistema de direcció i transmissió, permetent crear un DAQ genèric i amb la possibilitat de muntar-lo a altres vehicles.

Abans de muntar el sistema complet, es farà una comprovació individual de cada component per entendre i verificar el seu funcionament. Finalitzat l'anàlisi individual de cada element, es farà el muntatge complet del sistema d'adquisició de dades.

### 5.2.1. Sensor de temperatura

Per començar, es programarà el sensor de temperatura. Aquest element pot detectar tant la temperatura com la humitat de l'ambient.

La connexió d'aquest sensor és senzilla, ja que només té 3 pins. Un pel GND, un altre per l'alimentació i un tercer que es el que s'utilitza per les dades. Amb el sensor DHT11 cal connectar una resistència entre els pins de VCC i de dades per assegurar una bona lectura. Tanmateix, el component utilitzat és un mòdul que ja incorpora una resistència de 10k $\Omega$  dins de la PCB. Per tant, l'esquema de muntatge queda de la següent forma:



*Imatge 73: Esquema de connexió sensor temperatura*

Tot i que les dades recollides són analògiques, el mateix sensor fa la conversió a digital, per això es connecta a un dels pins digitals.

El programari d'aquest apartat es pot trobar al punt 1.7 de l'annex.

Com s'indica en el codi de programació, és necessari importar una llibreria creada per aquest tipus de sensor. En el serial, es veuria de la següent forma:

```

17:59:18.627 -> Error número: -3 --> Unknown error
17:59:20.635 -> Error número: -3 --> Unknown error
17:59:22.691 -> Lectura correcte --> Temperatura = 21.00°C Humitat = 57.00%
17:59:22.737 ->
17:59:24.699 -> Lectura correcte --> Temperatura = 21.00°C Humitat = 57.00%
17:59:24.745 ->
17:59:26.701 -> Lectura correcte --> Temperatura = 20.00°C Humitat = 58.00%
  
```

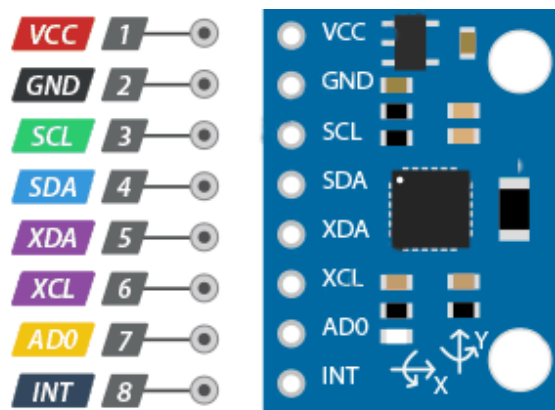
*Imatge 74: Lectura sensor humitat i temperatura*



## 5.2.2. Acceleració

El següent sensor que s'introduirà és el d'acceleració. Aquest element permet mesurar l'acceleració lineal en forma de forces G. També incorpora un giroscopi, permetent mesurar l'angle de rotació en els tres eixos. Addicionalment, el mòdul MPU-6050 té un sensor de temperatura, per tant, es farà servir aquest mòdul per mesurar tant les acceleracions i rotacions, com la temperatura. Això permetrà poder substituir el sensor anterior, podent fer les mesures amb un sol element, reduint espai físic i espai en el software a desenvolupar.

Com es mostra a la figura següent, el mòdul MPU6050 té 8 pins de connexió:

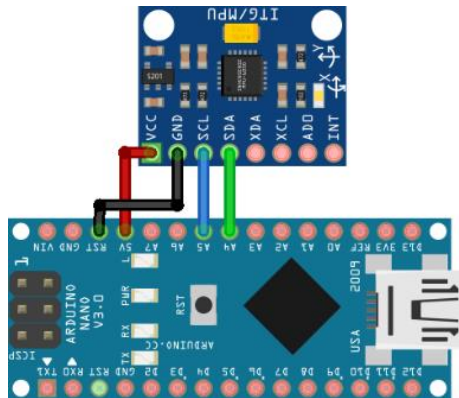


Imatge 75: Pins MPU-6050 [68]

Nº	Nom	Descripció
1	VCC	Connexió a la font d'alimentació
2	GND	Connexió a terra
3	SCL	Pin de relloige comunicació I2C. Es connecta al SCL de l'Arduino
4	SDA	Pin de dades comunicació I2C. Es connecta al SDA de l'Arduino
5	XDA	Pin dades I2C extern. Per a sensors externs
6	XCL	Pin de relloige I2C extern
7	AD0	Pin per canviar la direcció I2C interna. Per a conflictes amb altres dispositius I2C o per dos MPU-6050
8	INT	Sortida d'interrupció. Es pot programar

Taula 20: Descripció pins MPU-6050 [68]

Tot i tenir 8 pins. Per fer-lo funcionar només en calen 4, que són l'VCC i el GND per l'alimentació, i els pins 3 i 4 per la presa de dades. La resta es pot deixar sense connectar en el cas d'aquest projecte. Per tant, la connexió és molt senzilla i queda de la següent forma:



Imatge 76: Esquema de connexió MPU-6050

Els pins SCL i SDA és necessari connectar-los a uns pins en concret, com a la figura anterior, per poder fer correctament la comunicació amb el protocol I2C. El programa per aquest component es pot trobar a l'apartat 1.8 de l'annex.

Per poder executar correctament el programa i que el mòdul pugui mesurar correctament, es necessari incloure unes llibreries que permeten l'ús del MPU6050 i la comunicació entre dispositius I2C.

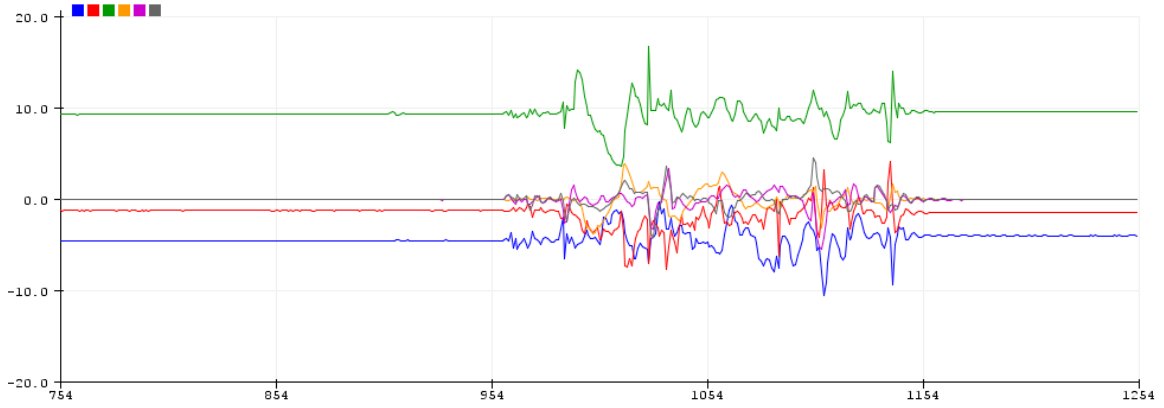
Un cop executat el programa, les dades queden mostrades de la següent forma:

```
21:31:04.971 -> Acceleració --> X: -6.05, Y: -4.90, Z: 9.64 [m/s^2]
21:31:05.063 -> Rotació --> X: -1.55, Y: 1.28, Z: -1.59 [rad/s]
21:31:05.110 -> Temperatura: 24.72 °C
21:31:05.110 ->
21:31:05.576 -> Acceleració --> X: 1.72, Y: -3.11, Z: 10.77 [m/s^2]
21:31:05.622 -> Rotació --> X: 0.33, Y: 1.10, Z: -0.45 [rad/s]
21:31:05.667 -> Temperatura: 24.75 °C
21:31:05.667 ->
21:31:06.136 -> Acceleració --> X: -0.06, Y: -5.63, Z: 9.27 [m/s^2]
21:31:06.183 -> Rotació --> X: -1.22, Y: -1.95, Z: -0.03 [rad/s]
21:31:06.230 -> Temperatura: 24.77 °C
```

Imatge 77: Dades de l'MPU-6050

Amb aquest mateix mòdul, i modificant algunes línies de codi, es poden aconseguir graficar en temps real les mesures preses pel sensor. El codi es troba a l'apartat 1.9 de l'annex.

El resultat en forma de gràfic, seria el següent:



*Imatge 78: Gràfic de l'MPU-6050*

### 5.2.3. GPS

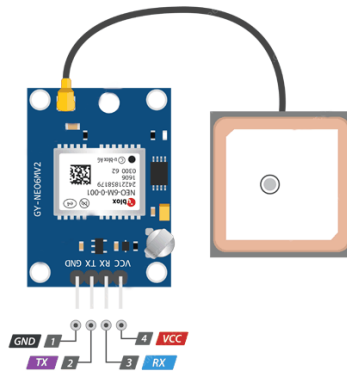
L'últim sensor que es farà servir pel sistema d'adquisició de dades serà un mòdul de GPS. Aquest dispositiu permet obtenir entre d'altres el temps, la longitud, latitud, velocitat i moltíssimes altres dades, per tant, és un mòdul molt interessant per obtenir diferents tipus de dades.

Aquest mòdul ve amb el chip NEO-6M integrat que és el que proporciona les dades de GPS. Pot rastrejar més de 20 satèl·lits i el seu nivell de sensibilitat és molt alt. Addicionalment, incorpora un connector per una antena, que permet rebre senyals de radio dels satèl·lits.

El mòdul també disposa d'un led. Quan aquest no s'encén vol dir que s'està buscant satèl·lits amb qui establir connexió. Quan comença a parpellejar cada segon, vol dir que ha establert connexió i es poden recuperar les dades.

Com molts altres components, el chip GPS funciona a un voltatge d'entre 2,7 i 3,6V. Per tant, incorpora un regulador de 3,3V que permet poder connectar-lo a l'Arduino sense problemes.

El connexionat d'aquest dispositiu és molt senzill, ja que només es necessiten 4 pins:

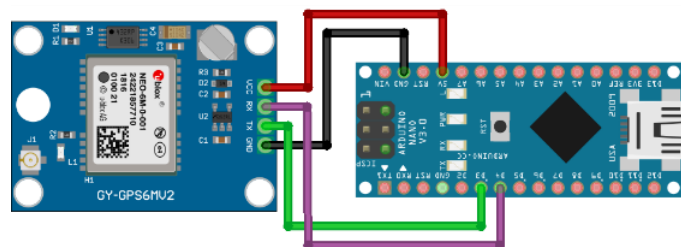


Imatge 79: Pins GPS [71]

Nº	Nom	Descripció
1	GND	Connexió a terra
2	TX	Pin de transmissió
3	RX	Pin de recepció
4	VCC	Connexió font alimentació

Taula 21: Descripció pins GPS [71]

Els pins TX i RX no tenen una posició concreta, ja que al programa s'indicarà els pins escollits per fer la connexió serial. Per tant, es podrien posar a qualsevol pin digital. Així queda l'esquema:



Imatge 80: Esquema de connexió GPS

La programació és molt senzilla. A més, permet rebre informació tan bon punt el GPS estableix connexió amb algun satèl·lit. El codi desenvolupat es troba a l'apartat 1.10 de l'annex.

Amb aquest programa obtenim les dades del GPS, tot i que són sense tractar, per tant, es mostren així:

```
12:24:53.888 -> $GPGGA,112407.00,4139.17604,N,00212.58497,E,1,06,1.43,234.2,M,49.2,M,,*51
12:24:53.982 -> $GPGSA,A,3,20,07,11,09,06,30,,,,,,,,,6.25,1.43,6.08*02
12:24:54.028 -> $GPGSV,3,1,12,02,03,329,,04,15,065,,05,09,305,,06,47,211,25*78
12:24:54.122 -> $GPGSV,3,2,12,07,68,122,25,09,50,055,19,11,53,270,24,13,05,249,*7D
12:24:54.169 -> $GPGSV,3,3,12,16,06,041,,20,45,308,26,29,01,328,12,30,46,185,26*7B
12:24:54.261 -> $GPGLL,4139.17604,N,00212.58497,E,112407.00,A,A*65
12:24:54.821 -> $GPRMC,112408.00,A,4139.17606,N,00212.58467,E,0.616,,301022,,A*7D
12:24:54.867 -> $GPVTG,,T,,M,0.616,N,1.141,K,A*27
```

*Imatge 81: Dades del GPS*

Aquestes dades són sentències NMEA (*National Marine Electronics Association*). Es tracta del format estàndard dels missatges de tots els receptors GPS. Cada frase té dades separades per comes per poder fer un tractament més fàcilment. Aquestes frases s'envien amb un interval establert. Normalment s'actualitza la informació un cop per segon (1Hz), però es pot canviar perquè s'actualitzi 5 vegades cada segon (5Hz).

Les frases que s'envien són les següents:

- **GPGGA:** *Global Positioning System Fix Data*. Proporciona la hora (UTC), latitud, longitud i latitud, la qualitat de connexió i el nombre de satèl·lits entre d'altres.
- **GPGSA:** Precisió del GPS i satèl·lits actius
- **GPGSV:** Satèl·lits. Proporciona el número de missatges, el número de cada missatge i informació sobre els satèl·lits.
- **GPGLL:** Posició geogràfica, latitud, longitud i temps.
- **GPRMC:** Dades de GPS mínimes recomanades. Temps, avís de navegació, velocitat en nusos, variació magnètica, etc.
- **GPVTG:** Informació de rumb i velocitat relativa al terra.

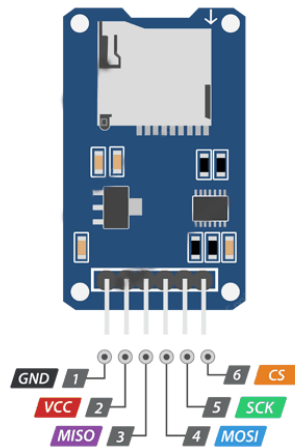
### 5.2.4. Mòdul SD

L'emmagatzematge del DAQ es farà mitjançant una targeta SD. D'aquesta manera, quan s'acabi una sessió de rodatge, es pot recuperar la informació mesurada i tractar-la de la manera més adient.

Per això, és necessari implementar un mòdul que permet inserir una targeta d'aquest tipus i poder gravar informació.

El mòdul incorpora un regulador que fa operar la targeta a 3,3V, ja que aquest és el seu voltatge de treball. Si la tensió supera els 3,6V podria fer malbé la memòria. En el cas de no tenir aquest regulador, seria necessari connectar al mòdul al pin de 3,3V de l'Arduino.

En quant a les connexions, el mòdul té 6 pins:



Imatge 82: Pins del lector SD [69]

Nº	Nom	Descripció
1	GND	Connexió a terra
2	VCC	Connexió font d'alimentació
3	MISO	<i>Master Input Slave Output</i> Pin de transmissió (sortida)
4	MOSI	<i>Master Output Slave Input</i> Pin de recepció (entrada)
5	SCK	Relloige Sincronitza els dispositius
6	CS	<i>Chip Select</i> Activa la comunicació

Taula 22: Descripció pins lector SD [69]

Aquest mòdul fa servir la comunicació Bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Aquest és un estàndard de comunicació que es fa servir per la transferència d'informació entre dispositius electrònics. Les dades es transmeten en paquets de bits regulats per un rellotge, que estableix una comunicació síncrona.

El protocol SPI té una estructura *Master – Slave*. Això significa que el dispositiu mestre és el que inicia la comunicació i pot rebre i enviar informació amb l'esclau. L'*Slave* no pot iniciar mai la comunicació ni pot intercanviar dades amb altres esclaus.

En el bus SPI la comunicació entre el mestre i l'esclau es fa en dues línies independents (*Master-Slave / Slave-Master*). D'aquesta manera s'obté una comunicació *Full Duplex*, és a dir, que el mestre pot rebre i enviar dades de manera simultània. Si la comunicació fos d'una sola línia per rebre i enviar la informació es parlaria d'un *Half Duplex*.

Amb tot això, una comunicació SPI requereix d'un mínim de 3 línies més el selector:



*Imatge 83: Esquema Master-Slave [70]*

Com es veu a la figura anterior es té una senyal de rellotge, que sincronitza el dispositiu. La línia MOSI estableix la comunicació del mestre a l'esclau, mentre que la MISO fa el mateix però de l'esclau al mestre. La última línia (SS) és el selector de l'esclau. En cas de tenir només un, és opcional, però si es tenen diversos *slaves*, és necessari un selector per dispositiu. D'aquesta manera es decideix amb quin esclau es vol establir la comunicació.

Si es compara amb el mòdul SD, es pot observar com el dispositiu té essencialment aquests 4 pins més el GND i l'VCC per l'alimentació.

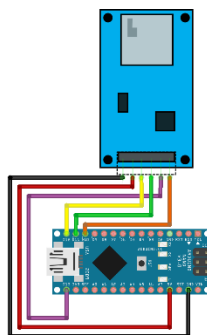
Per fer servir aquest dispositiu és necessari preparar la targeta de memòria abans de fer-la servir. S'ha de fer un formateig de la mateixa i que el sistema de la SD sigui FAT32 per un bon funcionament d'aquesta.

Un cop formatejada, es fa el muntatge pertinent. S'ha de tenir en compte que cada microcontrolador té uns pins específics que permeten la comunicació SPI. En el cas de l'Arduino Nano són els següents:

	SCK	MOSI	MISO	SS
Nº Pin	13	11	12	10

*Taula 23: Connexió pins lector SD [70]*

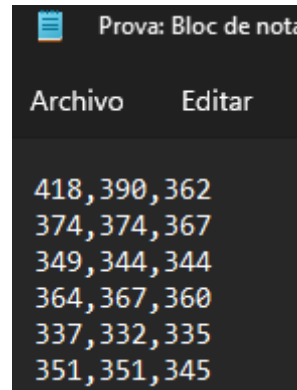
Un cop es té clara aquesta restricció, es pot muntar el circuit:



*Imatge 84: Esquema de connexió lector SD*

En quant a la programació, l'entorn d'Arduino disposa d'una llibreria per poder treballar amb aquest mòdul de manera més fàcil. Tot i així, es farà servir una llibreria derivada i creada per un usuari, degut a que està millor optimitzada i ocupa menys espai, però que no representa un canvi significant en el seu funcionament. Per entendre la llibreria es farà servir un exemple del repositori que llegeix dades analògiques i les grava a la SD. Aquest exemple es pot trobar a l'apartat 1.11 de l'annex.

A la targeta SD es tindrà un fitxer amb el nom Prova.txt amb les següents dades:

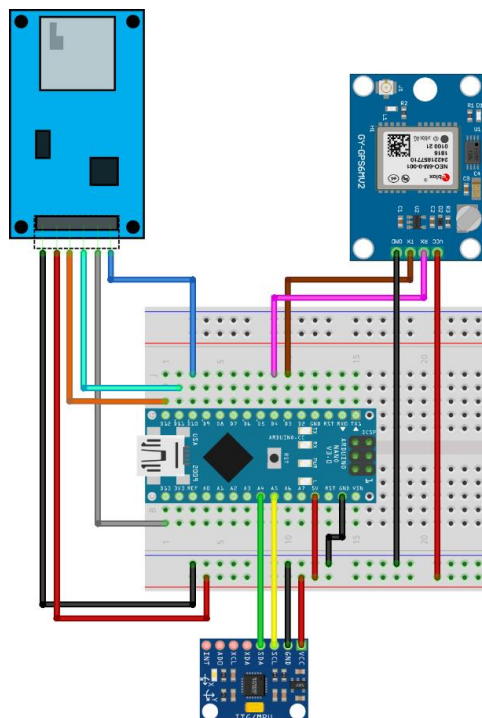


Imatge 85: Lectura targeta SD

En aquest cas, al ser pins analògics sense res connectats a ells, els valors obtinguts són aleatoris.

### 5.2.5. Sistema complet

Un cop s'ha analitzat, comprovat i entès el funcionament de cada un dels components, és moment d'unir-los en un sol circuit. Com que les connexions no interfereixen entre elles, es combinaran els esquemes presentats amb anterioritat. D'aquesta manera queda un circuit com el següent:



Imatge 86: Esquema de connexió sistema DAQ complet



Un cop fet el muntatge final del sistema, es passa a fer la programació del mateix. A diferència de l'esquema físic, el software ha de patir modificacions per poder recopilar les dades de l'acceleròmetre i del GPS en un mateix fitxer.

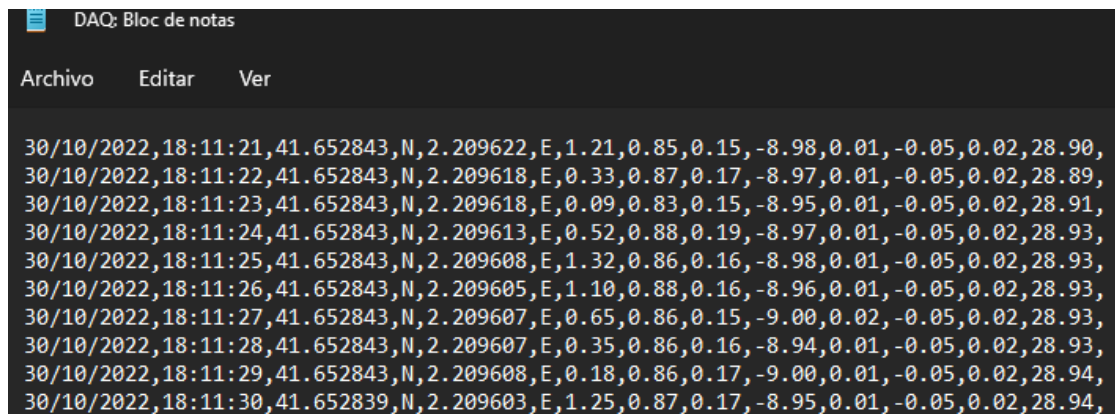
Primer de tot, s'ha de tenir en compte que de la forma que s'ha escrit el programa de comprovació del GPS, si se li afegeix el necessari per fer servir l'MPU6050, no es veurà reflectit enlloc. Això es degut a que el NEO-6M "bloqueja" el programa. L'Arduino espera fins que el GPS no envia una nova resposta. És per aquest motiu que és necessari emmagatzemar (o acumular) les dades de l'acceleròmetre i enviar la informació conjuntament amb les del GPS.

A més de les consideracions anteriors, també es faran servir llibreries no fetes servir fins ara. Una d'elles és *NeoSWSerial*. Substitueix *SoftwareSerial*. El motiu d'aquest canvi és que la nova llibreria és més eficient i funciona més ràpidament, permetent la lectura del sensor MPU6050.

Una altra llibreria nova que s'utilitza és *NeoGPS*. Aquesta permet poder escollir les dades GPS que es volen emmagatzemar, evitant haver de recopilar frases senceres com s'ha vist en l'exemple de l'apartat 5.2.3.

El programa complet desenvolupat es pot trobar a l'apartat 1.12 de l'annex.

Si s'executa el programa, la SD tindrà un fitxer de text amb el nom "DAQ". Les dades es representen de la següent forma:



```

30/10/2022,18:11:21,41.652843,N,2.209622,E,1.21,0.85,0.15,-8.98,0.01,-0.05,0.02,28.90,
30/10/2022,18:11:22,41.652843,N,2.209618,E,0.33,0.87,0.17,-8.97,0.01,-0.05,0.02,28.89,
30/10/2022,18:11:23,41.652843,N,2.209618,E,0.09,0.83,0.15,-8.95,0.01,-0.05,0.02,28.91,
30/10/2022,18:11:24,41.652843,N,2.209613,E,0.52,0.88,0.19,-8.97,0.01,-0.05,0.02,28.93,
30/10/2022,18:11:25,41.652843,N,2.209608,E,1.32,0.86,0.16,-8.98,0.01,-0.05,0.02,28.93,
30/10/2022,18:11:26,41.652843,N,2.209605,E,1.10,0.88,0.16,-8.96,0.01,-0.05,0.02,28.93,
30/10/2022,18:11:27,41.652843,N,2.209607,E,0.65,0.86,0.15,-9.00,0.02,-0.05,0.02,28.93,
30/10/2022,18:11:28,41.652843,N,2.209607,E,0.35,0.86,0.16,-8.94,0.01,-0.05,0.02,28.93,
30/10/2022,18:11:29,41.652843,N,2.209608,E,0.18,0.86,0.17,-9.00,0.01,-0.05,0.02,28.94,
30/10/2022,18:11:30,41.652839,N,2.209603,E,1.25,0.87,0.17,-8.95,0.01,-0.05,0.02,28.94,

```

Imatge 87: Lectura targeta SD sistema DAQ complet

## 5.3. Disseny mecànic

### 5.3.1. Transmissió

#### 5.3.1.1. Condicions de disseny

Habitualment, en el sector dels cotxes teledirigits, el *ratio* o relació entre els engranatges de la transmissió sol estar en una escala del 1 i 10. Tota relació que sigui menor a 5, farà que al cotxe predomini la velocitat per sobre de la força del motor. Per contra, si el *ratio* està entre 5 i 10, el parell serà el que sobresurti enfront de la velocitat.

		Gear Ratio Chart														Axle		
		Pinion Gears														1/8	9/32	2mm
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1/8	9/32	2mm			
48 Pitch	25		3.57	3.13	2.78	2.50	2.27							✓				
	26		3.71	3.25	2.89	2.60	2.36							✓				
	27		3.86	3.38	3.00	2.70	2.45							✓				
	28		4.00	3.50	3.11	2.80	2.55							✓	✓			
	29		4.14	3.63	3.22	2.90	2.64							✓				
	30		4.29	3.75	3.33	3.00	2.73							✓				
	31		4.43	3.88	3.44	3.10	2.82							✓				
	32		4.57	4.00	3.56	3.20	2.91							✓				
	33		4.71	4.13	3.67	3.30	3.00							✓				
	34		4.86	4.25	3.78	3.40	3.09							✓	✓			
64 Pitch	35		5.00	4.38	3.89	3.50	3.18							✓	✓			
	34		4.86	4.25	3.78	3.40	3.09							✓	✓			
	35	5.83	5.00	4.38	3.89	3.50	3.18	2.92	2.69	2.50	2.33	2.19	✓	✓	✓			
	36	6.00	5.14	4.50	4.00	3.60	3.27	3.00	2.77	2.57	2.40	2.25	✓	✓	✓			
	37	6.17	5.29	4.63	4.11	3.70	3.36	3.08	2.85	2.64	2.47	2.31	✓	✓	✓			
	38	6.33	5.43	4.75	4.22	3.80	3.45	3.17	2.92	2.71	2.53	2.38	✓	✓	✓			
	39	6.50	5.57	4.88	4.33	3.90	3.55	3.25	3.00	2.79	2.60	2.44	✓	✓	✓			
	40	6.67	5.71	5.00	4.44	4.00	3.64	3.33	3.08	2.86	2.67	2.50	✓	✓	✓			
	48	8.00	6.86	6.00	5.33	4.80	4.36	4.00	3.69	3.43	3.20	3.00	✓	✓	✓			
	50	8.33	7.14	6.25	5.56	5.00	4.55	4.17	3.85	3.57	3.33	3.13	✓	✓	✓			
72 Pitch	52	8.67	7.43	6.50	5.78	5.20	4.73	4.33	4.00	3.71	3.47	3.25	✓	✓	✓			
	54	9.00	7.71	6.75	6.00	5.40	4.91	4.50	4.15	3.86	3.60	3.38	✓	✓	✓			
	56	9.33	8.00	7.00	6.22	5.60	5.09	4.67	4.31	4.00	3.73	3.50	✓	✓	✓			
	58	9.67	8.29	7.25	6.44	5.80	5.27	4.83	4.46	4.14	3.87	3.63	✓	✓	✓			
	40	6.67	5.71	5.00	4.44	4.00	3.64	3.33	3.08				✓	✓	✓			
	41	6.83	5.86	5.13	4.56	4.10	3.73	3.42	3.15				✓	✓	✓			
	42	7.00	6.00	5.25	4.67	4.20	3.82	3.50	3.23				✓	✓	✓			
	43	7.17	6.14	5.38	4.78	4.30	3.91	3.58	3.31				✓	✓	✓			
	44	7.33	6.29	5.50	4.89	4.40	4.00	3.67	3.38				✓	✓	✓			
	43	7.17	6.14	5.38	4.78	4.30	3.91	3.58	3.31				✓	✓	✓			
80 Pitch	44	7.33	6.29	5.50	4.89	4.40	4.00	3.67	3.38				✓	✓	✓			
	45	7.50	6.43	5.63	5.00	4.50	4.09	3.75	3.46				✓	✓	✓			
	46	7.67	6.57	5.75	5.11	4.60	4.18	3.83	3.54				✓	✓	✓			
	47	7.83	6.71	5.88	5.22	4.70	4.27	3.92	3.62				✓	✓	✓			
	48	8.00	6.86	6.00	5.33	4.80	4.36	4.00	3.69				✓	✓	✓			
	49	8.17	7.00	6.13	5.44	4.90	4.45	4.08	3.77				✓	✓	✓			
	50	8.33	7.14	6.25	5.56	5.00	4.55	4.17	3.85				✓	✓	✓			

Imatge 88: Taula de transmissions segons pinyó i corona [121]

Per tant, es pot dir que el més important a l'hora de dissenyar un sistema de transmissió, és decidir en compte quina és la relació que es vol obtenir. Tanmateix, és necessari tenir altres paràmetres en compte per poder fer una bona elecció de *ratio* i d'engranatges:

- **Material:** Es important fer una correcta elecció del material amb el que es fabricarà el sistema de transmissió. El *pinion gear* normalment sol ser de metall. En el cas de la corona, per vehicles que poden arribar a altes velocitats, com el cas dels cotxes *On-Road*, es recomanable que sigui de plàstic i no de metall, degut a l'escalfament i expansió de l'engranatge. Aquest fenomen pot fer que la transmissió es faci malbé.
- **Dimensions:** Un engranatge amb un pas menor assegura una transmissió més suau, mentre que un pas major farà que l'aportació de potencia sigui més brusca, fent un cotxe més nerviós. També s'ha de tenir en compte la distància d'atac. Això és la distància que es deixa entre el pinyó i la corona, de manera que quan l'engranatge del motor s'escalfa i s'expandeix pugui tenir un marge sense fer malbé l'*spur gear*.
- **Temperatura:** Quan es dissenya el sistema de transmissió s'ha de tenir en compte la temperatura que pot assolir el pinyó. Quan major sigui el diàmetre del pinyó, més força haurà de fer el motor i per tant la temperatura augmenta. Es per això que cal controlar i vigilar la grandària de l'engranatge i evitar sotmetre el sistema a sobre temperatures.

- **Espai disponible:** A l'hora de fer el disseny de la transmissió, s'ha de tenir en compte l'espai disponible per als engranatges. Quan major sigui el diàmetre de les rodes dentades, més distancia hi haurà entre elles i més espai es necessitarà.
- **Ús del cotxe teledirigit:** Cal tenir en compte el tipus de cotxe que s'està dissenyant. Un *Crawler* no necessitarà una gran velocitat. Per contra, un cotxe de pista haurà de tenir menys força del motor i major velocitat. Tanmateix, tot i que es corri en una pista asfaltada, el traçat també és important. No és el mateix un circuit revirat, on el vehicle està sotmès constantment a frenades i acceleracions que un circuit oval que no es frena gairebé en cap moment.



Imatge 89: Circuit Off-Road [122]



Imatge 90: Circuit On-Road [123]

Com es pot veure, cal tenir en compte tots els aspectes comentats amb anterioritat. Tanmateix, és innegable l'estreta relació entre aquests factors, de manera que a l'hora de fer el disseny, caldrà tenir-los tots en compte.

Per realitzar el disseny de la transmissió del cotxe teledirigit, es partirà d'un motor elèctric Mabuchi RS-540SH 6527.

La conclusió que s'extreu de la taula anterior és que es tracta d'un motor molt ràpid, que arriba fins les 20040 rpm (a màxima potència). Per contra, el parell d'aquest motor no és gaire elevat, sent a màxima eficiència 0,031 Nm.

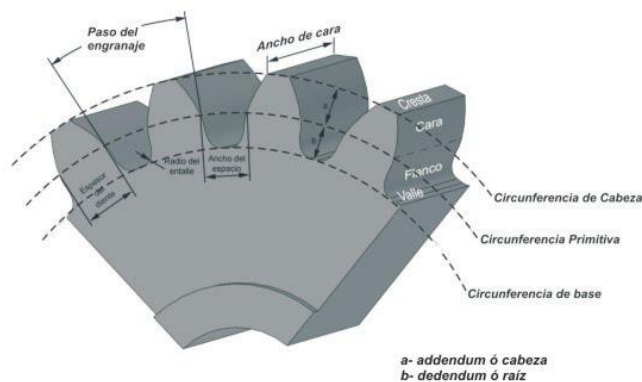
Amb això, es pot saber la velocitat a la que arribarà el vehicle. Els càlculs es troben a l'apartat 2.1 de l'annex.

El resultat obtingut són 256,87 km/h. Com que es tracta d'una velocitat massa alta per aquest tipus de vehicles, es tractarà de fer un nou càlcul, imposant una velocitat aproximada i trobant una relació de transmissió que s'adeqüi al sistema. Per tant, s'imposa una velocitat màxima de **50 km/h** i es troba la relació de transmissió. El desenvolupament es pot trobar al mateix apartat, i dona com a resultat una relació de **5**.

### 5.3.1.2. Càlcul d'engranatges

Per començar el disseny de la transmissió, s'imposarà un mòdul comú per tots els engranatges. Serà de 0.8 mm, ja que és una mesura molt habitual en vehicles d'aquest tipus i en escala 1/10. També s'imposa que es farà ús d'engranatges rectes amb un angle de pressió de 20°, una dada molt habitual.

Dit això, es farà servir un *pinion gear* amb el mòdul esmenat i un total de 14 dents. Amb aquestes dades es poden començar a fer els càlculs pertinents. Aquests es troben a l'apartat 2.2.1 de l'annex.



Imatge 91: Característiques d'una dent d'engranatge [124]

Les característiques calculades de les dents dels engranatges són les següents:

Pas (P) [mm]	2,51 mm
Adendum (a) [mm]	0,80 mm
Dedendum (b) [mm]	1,00 mm
Alçada dent (h)	1,80 mm
Amplada dent (B)	8,00 mm
Espessor (e)	1,26 mm
Angle de pressió	20 °

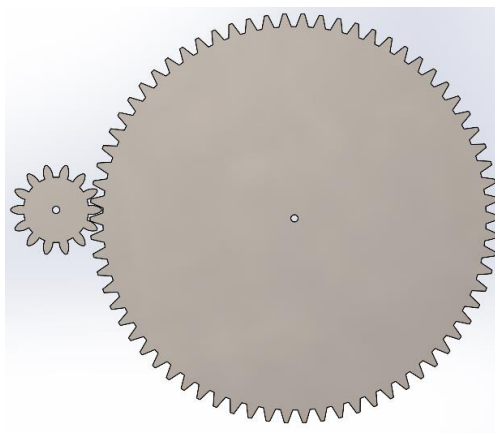
Taula 24: Resultats càlcul dents engranatges

Amb aquests càlculs fets, es dimensionen els engranatges. Es fa un primer càlcul per un sistema de dos engranatges (corona i pinyó), que es pot trobar a l'apartat 2.2.2 de l'annex.

Les dimensions calculades queden resumides a la següent taula:

	Pinyó ( $Z_1$ )	Corona ( $Z_2$ )
Dents (Z)	14	70
Pas (P) [mm]	2,51	2,51
Adendum (a) [mm]	0,80	0,80
Dedendum (b) [mm]	1,00	1,00
Alçada dent (h) [mm]	1,80	1,80
Amplada dent (B) [mm]	8,00	8,00
Espessor (e) [mm]	1,26	1,26
Angle de pressió (°)	20,00	20,00
Diàmetre primitiu ( $D_p$ ) [mm]	11,20	56,00
Diàmetre exterior ( $D_e$ ) [mm]	12,80	57,60
Diàmetre interior ( $D_i$ ) [mm]	9,20	54,00
Distància entre eixos (C) [mm]	33,6	
Relació de transmissió (i)	5	

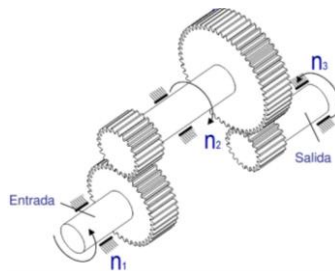
Taula 25: Resultat càlculs sistema pinyó-corona



Imatge 92: Pinyó (14T) - Corona (70T)

Tot i que en el mercat es poden trobar rodes dentades amb 70 dents, es considera una mida molt gran, tal i com es pot veure a la imatge anterior.

Es creu convenient crear una caixa d'engranatges de 2 etapes, reduint la mida dels mateixos. D'aquesta manera, entre pinyó i corona es tindrà un engranatge doble, similar a la següent figura, aconseguint arribar al *ratio* desitjat.

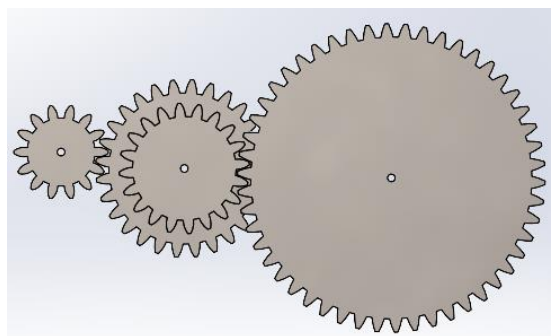


Imatge 93: Sistema d'engranatges [79]

Els càlculs realitzats per al dimensionament d'aquest sistema d'engranatges

	<b>Pinyó (<math>Z_1</math>)</b>	<b>Corona 1 (<math>Z_2</math>)</b>	<b>Corona 2 (<math>Z_3</math>)</b>	<b>Corona 3 (<math>Z_4</math>)</b>
Dents ( $Z$ )	14	28	20	50
Pas ( $P$ ) [mm]	2,51	2,51	2,51	2,51
Adendum ( $a$ ) [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8
Dedendum ( $b$ ) [mm]	1	1	1	1
Alçada dent ( $h$ ) [mm]	1,8	1,8	1,8	1,8
Amplada dent ( $B$ ) [mm]	8,00	8,00	8,00	8,00
Espessor ( $e$ ) [mm]	1,26	1,26	1,26	1,26
Angle de pressió ( $^\circ$ )	20	20	20	20
Diàmetre primitiu ( $D_p$ ) [mm]	11,20	22,40	16,00	40,00
Diàmetre exterior ( $D_e$ ) [mm]	12,80	24,00	17,60	41,60
Diàmetre interior ( $D_i$ ) [mm]	9,20	22,00	14,00	38,00
Distància entre eixos ( $C$ ) [mm]	16,80		28,00	
Relació de transmissió ( $i$ )	2		2,50	

Taula 26: Resultats càlcul sistema d'engranatges de 2 etapes



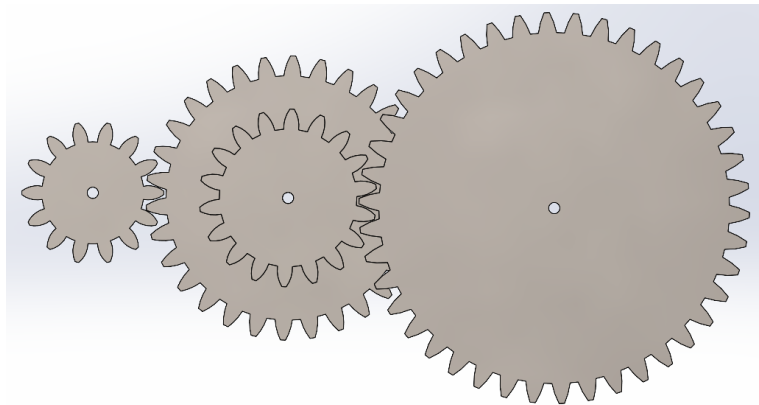
Imatge 94: Sistema d'engranatges calculat

Després d'observar i comparar ambdues taules, s'arriba a la conclusió que tot i una major complexitat, el conjunt d'engranatges de 2 etapes s'adequa millor a aquest projecte, ja que les dimensions són més reduïdes respecte el sistema pinyó-corona. Tanmateix, es troba una caixa d'engranatges al mercat d'unes característiques similar.

Aquest conjunt és d'un Ferrari F2003-GA de la marca Nikko. A més, l'eix de sortida a les rodes compta amb un diferencial, de manera que el pas per corba serà millor que amb un eix rígid. Aquestes són les característiques:

	Pinyó ( $Z_1$ )	Corona 1 ( $Z_2$ )	Corona 2 ( $Z_3$ )	Corona 3 ( $Z_4$ )
Dents ( $Z$ )	14	30	18	42
Pas ( $P$ ) [mm]	2,51	2,51	2,51	2,51
Adendum ( $a$ ) [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8
Dedendum ( $b$ ) [mm]	1	1	1	1
Alçada dent ( $h$ ) [mm]	1,8	1,8	1,8	1,8
Amplada dent ( $B$ ) [mm]	8,00	8,00	8,00	8,00
Espessor ( $e$ ) [mm]	1,26	1,26	1,26	1,26
Angle de pressió ( $^\circ$ )	20	20	20	20
Diàmetre primitiu ( $D_p$ ) [mm]	11,20	24,00	14,40	33,60
Diàmetre exterior ( $D_e$ ) [mm]	12,80	25,60	16,00	35,20
Diàmetre interior ( $D_i$ ) [mm]	9,20	22,00	12,40	31,60
Distància entre eixos	17,60		24,00	
Relació de transmissió ( $i$ )	$2, \widehat{14}$		$2, \widehat{33}$	
Relació final ( $i_F$ )	$i_F = 2, \widehat{14} \times 2, \widehat{33} \cong 5$			

Taula 27: Dades sistema d'engranatges de 2 etapes comercial



Imatge 95: Sistema d'engranatges comercial

Un cop calculat, dimensionat i decidit el sistema d'engranatges, és necessari saber les forces que actuen a les dents i si podran suportar la potència del motor.

En els engranatges actua una força  $F$  en cada dent. Aquesta es pot dividir en 3 diferents:

- **Força total ( $F_T$ ):** Suma de forces que actuen en un engranatge.

$$F_T = \sqrt{F_{tg}^2 + F_r^2 + F_a^2} [N]$$

- **Força tangencial ( $F_{tg}$ ):** Força tangent al radi de la roda dentada.

$$F_{tg} = \frac{\tau}{r} = \frac{\text{Parell}}{\text{radi primitiu}} [N]$$

- **Força radial ( $F_r$ ):** Força en al direcció del radi.

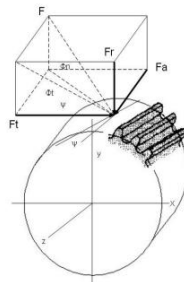
$$F_r = F_{tg} \times \tan \alpha [N]$$

$\alpha$ : Angle de pressió

- **Força axial ( $F_a$ ):** Força que apareix quan les dents tenen cert angle.

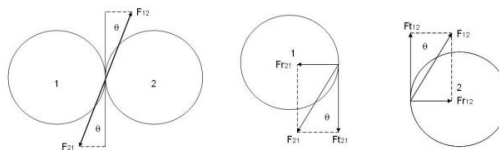
$$F_a = F_{tg} \times \tan \beta [N]$$

$\beta$ : Angle hèlix (0 en engranatges rectes)



Imatge 96: Forces d'un engranatge [84]

Cal tenir en compte que aquesta força generada a un engranatge serà la mateixa a la parella corresponent, com s'observa a la següent figura. D'aquesta manera es tindrà que la força del pinyó i de la primera corona seran iguals i les forces de la segona corona seran les mateixes que a la tercera corona.



Imatge 97: Forces entre dos engranatges [84]

En el cas d'aquest projecte, es tenen engranatges rectes, per tant, la força axial no apareixerà. Tanmateix, per poder calcular la força tangencial és necessari saber el parell que el motor és capaç de fer. Per això, es farà servir la següent fórmula:

$$P = \tau \times \omega = \tau \times \frac{2\pi \times n}{60} [W]$$

P: Potència [W]

$\tau$ : Parell [N·m]

$\omega$ : Velocitat angular [rad/s]

n: Velocitat de gir [rpm]

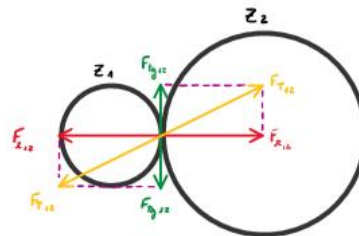


Amb aquestes expressions es poden trobar les forces exercides. El càlcul està desenvolupat a l'apartat 2.2.4 de l'annex.

A continuació hi ha una taula resum:

Primera etapa	
Parell	0,031 Nm
n	20040 rpm
$F_{tg}$	5,54 mN
$F_r$	12,38 mN
$F_T$	7,38 mN
Segona etapa	
Parell	0,066 Nm
n	9352 rpm
$F_{tg}$	91,67 $\mu$ N
$F_r$	205,07 $\mu$ N
$F_T$	224,63 $\mu$ N

Taula 28: Resultat càlcul de forces als engranatges



Imatge 98: Esquema aproximat de les forces que actuen entre els engranatges

Després d'haver calculat les forces generades als engranatges, s'ha de comprovar si les rodes dentades poden suportar aquestes forces a flexió. Per fer aquesta comprovació, només es tindrà en compte la força tangencial, ja que la radial es pot considerar pràcticament nul·la per aquest cas.

$$\sigma_{flexió} = \frac{F_{tg}}{B \times m \times Y} [N/mm^2]$$

m: Mòdul [mm]

Y: Factor de Lewis

B: Amplada de la dent [mm]

$F_{tg}$ : Força tangencial [N]

El factor de Lewis depèn dels paràmetres d'espessor de la base de la dent i alçada de la dent. Per això es difícil mesurar i calcular amb exactitud aquest valor. Tanmateix, existeixen expressions que donen com a resultat un valor aproximat o taules ja confeccionades:

**Factor de Lewis, Y**

Número de dientes	$\alpha = 14,5^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	Diente corto
10	0,056	0,064	0,083
11	0,061	0,072	0,092
12	0,067	0,078	0,099
13	0,071	0,083	0,103
14	0,074	0,088	0,108
15	0,078	0,092	0,111
16	0,080	0,094	0,115
17	0,083	0,096	0,117
18	0,085	0,098	0,120
19	0,088	0,100	0,123
20	0,090	0,102	0,125
21	0,092	0,104	0,127
23	0,094	0,106	0,130
25	0,097	0,108	0,133
27	0,099	0,111	0,136
30	0,101	0,114	0,139
34	0,104	0,118	0,142
38	0,106	0,122	0,145
43	0,109	0,126	0,147
50	0,111	0,130	0,151
60	0,113	0,134	0,154
75	0,115	0,138	0,158
100	0,117	0,142	0,161
150	0,119	0,146	0,165
300	0,122	0,150	0,170
Cremallera	0,124	0,154	0,175

Imatge 99: Factor de Lewis [83]

Per assegurar que la força exercida en l'engrenatge no trenca les dents, s'ha de complir la següent relació:

$$\sigma_{flexió} \leq \sigma_{admissible}$$

La tensió admissible correspon al límit elàstic, que es pot trobar en les propietats del material fet servir per fabricar els engranatges:

	<b>Pinyó</b>	<b>Corones</b>
<b>Material</b>	Alumini 7075	Nylon (PA66)
$\sigma_{adm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	455	84

Taula 29: Límit elàstic materials[61][58]

Els càlculs es poden trobar a l'apartat 2.2.5 de l'annex. A continuació es mostra una taula resum dels resultats obtinguts:

	$\sigma_{flexió}$	$\sigma_{adm}$	Vàlid?
Pinyó	$9,84 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$	$455 \text{ N/mm}^2$	<b>SÍ</b>
Corona 1	$7,59 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$	$84 \text{ N/mm}^2$	<b>SÍ</b>
Corona 2	$143,23 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$	$455 \text{ N/mm}^2$	<b>SÍ</b>
Corona 3	$114,59 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^2$	$455 \text{ N/mm}^2$	<b>SÍ</b>

Taula 30: Resultat càlcul de tensió a flexió dels engranatges

D'aquesta manera queda demostrar que els engranatges de la transmissió podran suportar la potència del motor.

### 5.3.1.3. Càlcul d'eixos

Un cop verificat el correcte funcionament dels engranatges, cal dimensionar els eixos. La transmissió d'aquest projecte en tindrà 3:

- **Eix d'entrada:** L'eix que connecta el motor amb el pinyó.
- **Eix entremig:** Eix on va muntat el segon engranatge, és a dir, la segona i tercera corona.
- **Eix de sortida:** Transmet la potencia a les rodes. Va muntada la última corona.

Per al dimensionament dels eixos es farà servir la expressió del codi ASME, que és la següent:

$$\phi_{min} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times SF}{\pi \times \sigma_{yp}} \times \sqrt{(C_m \times M)^2 + (C_t \times \tau)^2}}$$

SF: Factor de seguretat. S'imposarà que sigui 3.

$\sigma_{yp}$ : Tensió de fluència del material [N/mm<sup>2</sup>]. Per alumini 7075  $\approx$  450 N/mm<sup>2</sup>

M: Moment flector màxim [N·mm]

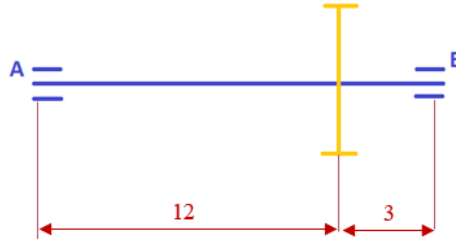
$\tau$ : Moment al que es sotmet l'eix [N·mm]

$C_m$ : Coeficient de fatiga pel moment flector = 1,5

$C_t$ : Coeficient de fatiga pel moment torçor = 1

## Eix d'entrada

Aquest eix surt del motor i és on es connecta el pinyó. En un extrem hi serà el motor. A 12 mm de distancia hi haurà l'engranatge i l'eix mesurarà 15 mm en total.

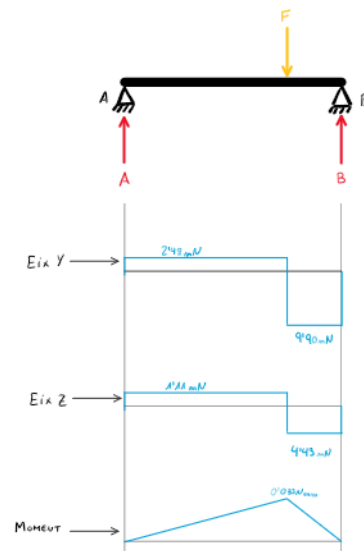


Imatge 100: Esquema eix d'entrada

Els resultats es troben a l'apartat 2.3.1 de l'annex. A continuació hi ha un resum dels càlculs per aquest eix:

$A_y$	2,48 mN
$A_z$	1,11 mN
$B_y$	9,90 mN
$B_z$	4,43 mN
$R_A$	2,72 mN
$R_B$	10,85 mN
$M_A$	0,032 Nmm
$M_B$	0,033 Nmm
$\varnothing_{\min}$	1,28 mm

Taula 31: Resultat càlcul diàmetre mínim eix d'entrada

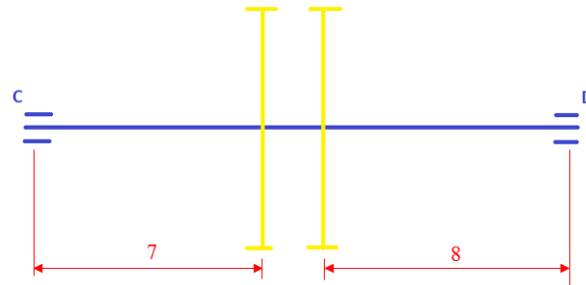


Imatge 101: Diagrama de forces

## Eix intermedi

Aquest eix és el que connecta la primera amb la segona etapa. La segona i tercera corona van en aquest eix.

Aquest element mesura 20mm en total. La primera corona es troba a 7 mm d'un extrem i la segona corona a 8 de l'altre extrem. Entre els centres dels engranatges hi ha 5 mm.

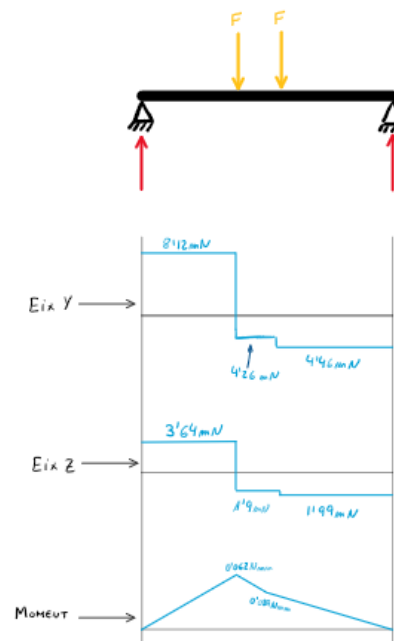


Imatge 102: Esquema eix intermedi

A continuació es mostra una taula amb els resultats. Els càlculs es troben a l'apartat 2.3.2 de l'annex.

$C_y$	8,12 mN
$C_z$	3,64 mN
$D_y$	4,46 mN
$D_z$	1,99 mN
$R_C$	8,90 mN
$R_D$	4,88 mN
$M_C$	0,062 Nmm
$M_D$	0,039 Nmm
$\varnothing_{\min}$	1,65 mm

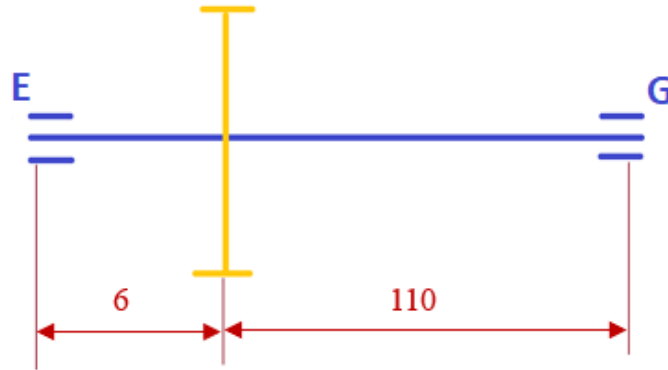
Taula 32: Resultat càlcul diàmetre mínim eix intermedi



Imatge 103: Diagrama de forces

## Eix de sortida

En el cas de l'eix de sortida, és l'eix on van acoblades les rodes als extrems. La roda dentada, que incorpora un diferencial, es troba a 6 mm, i l'eix fa 170 mm de llargada.

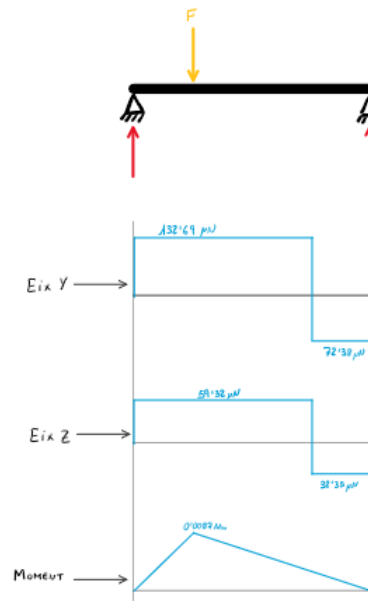


Imatge 104: Esquema eix de sortida

A continuació es mostra una taula amb els resultats. Els càlculs estan desenvolupats a l'apartat 2.3.3 de l'annex.

$E_y$	132,69 $\mu\text{N}$
$E_z$	59,32 $\mu\text{N}$
$G_y$	72,38 $\mu\text{N}$
$G_z$	32,35 $\mu\text{N}$
$R_E$	145,35 $\mu\text{N}$
$R_G$	79,28 $\mu\text{N}$
$M_E$	0,0087 Nmm
$M_G$	0,0087 Nmm
$\varnothing_{\min}$	1,65 mm

Taula 33: Resultat càlcul diàmetre mínim eix de sortida



Imatge 105: Diagrama de forces

### 5.3.2. Direcció

En quant a la direcció del vehicle, s'opta per instal·lar un servo. Aquest element anirà connectat a una barra, que al mateix temps estarà unida a les dues rodes davanteres.

Tanmateix, és important saber la força que es requerirà per poder exercir el gir a les rodes. Per això, caldrà fer càlcul d'esforços i veure si el moment de gir de les rodes és inferior al que pot proporcionar el servomotor.

La força màxima de gir es donarà amb el vehicle aturat, per tant, es pot fer el càlcul fent servir el coeficient de fricció estàtic:

$$F_F = P \times \mu_S [N]$$

$F_F$ : Força de fregament

$P$ : Pes a cada roda (Massa x Acceleració) [N]

$\mu_S$ : Coeficient de fregament estàtic

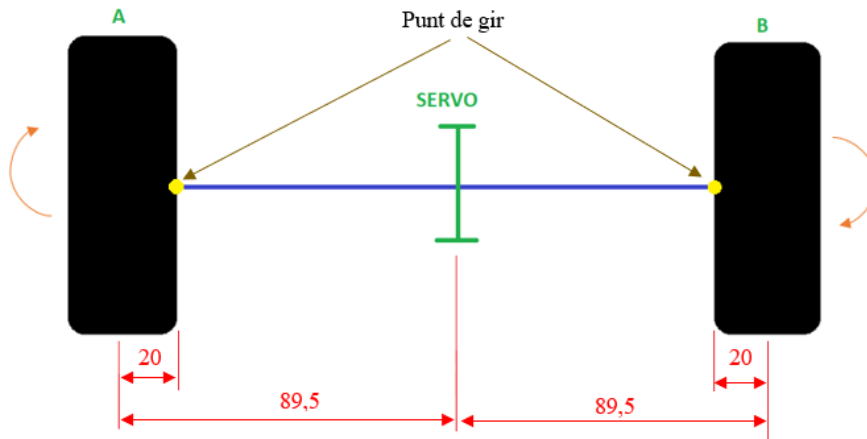
Tot i que el pes real del vehicle està en torn del 1,3 kg, s'opta per fer el càlcul amb un pes aproximat de 2 kg, donant un cert marge de seguretat.

En quant al coeficient de fregament, és una constant que es pot trobar en taules i varia en funció de les superfícies que es troben en contacte.

Superfícies en contacte	$\mu_s$	$\mu_d$
Cobre sobre acer	0.53	0.36
Acer sobre acer	0.74	0.57
Alumini sobre acer	0.61	0.47
Caucho sobre cemento (concreto)	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25 - 0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en el cuerpo humano.	0.01	0.003

Taula 34: Coeficients de fricció [90]

El resultat es mostra a continuació. Tanmateix, el càlcul desenvolupat es pot trobar a l'apartat 2.4 de l'annex.



Imatge 106: Esquema eix de direcció

Pes a cada roda	5 N
Força de fregament	5 N
Moment a cada roda	100 Nmm
Moment màxim del servo	250 Nmm

Taula 35: Resultat càlcul moment de gir roda

### 5.3.3. Rodaments

Les rodes davanteres necessiten de rodaments per poder girar correctament. Cada una de les rodes tindrà dos rodaments. És necessari calcular la força que hauran de suportar per poder seleccionar l'element adient.

El càlcul es troba a l'apartat 2.5 de l'annex. A continuació es mostra un resum dels resultats obtinguts:

Càrrega dinàmica	24,68 N
Hores d'ús imposades	4.000 hores
Nombre de cicles	$961,92 \times 10^6$ girs

Taula 36: Resultat càlcul de rodaments

Els rodaments han de suportar una força major a 25 N. Com que els escollits poden arribar a 422 N, són vàlids per aquest muntatge.

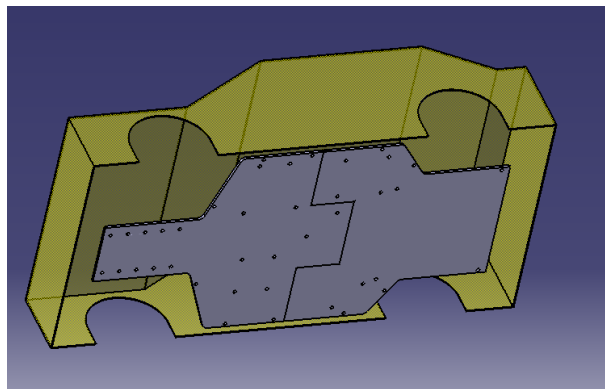


### 5.3.4. Disseny 3D

El disseny amb CAD del cotxe teledirigit s'ha dividit en diferents subconjunts i queda de la següent forma:

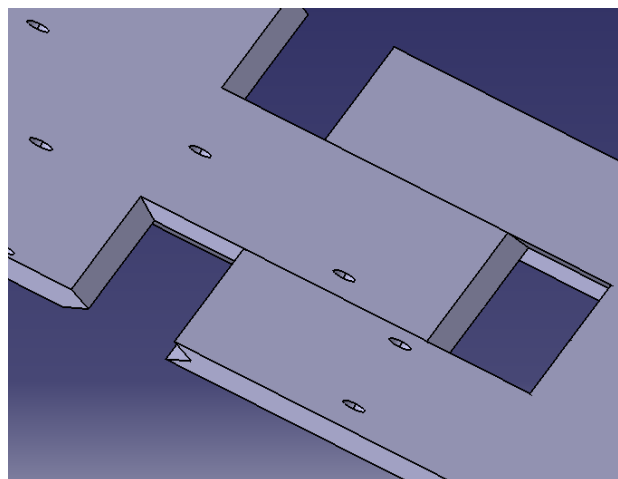
#### 5.3.4.1. Xassís

Per poder dimensionar de manera correcta el xassís, s'ha pres com a referència una carcassa. D'aquesta manera, es podrà fer un dimensionament força proper a l'estàndard. Amb la referència de la carcassa s'ha dissenyat un xassís de 370 mm de llargada i 190 mm d'amplada. Un cotxe comercial d'escala 1/10 està sobre els 340/450 mm de llargada i els 170/200 mm d'amplada, per tant, es considera que les mesures entren dins de l'estàndard de l'escala escollida.



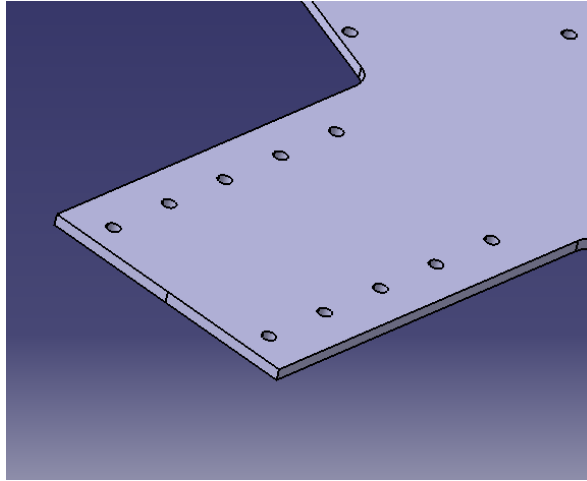
*Imatge 107: Vista inferior del xassís*

A l'hora de fer el disseny, també es va tenir en compte el fet de que qualsevol persona amb una impressora 3D al seu abast sigui capaç de construir el vehicle. És per això que el xassís s'ha dividit en dues parts de tal manera que es puguin imprimir amb la majoria de d'impressores 3D comercials. Es crea una ranura a cada part de tal manera que es puguin unir i no hi hagi possibilitat de moure's. S'han hagut d'evitar tots els orificis destinats al suport d'altres elements com la direcció o el sistema electrònic.



*Imatge 108: Vista en detall de les ranures del xassís*

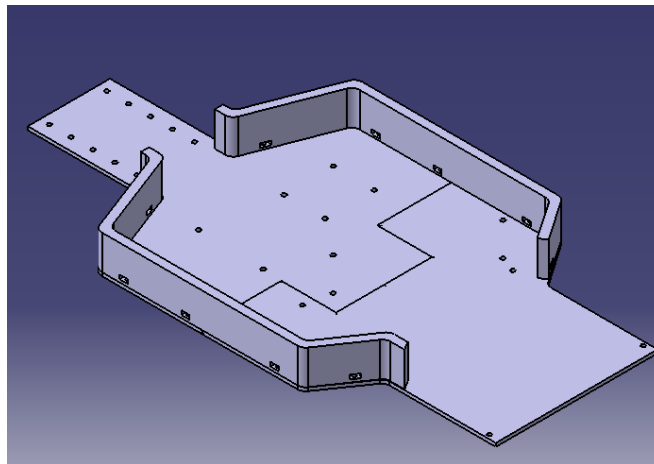
Adicionalment, per la subjecció de la direcció, s'ha pensat en poder modificar la distància entre eixos. És per això que s'han creat diferents orificis a la part davantera per poder col·locar l'eix de direcció a gust de l'usuari.



*Imatge 109: Vista en detall dels orificis per la direcció*

En quant a la forma del xassís, tant la part davantera com la de darrera són més estretes que la part central. Això es deu a que davant només es té l'eix davanter i al darrere només l'eix motriu, mentre que a la part central del vehicle anirà la bateria, el pont en H, l'Arduino i el sistema de telemetria, per tant, és necessari tenir espai per poder encabir-ho tot.

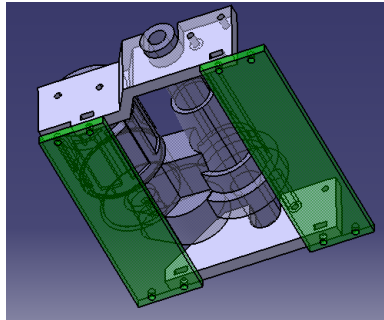
Al xassís se li han incorporat dues peces externes amb la intenció de protegir tots els elements encabits dins del cotxe enfront sorra, pedres o altres elements que puguin entrar dins i fer malbé el sistema. És per això que s'han dissenyat unes parets laterals que aniran cargolades al xassís, garantint una unió ferma. Per la part de davant i darrera, s'ha decidit no incorporar protecció ja que la pròpia direcció i la transmissió no permeten l'entrada d'elements externs.



*Imatge 110: Xassís amb les parets laterals*

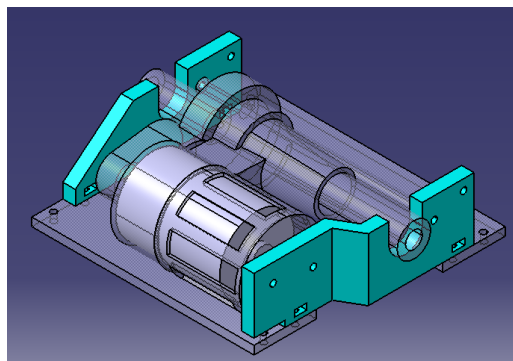
### 5.3.4.2. Suport sistema de tracció i motor

En quant a la part de darrera, on es troba el motor i el sistema de tracció, s'ha dissenyat de manera que tingui certa flexibilitat i pugui absorbir les irregularitats de la pista. Per aconseguir això s'ha incorporat unes peces flexibles entre el xassís i l'eix de darrera. D'aquesta manera, tot el bloc de transmissió té una certa mobilitat i flexibilitat enfront irregularitats. En la imatge següent, les peces flexibles són les de color verd:



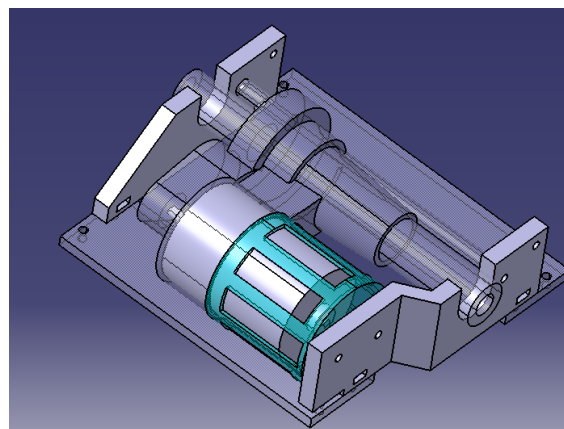
*Imatge 111: Peces flexibles de la transmissió*

El suport per a la transmissió consta de dues parets laterals. La caixa d'engranatges va recolzada a les parets laterals. Aquests dos suports es cargolen a les peces flexibles. A la següent imatge són les peces marcades de color blau:



*Imatge 112: Laterals de la transmissió*

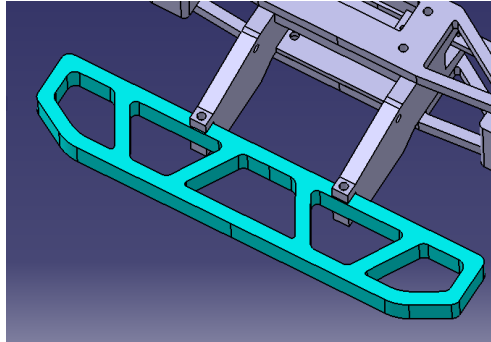
Per altra banda, també s'ha dissenyat una protecció per al motor. Es tracta d'un cilindre amb obertures laterals per tal de poder refrigerar el motor. Aquesta peça va cargolada a una de les parets laterals. De nou, es marca la peça de color blau:



*Imatge 113: Protecció del motor*

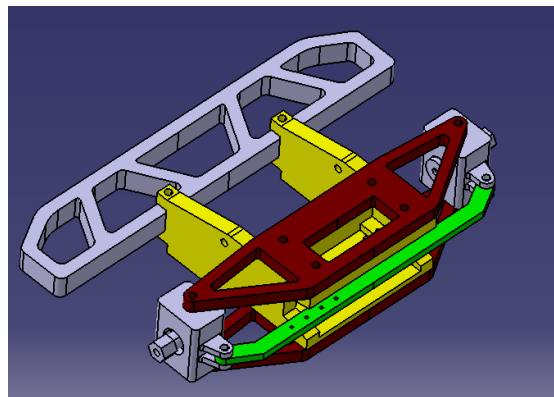
### 5.3.4.3. Direcció i protecció frontal

La direcció serà un bloc independent al xassís. D'aquesta manera, i amb els orificis fets, es pot moure l'eix davant endavant o endarrere segons les necessitats de l'usuari. En aquest bloc, també s'ha afegit una protecció frontal, estil para-xocs, fet amb material flexible.



*Imatge 114: Para-xocs*

En quant al sistema de direcció, com s'ha especificat amb anterioritat, es decideix que el servo es connectarà a una barra que unirà les dues rodes davanteres. Per tant, es té un sistema com el de la imatge següent:



*Imatge 115: Direcció*

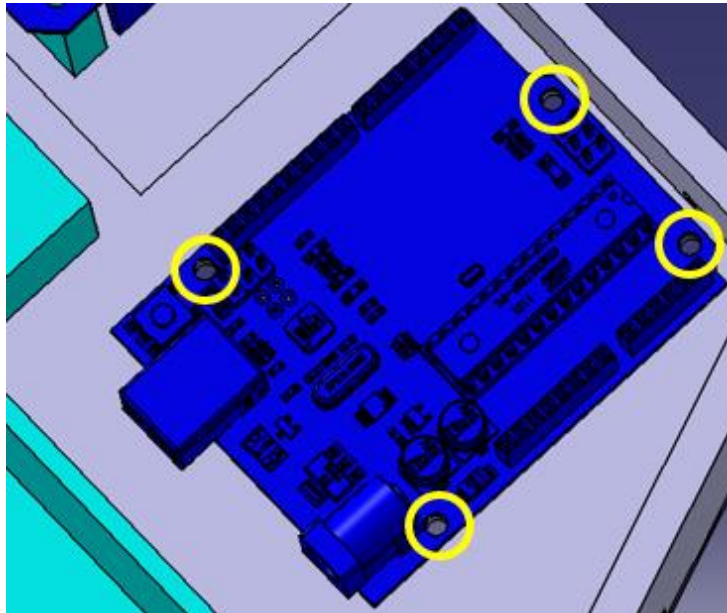
Les peces de color marró són de material flexible. Fan de unió entre la roda i el bloc de direcció. Al ser flexibles permeten absorbir irregularitats de la pista. La peça groga es el bloc que es fixarà al xassís i on aniran unides totes les peces del conjunt de la direcció. Té un forat a la part superior per poder fixar el servo.

En verd, és la peça que uneix les dues rodes per a que girin iguals. Disposa de diversos orificis per poder connectar el servo amb la barra al gust de l'usuari.

Finalment, les peces en gris als extrems de la direcció són on aniran les rodes cargolades. Cada peça compta amb dos rodaments per permetre el gir dels neumàtics.

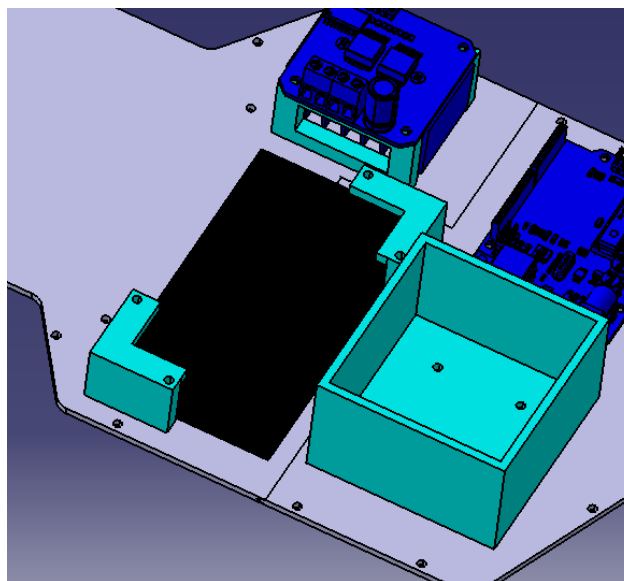
#### 5.3.4.4. Suports sistema electrònic

En quant als sistemes electrònics, s'ha intentat tenir tot subjectat dins de l'habitacle. És per això que l'Arduino anirà cargolat al xassís.



*Imatge 116: Orificis per cargolar l'Arduino*

Per al pont en H, s'han dissenyat dos suports, que també aniran cargolats. Aquests tenen una obertura per tenir una bona refrigeració en cas d'escalfament del pont en H. Per la bateria també s'han dissenyat dos suports que aniran cargolats. S'evita adhesivar-los per poder extreure la bateria de forma ràpida i còmode. I finalment, per el sistema de telemetria, s'ha dissenyat una capsa on anirà tot el sistema i evitar que es mogui en excés.

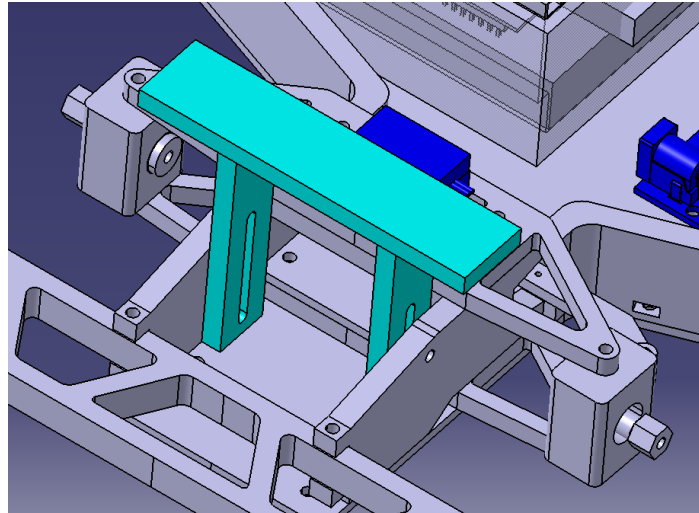


*Imatge 117: Suports elements electrònics*

### 5.3.4.5. Suports carcassa

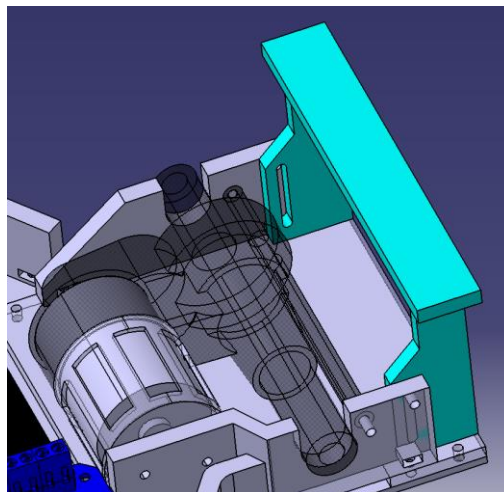
L'últim element de disseny és opcional per a l'usuari final. Es tracta de dos suports per poder-hi col·locar una carcassa. Les dues peces dissenyades permeten regulació, de tal manera que es poden posar diferents carcasses i col·locar-les a diferents alçades.

El suport de la part de davant, es cargola a la direcció, per tant, la seva posició també dependrà d'on estigui col·locat l'eix davanter.



*Imatge 118: Suport per la carcassa davanter*

En quant a la part de darrera, el suport té la mateixa alçada que el davanter. Tanmateix, el disseny de la part inferior difereix entre les dues peces degut a un millor posicionament del suport de darrera.



*Imatge 119: Suport per la carcassa del darrere*

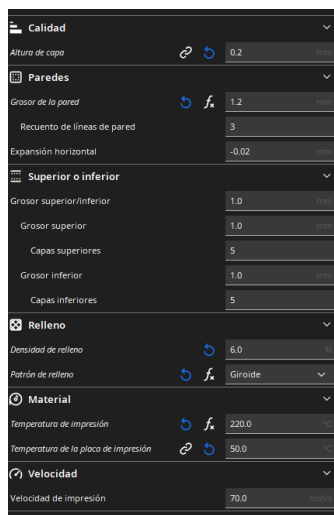
## 5.4. Impressió 3D

Un cop s'ha finalitzat el disseny del cotxe, és el moment de preparar les peces per a la impressió 3D. Per això cal exportar cada peça a l'extensió STL.

Un cop s'han exportat, s'obren amb el programa *Ultimaker Cura*. Aquest programa permet posicionar les peces al gust de l'usuari, a més de modificar paràmetres de la impressora i de les peces com la temperatura del fuser o el gruix i el patró d'impressió.

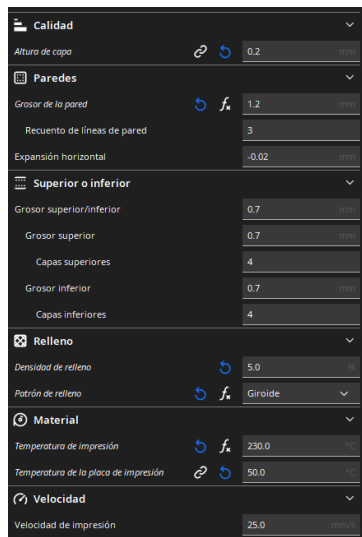
Com que aquest projecte inclou peces de dos materials diferents, s'han hagut de fer dues configuracions:

- **PLA:**



*Imatge 120: Paràmetres PLA*

- **TPU Shore 82A:**



*Imatge 121: Paràmetres TPU*

A més dels paràmetres del material, també cal tenir en compte com es posiciona les peces. Segons com es col·loquen, la disposició de material fa que la impressió sigui més forta o dèbil. També s'ha de tenir en compte si existeix voladís o parts que necessitin suport. Això fa que la impressió sigui més lenta i es necessiti més material.

Així queda la disposició de les peces a imprimir:

Disposició	Temps d'impressió	Material	Quantitat de material
 <i>Imatge 122: Disposició 1 impressió 3D</i>	10:57 hores	PLA	92 g
 <i>Imatge 123: Disposició 2 impressió 3D</i>	10:27 hores	PLA	89 g
 <i>Imatge 124: Disposició 3 impressió 3D</i>	19:16 hores	PLA	160 g
 <i>Imatge 125: Disposició 4 impressió 3D</i>	6:01 hores	TPU Shore 82A	50 g

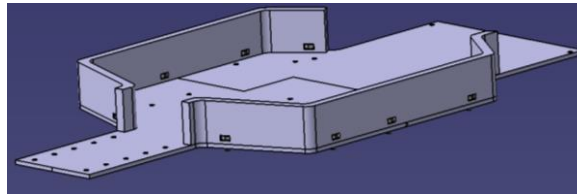
Taula 37: Peces d'impressió 3D



## 5.5. Muntatge

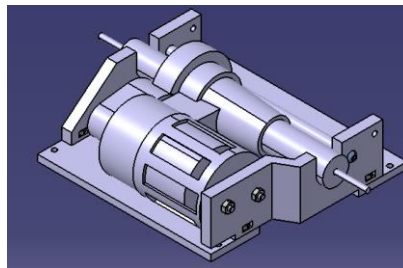
El muntatge del vehicle no segueix un ordre predeterminat, es pot començar per qualsevol part. Tanmateix, es creu que si es fa seguint una estructura preestablerta, és més senzill de seguir i finalitzar:

- 1. Muntatge de xassís i parets laterals:** S'uneixen les dues parts del xassís i es cargolen les parets laterals.



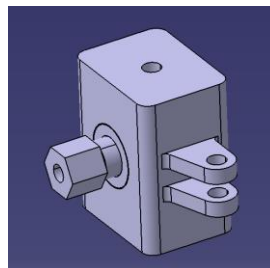
*Imatge 126: Xassís amb parets laterals*

- 2. Muntatge subconjunt motor:** Es cargola el motor a la transmissió. Es col·loca el protector del motor i es cargolen les parets laterals. Finalment s'uneixen les dues peces flexibles.



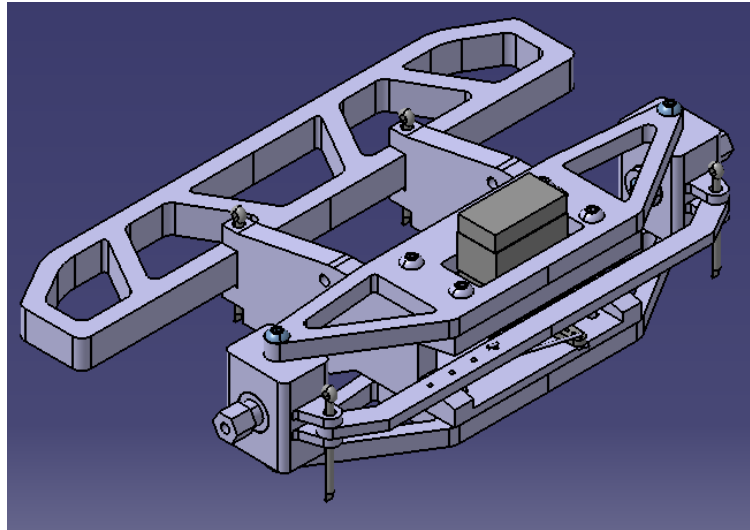
*Imatge 127: Muntatge transmissió*

- 3. Muntatge eix roda:** S'acoblen els rodaments al suport de la roda. S'introdueix l'eix a l'orifici i es cargola la tapa per l'altre extrem.



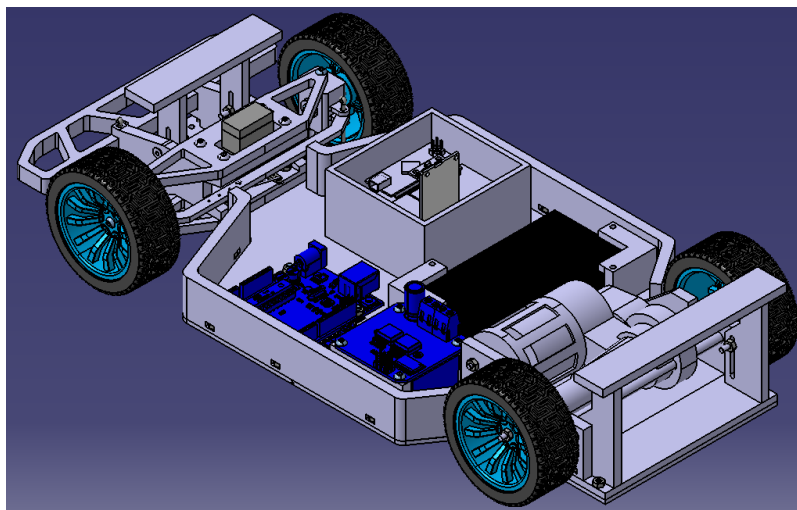
*Imatge 128: Eix de la roda*

4. **Muntatge subconjunt direcció:** Es fixa el para-xocs al bloc de la direcció amb uns passadors. Es cargola el suport flexible superior i es cargolen els dos eixos de roda. El suport flexible inferior es cargola als eixos de roda però no al bloc de la direcció. Finalment es cargola el servo, es fixa la barra de direcció als eixos de roda amb dos passadors i es connecta el servo amb la barra de direcció mitjançant un filferro.



*Imatge 129: Direcció*

5. **Muntatge final:** Es cargolen els subconjunts al xassís. També s'incorporen els elements electrònics (DAQ, Arduino, H Bridge, etc). Finalment es cargolen els suports de la carcassa i les rodes.



*Imatge 130: Cotxe teledirigit complet*

## 5.6. Test

Un cop s'ha realitzat el muntatge final del cotxe teledirigit, cal fer proves per comprovar si funciona correctament.

S'han fet dues proves diferents. Una, en la que el cotxe està aturat i es comprova que la direcció respon i el control del motor era correcte. La segona és un rodatge real. Aquestes dues proves es poden veure en els enllaços que hi ha a continuació:

- **Proba amb el cotxe quiet:** [https://youtu.be/e0UuoE\\_knYc](https://youtu.be/e0UuoE_knYc)
- **Proba de rodatge:** <https://youtu.be/LyB3c0gMFtU>

A més, durant la prova de rodatge, també s'ha provat el sistema d'adquisició de dades. S'han extret les dades emmagatzemades a la targeta i aquest és un retall de les mesures preses pel DAQ:

```

1/1/2023,16:36:08,41.652824,N,2.209596,E,0.45,-1.02,-1.27,-8.83,-0.05,0.04,-0.06,20.05,
1/1/2023,16:36:09,41.652824,N,2.209595,E,0.45,-0.72,-1.18,-8.63,0.02,0.02,-0.02,20.04,
1/1/2023,16:36:10,41.652824,N,2.209594,E,0.39,-0.58,-1.21,-9.03,0.01,-0.05,0.00,20.04,
1/1/2023,16:36:11,41.652820,N,2.209592,E,0.68,-0.53,-1.08,-8.87,0.02,-0.04,-0.00,20.01,
1/1/2023,16:36:12,41.652816,N,2.209591,E,0.56,-0.47,-1.16,-8.81,0.04,-0.04,0.04,19.99,
1/1/2023,16:36:13,41.652812,N,2.209590,E,0.22,-0.55,-1.11,-8.83,-0.00,-0.03,0.02,19.99,
1/1/2023,16:36:14,41.652812,N,2.209590,E,0.08,-0.36,-1.12,-8.78,0.04,-0.03,0.02,19.96,
1/1/2023,16:36:15,41.652809,N,2.209591,E,0.39,-0.56,-1.25,-8.79,0.00,-0.04,0.02,19.94,
1/1/2023,16:36:16,41.652809,N,2.209591,E,0.51,-0.45,-1.16,-8.76,0.02,-0.05,0.01,19.95,
1/1/2023,16:36:17,41.652809,N,2.209591,E,0.23,-0.39,-1.12,-8.80,0.03,-0.05,0.02,19.95,
1/1/2023,16:36:18,41.652809,N,2.209592,E,0.34,-0.54,-1.19,-8.83,0.01,-0.08,0.01,19.94,
1/1/2023,16:36:19,41.652809,N,2.209594,E,0.74,-0.70,-1.12,-8.80,0.02,-0.10,-0.03,19.92,
1/1/2023,16:36:20,41.652809,N,2.209595,E,0.39,-0.71,-1.29,-8.76,0.00,-0.04,0.00,19.90,
1/1/2023,16:36:21,41.652809,N,2.209596,E,0.46,-0.45,-1.27,-8.76,0.01,-0.05,0.04,19.89,
1/1/2023,16:36:22,41.652809,N,2.209599,E,0.69,-0.61,-0.81,-8.87,0.09,0.08,0.09,19.88,
1/1/2023,16:36:23,41.652805,N,2.209595,E,0.21,-1.07,-2.19,-9.03,-0.26,-0.23,-0.04,19.88,
1/1/2023,16:36:24,41.652805,N,2.209591,E,0.51,-1.67,-1.62,-8.47,-0.05,-0.32,-0.88,19.88,
1/1/2023,16:36:25,41.652805,N,2.209590,E,0.34,-2.44,-2.86,-8.54,0.05,-0.10,-0.12,19.87,
1/1/2023,16:36:26,41.652809,N,2.209586,E,1.39,-2.54,-2.27,-9.42,-0.00,0.12,0.07,19.85,
1/1/2023,16:36:27,41.652809,N,2.209580,E,1.73,-1.80,-2.20,-8.49,0.02,-0.05,0.02,19.84,
1/1/2023,16:36:28,41.652805,N,2.209578,E,0.54,-1.78,-2.20,-8.50,0.02,-0.05,0.02,19.83,
1/1/2023,16:36:29,41.652805,N,2.209577,E,0.61,-1.79,-2.20,-8.50,0.02,-0.05,0.02,19.83,

```

Imatge 131: Dades recollides pel sistema d'adquisició de dades

## 6. Resum del pressupost

En aquest apartat es farà un desglossament detallat en quant al pressupost destinat al desenvolupament del projecte i també sobre el cost de fabricació/construcció del prototip de cotxe teledirigit.

En primer lloc, el cost del desenvolupament del projecte:

Descripció	Quantitat	Unitat	Preu [€/unitat]	Import
Hores de tutoria	8	hora	50	400,00 €
Investigació	150	hora	25	3.750,00 €
Càlculs	70	hora	40	2.800,00 €
Disseny 3D	100	hora	40	4.000,00 €
Plànols	100	hora	35	3.500,00 €
Impressió 3D	47	hora	5	235,00 €
Programació	90	hora	40	3.600,00 €
Redacció	180	hora	25	4.500,00 €
Muntatge	15	hora	20	300,00 €
<b>Despeses en la realització del projecte</b>	<b>Hores dedicació</b>		<b>760</b>	<b>23.085,00 €</b>

Taula 38: Cost realització projecte

En quant a la fabricació/construcció del cotxe, s'ha dividit el pressupost en el conjunt del sistema d'adquisició de dades i el conjunt del cotxe teledirigit:

Descripció	Quantitat	Preu [€/unitat]	Import
Servo MG90S	1	1,38	1,38 €
Pont en H BTS7960	1	3,75	3,75 €
Bateria	1	4,07	4,07 €
Motor	1	4,53	4,53 €
Transmissió	1	5,18	5,18 €
Alimentació Arduino	1	2,10	2,10 €
Cable [metre]	0,25	0,50	0,13 €
Arduino Uno	1	3,32	3,32 €
Peces PLA	22	0,76	16,72 €
Peces flexibles	5	0,89	4,45 €
Rodes	4	4,00	16,00 €
Rodaments	4	1,26	5,04 €
Cargols	62	0,02	1,43 €
Femelles	46	0,04	1,84 €
Carcassa	1	5,00	5,00 €
<b>Total cotxe teledirigit</b>			<b>74,92 €</b>

Taula 39: Cost peces cotxe teledirigit

Descripció	Quantitat	Preu [€/unitat]	Import
GPS GY-NEO6MV2	1	1,07	1,07 €
Caixa de piles	1	0,86	0,86 €
Lector MicroSD	1	0,62	0,62 €
MicroSD	1	2,35	2,35 €
Mòdul MPU-6050	1	2,25	2,25 €
Cable [metre]	0,25	0,50	0,13 €
Arduino Nano	1	4,74	4,74 €
<b>Total sistema d'adquisició de dades</b>			<b>12,02 €</b>

Taula 40: Cost DAQ

<b>Cost total cotxe teledirigit</b>	<b>86,94 €</b>
-------------------------------------	----------------

Taula 41: Cost final cotxe teledirigit

Amb això, si fem la suma obtenim el cost total del projecte:

<b>Cost total projecte sense IVA</b>	<b>23.171,94 €</b>
<b>IVA</b>	<b>21%</b>
<b>Cost total amb IVA</b>	<b>28.038,04 €</b>

Taula 42: Cost final projecte amb IVA

L'estudi de viabilitat econòmica es detalla en el document de pressupostos, imposant una venda de 20.000 cotxes teledirigits.

## 7. Anàlisi i valoració de les implicacions ambientals i socials

En aquest apartat del projecte es farà un anàlisi de l'impacte ambiental associat a la fabricació i disseny d'un cotxe teledirigit.

El primer serà fer una valoració del consum energètic tant en l'ús d'un ordinador com en l'ús de la impressora 3D:

Concepte	Quantitat	Mesura
Ús ordinador	700	hores
Consum ordinador	200	Wh
Ús impressora 3D	47	hores
Consum impressora 3D	75	Wh
<b>TOTAL CONSUM</b>	<b>143,525</b>	<b>kWh</b>

Taula 43: Consum energètic

Segons l'Oficina de Canvi climàtic de la Generalitat de Catalunya, a data del 20 d'abril del 2022, el mix energètic de la xarxa elèctrica és 259g CO<sub>2</sub>/kWh. Per tant, amb aquesta dada, es pot saber l'impacte ambiental per l'ús de l'ordinador i la impressora 3D:

$$\text{Consum CO}_2 = \text{Total consum energètic} \times \text{Mix energètic}$$

$$\text{Consum CO}_2 = 143,525 \text{ kWh} \times 0,259 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \mathbf{37,173 \text{ kg CO}_2}$$

En segon lloc, s'analitzarà el consum del material utilitzat en la fabricació d'un cotxe teledirigit:

- **PLA:** S'imprimeixen peces amb un pes total de 376 g
- **TPU SHORE 82A:** S'imprimeixen peces amb un pes total de 57 g

L'emissió de CO<sub>2</sub> per un kilogram de plàstic és de 3,5kg. Per tant, es té el següent:

$$0,433 \text{ kg} \times 3,5 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{1,516 \text{ kg}}$$

Finalment, es té que la fabricació i disseny d'un cotxe teledirigit genera un total de **38,689 kg**

## 8. Conclusions

Després de mesos de treball, i amb les proves del cotxe teledirigit, es dona per finalitzat aquest projecte. L'objectiu principal era dissenyar un vehicle de control remot capaç de funcionar com qualsevol cotxe amb característiques similars. Aquest objectiu es dona per assolit, ja que les proves fetes demostren que el vehicle és funcional.

La raó d'aquest projecte era poder unir els coneixements de la carrera d'electrònica i mecànica en un mateix punt. Es considera que això també s'ha aconseguit i que els coneixements adquirits en la doble titulació han estat útils per la finalització d'aquest treball.

A nivell individual de cada carrera, començant per la part electrònica, s'ha pogut trobar una alternativa a la comunicació inalàmbrica actual. Tanmateix, es pot considerar que no està al nivell de la radio freqüència. Per tant, el Bluetooth pot servir per vehicles més petits i que no s'allunyen tant de l'emissor. També s'ha pogut dissenyar un sistema d'adquisició de dades.

En la part mecànica, s'ha assolit un disseny funcional des de zero per a un cotxe teledirigit. A més d'uns càlculs amb resultats satisfactoris. La impressió de la majoria de peces ha fet que aquest projecte sigui realitzable per qualsevol individu.

Tot i que es considera que s'han assolit tots els objectius, hi ha marge de millora en tots ells. Per això, a continuació, es fa una esmena a alguns aspectes a perfeccionar:

- **Sistema d'adquisició de dades:** En aquest aspecte, es podrien haver afegit més mesures, com el voltatge de la bateria o les revolucions del motor entre d'altres. Un altre punt del DAQ és la de substituir l'emmagatzematge de dades per un enviament en temps real, aconseguint veure les mesures en qualsevol dispositiu.
- **Control de velocitat i direcció:** Un dels punts pendents a realitzar, tot i no ser un objectiu, era la de crear una aplicació pròpia per al control del vehicle. La complexitat de la programació i la manca de temps no han fet possible aquest punt.
- **Disseny de la transmissió:** En quant a la transmissió, tot i haver desenvolupat els càlculs necessaris, s'ha optat per adquirir una transmissió comercial. Tot i així es podria haver modelitzat en 3D i haver imprès els engranatges com a ampliació del treball.
- **Disseny del vehicle:** Tot i que el vehicle es funcional, té alguns aspectes a millorar. L'accessibilitat a alguns cargols és un d'aquests aspectes. També s'ha detectat que el xassís es troba molt a prop del terra, per tant, caldria abaixar la distància de l'eix al terra, per tenir un marge més gran.

## 9. Planificació i treball futur proposat

### 9.1. Planificació

En quant a la planificació, el procés de treball, les tasques programades a realitzar han estat les següents:

Tasques a realitzar	Descripció de la tasca
Introducció	Redacció de l'objecte, abast, requeriments i justificació del projecte
Recerca de l'estat de l'art i la història	Recerca d'informació sobre l'estat actual
Anàlisi de components	Recerca i anàlisi dels components bàsics d'un cotxe teledirigit
Estudi dels sistemes de comunicació	Recerca i estudi dels diferents mètodes de comunicació inalàmbrica disponibles
Anàlisi sistemes d'adquisició de dades	Recerca d'informació sobre sistemes d'adquisició de dades
Plantejament de solucions alternatives	Analitzar i plantejar diferents solucions per a cada component
Direcció del cotxe teledirigit	Desenvolupar la funcionalitat de direcció del cotxe teledirigit
Motor del cotxe teledirigit	Desenvolupar el correcte funcionament del motor
Comunicació inalàmbrica	Desenvolupar la comunicació inalàmbrica afegint la direcció i el motor del cotxe teledirigit
Adquisició de dades	Desenvolupar el sistema d'adquisició de dades
Disseny mecànic	Dissenyar els components mecànics
Càlcul d'esforços	Calcular els esforços que poden suportar els engranatges i eixos de la transmissió
Prototipat	Fabricar les peces dissenyades
Muntatge	Muntatge del cotxe teledirigit
Test	Comprovació del correcte funcionament del cotxe teledirigit i els seus sistemes.

*Taula 44: Tasques a realitzar durant el projecte*



Inicialment es va fer un calendari per completar el treball. Tanmateix, la duració d'algunes tasques ha estat diferent a la pensada, per tant, a continuació, s'exposa el calendari inicial i el calendari que s'ha seguit finalment:

Nº	Tasca	Duració	Anterior Tasca	Agost				Setembre				Octubre				Novembre				Desembre				Gener	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Introducció	1	-																						
2	Historia i estat de l'art	2	-																						
3	Anàlisi de components	2	1,2																						
4	Estudi sistemes de comunicació	2	3																						
5	Anàlisi sistemes d'adquisició de dades	2	4																						
6	Plantejament de solucions alternatives	1	4,5																						
7	Direcció	1	6																						
8	Motor	1	7																						
9	Comunicació inalàmbrica	1	8																						
10	Adquisició de dades	2	9																						
11	Disseny mecànic	3	10																						
12	Simulació d'esforços	1	11																						
13	Prototipat	2	11,12																						
14	Muntatge	1	13																						
15	Test	1	14																						

Imatge 132: Diagrama de Grantt inicial

Nº	Tasca	Duració	Anterior Tasca	Agost				Setembre				Octubre				Novembre				Desembre				Gener	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Introducció	1	-																						
2	Historia i estat de l'art	2	-																						
3	Anàlisi de components	2	1,2																						
4	Estudi sistemes de comunicació	2	3																						
5	Anàlisi sistemes d'adquisició de dades	2	4																						
6	Plantejament de solucions alternatives	1	4,5																						
7	Direcció	1	6																						
8	Motor	1	7																						
9	Comunicació inalàmbrica	1	8																						
10	Adquisició de dades	2	9																						
11	Disseny mecànic	3	10																						
12	Càlcul d'esforços	1	11																						
13	Prototipat	2	11,12																						
14	Muntatge	1	13																						
15	Test	1	14																						

Imatge 133: Diagrama de Grantt final

## 9.2. Treball futur proposat

Com s'ha mencionat amb anterioritat, aquest treball s'ha limitat a un disseny electrònic i mecànic d'un cotxe teledirigit. Dins d'aquest sector es poden fer diferents estudis relacionats amb altres àmbits. A continuació s'exposen algunes possibilitats per ampliar aquest projecte.

- **Mecànica de fluids:** Estudi aerodinàmic de la carcassa i d'altres elements per un millor comportament en la conducció.
- **Enginyeria electrònica:** Estudi per a la incorporació de motors a les quatre rodes i control per governar els propulsors distribuint la velocitat i parell òptims per a cada moment.
- **Enginyeria mecànica:** Estudi de la resistència a l'impacte, fricció i/o fatiga de les peces.
- **Enginyeria mecànica/electrònica:** Incorporar suspensió activa al cotxe.
- **Fabricació additiva:** Estudi del disseny de les peces per a optimitzar la impressió 3D

## 10. Referències bibliogràfiques

- [1] Hobbyteam, “Descubre la historia del radiocontrol: un hobby que empezó en 1898,” *Blog Hobbyteam*, May 13, 2020. <https://es.hobbyteam.net/blog/la-historia-del-radiocontrol/> (accessed Jul. 17, 2022).
- [2] WIKIDAT, “Automóvil teledirigido > Información, Biografía, Archivo, Historia.,” *WIKIDAT*, 2012. [https://es.wikidat.com/info/Autom%C3%B3vil\\_teledirigido](https://es.wikidat.com/info/Autom%C3%B3vil_teledirigido) (accessed Jul. 19, 2022).
- [3] Hobbyteam, “¿Qué es un coche teledirigido, tipos y superficies?,” *Blog Hobbyteam*, Aug. 04, 2021. <https://es.hobbyteam.net/blog/que-es-un-coche-teledirigido/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [4] G. Hill, “Historia de los vehículos a control remoto,” *Puro Motores*, Jul. 21, 2017. <https://www.puromotores.com/13125631/historia-de-los-vehiculos-a-control-remoto> (accessed Jul. 26, 2022).
- [5] fpvMax, “¿Quién inventó el radiocontrol?,” *FpvMax*, Nov. 18, 2016. <https://www.fpvmax.com/quien-invento-el-radiocontrol/> (accessed Jul. 26, 2022).
- [6] Hobbyteam, “Recomendaciones Hobbyteam sobre la suspensión de coches RC,” *Blog Hobbyteam*, Aug. 12, 2020. <https://es.hobbyteam.net/blog/suspension-de-coches-rc-o-coches-teledirigidos/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [7] Korreka, “Las suspensiones,” *Reparar Coches de Radio Control Eléctricos*, Jun. 21, 2017. <http://reparar-cochesrc.blogspot.com/p/las-suspensiones.html> (accessed Jul. 13, 2022).
- [8] BRT, “Como medir y comparar la dureza de muelles de un coche de rc?,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Aug. 28, 2014. <https://www.cochesrc.com/medir-y-comparar-dureza-de-muelles-de-coche-de-rc-a5817.html> (accessed Jul. 13, 2022).
- [9] Korreka, “Neumaticos y ruedas de pista / asfalto / touring,” *Reparar Coches Radio Control Eléctricos*, Apr. 09, 2018. <https://reparar-cochesrc.blogspot.com/p/neumaticos-de-pista.html> (accessed Jul. 16, 2022).
- [10] E. Radiocontrol, “Ruedas RC para cada tipo de superficie,” *Radiocontrolados*, Jun. 16, 2020. <https://eliteradiocontrol.com/coches-teledirigidos/ruedas-rc-tipo-superficie/#.YtJwkXZBxhE> (accessed Jul. 16, 2022).
- [11] Hobbyteam, “Los tipos de ruedas para coche RC,” *Blog Hobbyteam*, Feb. 23, 2022. <https://es.hobbyteam.net/blog/tipos-de-ruedas-para-un-coche-rc/> (accessed Jul. 16, 2022).

- [12] B. Ar, “Arduino desde cero en Español - Capítulo 6 - Servomotor (conexión, modelos, ajustes para uso óptimo),” *YouTube*. Mar. 15, 2017. Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=6bPVZg17vKc&list=PLcBn9htMEgOER7rUJ-2KVOXIjWfNNAWfK&index=49&t=350s>
- [13] D. Workshop, “Using servo motors with arduino,” *YouTube*. May 20, 2018. Accessed: Jul. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=kUHmYKWwuWs&list=PLcBn9htMEgOER7rUJ-2KVOXIjWfNNAWfK&index=52>
- [14] AreaTecnologia, “Servomotores,” *AreaTecnologia*, 2013. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html> (accessed Jul. 19, 2022).
- [15] Nelson, “¿Qué es un servomotor y cuándo se utiliza?,” *CLR*, Mar. 06, 2020. <https://clr.es/blog/es/servomotor-cuando-se-utiliza/> (accessed Jul. 19, 2022).
- [16] Aula21, “Qué es un Servomotor, para qué sirve y cómo funciona,” *Aula21*, Sep. 19, 2019. <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-servomotor/> (accessed Jul. 19, 2022).
- [17] Hobbyteam, “Que es un servo y para qué sirve? Conoce sus numerosas funciones,” *Blog Hobbyteam*, May 25, 2022. <https://es.hobbyteam.net/blog/conoce-que-es-un-servo/> (accessed Jul. 19, 2022).
- [18] SuperRobotica, “Trabajar con Servos,” *SuperRobotica*, May 22, 2009. <http://www.superrobotica.com/Servosrc.htm> (accessed Jul. 19, 2022).
- [19] BRT, “Los servos: Que son? Como funcionan? (Parte I del tutorial de servos rc),” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Mar. 27, 2014. <https://www.cochesrc.com/servos-que-son-funcionan-parte-i-del-tutorial-de-servos-rc-a5441.html> (accessed Jul. 19, 2022).
- [20] RC Car Action, “How to: Understand chassis tech,” *RC Car Action*, Jul. 15, 2021. <https://www.rccaraction.com/understand-chassis-tech/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [21] E. Radiocontrol, “Motor RC eléctrico: Brushless vs brushed,” *Radiocontrolados*, Jun. 06, 2020. <https://eliteradiocontrol.com/coches-teledirigidos/motor-rc-electrico-brushless-vs-brushed/#.Ytq2OnZBxhE> (accessed Jul. 22, 2022).
- [22] BRT, “Coche radiocontrol electrico: Brushless o Brushed?,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Nov. 29, 2013. <https://www.cochesrc.com/coche-radiocontrol-electrico-motor-brushless-o-brushed-a3591.html> (accessed Jul. 22, 2022).

- [23] Aran, “Motores brushed: Funcionamiento y características,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Jan. 11, 2014. <https://www.cochesrc.com/motores-brushed-funcionamiento-y-caracteristicas-a3606.html> (accessed Jul. 22, 2022).
- [24] Aran, “Motor Electrico Brushless: Funcionamiento y características,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Apr. 22, 2014. <https://www.cochesrc.com/motor-electrico-brushless-funcionamiento-y-caracteristicas-a3607.html> (accessed Jul. 22, 2022).
- [25] fpvMax, “Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona,” *FpvMax*, Dec. 21, 2016. <https://www.fpvmax.com/uncategorized/variador-electronico-esc-funciona/> (accessed Jul. 23, 2022).
- [26] E. Radiocontrol, “ESC, Definición y Conceptos,” *Radiocontrolados*, Dec. 11, 2020. <https://eliteradiocontrol.com/coches-teledirigidos/esc/#.YtuSHnZBxhF> (accessed Jul. 23, 2022).
- [27] Mobus, “ESC para drones, ¿para qué sirven?,” *Mobus drones - Formación y desarrollo de drones*, Apr. 26, 2016. <https://mobus.es/blog/esc-para-drones-para-que-sirven/> (accessed Jul. 23, 2022).
- [28] BRT, “Como se programa un variador brushless o ESC y para que sirven las diferentes funciones,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Dec. 27, 2014. <https://www.cochesrc.com/se-programa-variador-brushless-o-esc-y-que-sirven-diferentes-funciones-a6061.html> (accessed Jul. 23, 2022).
- [29] H. Rodríguez, “Transmisiones por Engranajes,” *Ingemecánica*, Jul. 17, 2013. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn150.html> (accessed Jul. 25, 2022).
- [30] MP40, “Como se calcula el ratio y la potencia consumida por el motor en los coches electricos,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Aug. 03, 2014. <https://www.cochesrc.com/se-calcula-ratio-y-potencia-consumida-motor-coches-electricos-a5762.html> (accessed Jul. 25, 2022).
- [31] Korreka, “Engranajes, piñones, cajas reductoras y diferenciales,” *Reparar Coches Radio Control Eléctricos*, Oct. 18, 2017. <http://reparar-cochesrc.blogspot.com/2016/01/engranajes-pinones-cajas-reductoras-y.html> (accessed Jul. 25, 2022).
- [32] BRT, “Todo sobre los diferenciales v2.0. - Transmisión de potencia en coches,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Oct. 04, 2014. <https://www.cochesrc.com/diferenciales-v2-0-a-a123.html> (accessed Jul. 25, 2022).
- [33] PuntoRacing, “iniciación al radio control - 6 - Los diferenciales > puntoracing,” *Puntoracing RC*, May 06, 2019. <https://puntoracing.com/iniciacion-al-radio-control-6-los-diferenciales-rc> (accessed Jul. 25, 2022).

- [34] M. Santander, “Baterías: Todos sus secretos,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, 2016. <https://www.cochesrc.com/baterias-todos-secretos-a252.html> (accessed Jul. 26, 2022).
- [35] BRT, “Conceptos básicos en las baterías LiPo: Tensión, capacidad, descarga y conexión de elementos,” *CochesRc, Coches radiocontrol gasolina y electricos. Automodelismo*, Nov. 24, 2013. <https://www.cochesrc.com/conceptos-basicos-baterias-lipo-tension-capacidad-descarga-y-conexion-de-elementos-a2627.html> (accessed Jul. 26, 2022).
- [36] Hobbyteam, “Baterías LiPo. Baterías Polímero de Litio para RadioControl,” *Blog Hobbyteam*, Oct. 06, 2015. <https://es.hobbyteam.net/blog/baterias-lipo-baterias-polimero-de-litio-para-radiocontrol/> (accessed Jul. 26, 2022).
- [37] Turbo Hobby, “Baterías LIPO para radio control,” *Turbo Hobby*, Apr. 13, 2022. <https://turbohobby.com/baterias-lipo/?page=3> (accessed Jul. 26, 2022).
- [38] J. A. Carmona, “Bluetooth y su evolución: Estas son las diferencias entre las distintas clases y versiones,” *Xataka Smart Home*, Oct. 11, 2021. Accessed: Aug. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.xatakahome.com/curiosidades/bluetooth-su-evolucion-estas-diferencias-distintas-versiones>
- [39] Contributors to Wikimedia projects, “Bluetooth,” *Wikipedia*, Jul. 30, 2022. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (accessed Aug. 01, 2022).
- [40] R. Gr, “Qué es el Bluetooth y todo lo que permite esta tecnología,” *ADSLZone*, Feb. 28, 2020. Accessed: Aug. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/bluetooth/>
- [41] Bluetooth, “Understanding bluetooth range,” *Bluetooth® Technology Website*, Jan. 25, 2021. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/key-attributes/range/> (accessed Aug. 01, 2022).
- [42] Telcomanager, “¿Cuáles son las características de wifi 6? - Telcomanager,” *Telcomanager*, Nov. 13, 2020. <https://www.telcomanager.com/es/blog/cuales-son-las-caracteristicas-de-wifi-6/> (accessed Aug. 03, 2022).
- [43] Contributors to Wikimedia projects, “Wi-Fi,” *Wikipedia*, Jul. 26, 2022. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#Versions\\_and\\_generations](https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#Versions_and_generations) (accessed Aug. 03, 2022).
- [44] C. Valero, “Qué es el WiFi y cómo funciona para conectar todo a Internet,” *ADSLZone*, Jun. 19, 2019. Accessed: Aug. 03, 2022. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>

- [45] Wi-Fi Alliance, “Discover wi-fi,” *Wi-Fi Alliance*, Dec. 28, 2013. <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi> (accessed Aug. 03, 2022).
- [46] Korreka, “Full Function y Control Proporcional,” *Reparar Coches de Radio Control Eléctricos*, Dec. 20, 2013. <http://reparar-cochesrc.blogspot.com/p/full-funtion.html> (accessed Aug. 09, 2022).
- [47] Schneider, “¿Cuál es la diferencia entre una velocidad de transmisión expresada en baudios o en bits por segundo (bps)?,” *Schneider Electric España*, Sep. 28, 2021. <https://www.se.com/es/es/faqs/FA29554/> (accessed Aug. 09, 2022).
- [48] designthemes, “Lo que hay que saber para elegir un equipo transmisor,” *Tienda y Tutoriales Arduino*, Feb. 19, 2018. <https://www.prometec.net/elegir-transmisor-receptor-radio/> (accessed Aug. 09, 2022).
- [49] C. de los proyectos Wikimedia, “Emisora radiocontrol,” *Wikipedia*, Nov. 30, 2020. [https://es.wikipedia.org/wiki/Emisora\\_radiocontrol](https://es.wikipedia.org/wiki/Emisora_radiocontrol) (accessed Aug. 09, 2022).
- [50] SuperRobotica, “Transmision de datos via radio para robots,” *SuperRobotica*, Sep. 12, 2009. <http://www.superrobotica.com/radio.htm> (accessed Aug. 09, 2022).
- [51] Orange, “¿cómo funciona una red móvil?,” *Las ondas*, Apr. 08, 2021. <https://radio-waves.orange.com/es/como-funciona-una-red-movil/> (accessed Aug. 10, 2022).
- [52] M. Naranjo, “Así han cambiado las redes móviles en 50 años: Del 1G al 6G,” *ADSLZone*, May 09, 2021. Accessed: Aug. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/tecnologia-telefonía-movil/>
- [53] Temas Tecnologicos de Interes, “Conceptos Básicos de Redes Móviles – ¿Qué necesito saber?,” *Temas Tecnologicos de Interes*, Nov. 02, 2013. <http://www.temastecnologicos.com/redes-moviles/#lte> (accessed Aug. 10, 2022).
- [54] J. C. Broncano, “¿Cuáles son los tipos de red móvil existentes?,” *Pro Android*, Feb. 10, 2018. <https://www.proandroid.com/tipos-red-movil-existentes/> (accessed Aug. 10, 2022).
- [55] iFP, “Las redes móviles 3G, 4G y 5G: Todo lo que necesitas saber,” *IFP*, Jun. 06, 2017. <https://www.ifp.es/blog/las-redes-moviles-3g-4g-y-5g-todo-lo-que-necesitas-saber> (accessed Aug. 10, 2022).
- [56] B. Espada, “¿Qué son el 1G, 2G, 3G, 4G y 5G y sus diferencias?,” *OKDiario*, Aug. 16, 2021. Accessed: Aug. 10, 2022. [Online]. Available: <https://okdiario.com/curiosidades/que-significa-1g-2g-3g-4g-5g-3223153>



- [57] P. F. Iglesias, “Tipos de Redes de Datos en Móviles y Tablets,” *PabloYglesias*, Sep. 11, 2012. <https://www.pabloyglesias.com/tipos-de-redes-de-datos-en-moviles-y-tablets/> (accessed Aug. 10, 2022).
- [58] Straplas, “Propiedades físicas y mecánicas,” *Straplas S.A.*, Apr. 08, 2014. <http://straplas.com.ar/straplas/caracteristicas/propiedades-fisicas-y-mecanicas/> (accessed Aug. 11, 2022).
- [59] Material Properties Org, “Fibra de Carbono,” *Material Properties*, Jun. 28, 2021. <https://material-properties.org/es/fibra-de-carbono-tabla-de-materiales-aplicacion-precio/> (accessed Aug. 11, 2022).
- [60] Plasticbages, “Tablas con las características técnicas y propiedades del pvc policloruro de vinilo en formato de barras y placas de plasticbages,” *Plasticbages Industrial S.L.*, 2013. <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html> (accessed Aug. 11, 2022).
- [61] Metrar, “¿Qué es el aluminio 6061?,” *Metrar*, Nov. 21, 2019. [https://metrar.com.ar/blog/que-es-el-aluminio-6061/#Sus\\_propiedades\\_mecanicas](https://metrar.com.ar/blog/que-es-el-aluminio-6061/#Sus_propiedades_mecanicas) (accessed Aug. 11, 2022).
- [62] Teknika 4, “Aluminio aeronáutico,” *Teknika 4*, 2019. <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6061> (accessed Aug. 11, 2022).
- [63] AbrahamG, “Cómo utilizar puente H con Arduino Controlar motor de CD,” *Automatización para Todos*, May 20, 2021. [https://www.automatizacionparatodos.com/puente-h-arduino/#Que\\_es\\_un\\_puente\\_H](https://www.automatizacionparatodos.com/puente-h-arduino/#Que_es_un_puente_H) (accessed Sep. 10, 2022).
- [64] L. M. Engineers, “Interface L298N DC Motor Driver Module with Arduino,” *Last Minute Engineers*, Nov. 28, 2018. <https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/> (accessed Sep. 13, 2022).
- [65] Dewesoft, “Qué es Adquisición de Datos - DAQ or DAS?,” *Dewesoft*, Mar. 01, 2020. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos> (accessed Oct. 12, 2022).
- [66] C. de los proyectos Wikimedia, “Adquisición de datos,” *Wikipedia*, Mar. 22, 2021. [https://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](https://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos) (accessed Oct. 12, 2022).
- [67] Aula21, “Cómo funciona la Adquisición de Datos en la planta de producción,” *Aula21*, May 20, 2022. <https://www.cursosaula21.com/como-funciona-la-adquisicion-de-datos/> (accessed Oct. 12, 2022).
- [68] L. M. Engineers, “Interface MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor with Arduino,” *Last Minute Engineers*, Dec. 29, 2020. <https://lastminuteengineers.com/mpu6050-accel-gyro-arduino-tutorial/> (accessed Oct. 13, 2022).





- [69] L. M. Engineers, “Interfacing Micro SD Card Module with Arduino,” *Last Minute Engineers*, Jul. 02, 2018. <https://lastminuteengineers.com/arduino-micro-sd-card-module-tutorial/> (accessed Oct. 30, 2022).
- [70] L. Llamas, “El bus SPI en Arduino,” *Luis Llamas*, May 14, 2016. <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/> (accessed Oct. 30, 2022).
- [71] L. M. Engineers, “Interface ublox NEO-6M GPS Module with Arduino,” *Last Minute Engineers*, Nov. 11, 2018. <https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/> (accessed Oct. 30, 2022).
- [72] G. Baddeley, “GPS,” *NMEA sentence information*, Jul. 21, 2001. <https://aprs.gids.nl/nmea/#gsa> (accessed Oct. 30, 2022).
- [73] MiXtap20, “GPS + Accelerometer project,” *Arduino Forum*, Jun. 14, 2018. <https://forum.arduino.cc/t/gps-accelerometer-project/531586/2> (accessed Oct. 30, 2022).
- [74] SlashDevin, “GitHub - SlashDevin/NeoGPS: NMEA and ublox GPS parser for Arduino, configurable to use as few as 10 bytes of RAM,” *GitHub*, Jun. 02, 2018. <https://github.com/SlashDevin/NeoGPS> (accessed Oct. 30, 2022).
- [75] SlashDevin, “GitHub - SlashDevin/NeoSWSerial: Efficient alternative to SoftwareSerial with attachInterrupt for RX chars, simultaneous RX & TX,” *GitHub*, Jul. 13, 2017. <https://github.com/SlashDevin/NeoSWSerial> (accessed Oct. 30, 2022).
- [76] greiman, “GitHub - greiman/SdFat: Arduino FAT16/FAT32 exFAT Library,” *GitHub*, Jul. 04, 2022. <https://github.com/greiman/SdFat> (accessed Oct. 30, 2022).
- [77] Manoj, “Quick Guide to PMTK Commands,” *rydoLABZ*, Jan. 03, 2017. <https://www.rhydolabz.com/wiki/?p=16770> (accessed Oct. 30, 2022).
- [78] Grindel Gears, “Glosario,” *Grindel Gears*, 2014. <https://www.grindelgears.com/es/glosario/> (accessed Nov. 06, 2022).
- [79] Xunta de Galicia, “4.3.- Engranajes,” *espazoAbalar*, Jun. 03, 2016. [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43\\_engranajes.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html) (accessed Nov. 07, 2022).
- [80] G. Iani, “Elementos de Maquinas,” *Subproyecto: Elementos de Maquinaria Agrícola*, 2006. <https://elemaquina.webs.com/documentos.htm> (accessed Nov. 08, 2022).
- [81] Areatecnologia, “Engranajes,” *Areatecnologia*, 2013. <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/engranajes.html> (accessed Nov. 10, 2022).

- [82] Eusko Ikaskuntza, “1.3.1.- Fuerzas en los engranes rectos.,” *DPM05.- Cálculo de elementos de máquina (I)*, Mar. 31, 2020. [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DPM/DPM05/es\\_DFM\\_DPM05\\_Contenidos/website\\_131\\_fuerzas\\_en\\_los\\_engranes\\_rectos.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DPM/DPM05/es_DFM_DPM05_Contenidos/website_131_fuerzas_en_los_engranes_rectos.html) (accessed Nov. 10, 2022).
- [83] H. Rodríguez, “Transmisiones por Engranajes,” *Ingemecánica*, 2014. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn151.html> (accessed Nov. 13, 2022).
- [84] Í. Sarria, “Cálculo y diseño de la transmisión de un automovil,” TFG, Escuela de ingeniería de Bilbao, 2017.
- [85] RCexplained, “RC Gearing Explained - What happens to Torque, Power and Speed,” *YouTube*. Feb. 03, 2020. Accessed: Nov. 13, 2022. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=z8QJ347hW0k&t=2s&ab\\_channel=RCexplained](https://www.youtube.com/watch?v=z8QJ347hW0k&t=2s&ab_channel=RCexplained)
- [86] R. Diego, “Engranajes,” *Engranajes*, Apr. 06, 2014. <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm> (accessed Nov. 13, 2022).
- [87] Calculator Atoz, “Diseño de engranaje recto Calculadora,” *Diseño de engranaje recto Cálculo*, 2016. <https://www.calculatoratoz.com/es/design-of-spur-gear-Calculators/CalcList-2472> (accessed Nov. 13, 2022).
- [88] RCexplained, “How to Determine the Biggest Pinion Gear for Your RC Car,” *YouTube*. Mar. 22, 2021. Accessed: Nov. 13, 2022. [Online]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=R44a3M9p0BE&ab\\_channel=RCexplained](https://www.youtube.com/watch?v=R44a3M9p0BE&ab_channel=RCexplained)
- [89] aprendecienciaytecnologia, “¿Cómo se calcula la velocidad de un vehículo a partir de las revoluciones del motor?,” *Aprende Ciencia y Tecnología*, Sep. 19, 2018. <https://aprendecienciaytecnologia.com/2018/09/19/como-se-calcula-la-velocidad-de-un-vehiculo-a-partir-de-las-revoluciones-del-motor/> (accessed Dec. 04, 2022)
- [90] Intef, “¿Qué es el coeficiente de rozamiento dinámico?,” *RecursosTIC*, Oct. 13, 2010. [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/coeficderozamientoes\\_tatico/coef2.htm](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/coeficderozamientoes_tatico/coef2.htm) (accessed Dec. 05, 2022).
- [91] C. Finch, “Diseño, calculo, fabricación y puesta en servicio del sistema de dirección para un vehículo shell ecomarathon,” Universitat Politècnica de València, 2019.
- [115] Generalitat de Catalunya, “Factor d'emissió de l'energia elèctrica: el mix elèctric,” *Canvi climàtic*, Apr. 25, 2022.

[https://canvclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors\\_demissio\\_associats\\_a\\_lenergia/](https://canvclimatic.gencat.cat/ca/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/)  
(accessed Dec. 31, 2022).

[116]RcFanatic, “Tipos de suspensión coche Radio Control,” *Rcfanatic.es*, Jan. 25, 2022. <https://rcfanatic.es/tipos-de-suspension/> (accessed Jan. 05, 2023).

[118]M. Saat, “OpenRC F1 MKII RC Car,” *Cults 3D*, Dec. 29, 2020. <https://cults3d.com/en/3d-model/game/open-rc-f1-mkii> (accessed Jan. 05, 2023).

[119]Aliexpress, “SNRC-R2-G 1/10 RC,” *Aliexpress.com*, 2022. <https://es.aliexpress.com/item/4000333523036.html> (accessed Jan. 06, 2023).

[120]D. Doks, “Radiocontrol IMPRESO en 3D / CRAMER 4x4 1:10 / diferenciales impresos en 3D / Parte 1/2,” *YouTube*. Oct. 27, 2022. Accessed: Jan. 06, 2023. [Video]. Available:  
[https://www.youtube.com/watch?v=sR7akpfHm1g&t=853s&ab\\_channel=DukeDoks](https://www.youtube.com/watch?v=sR7akpfHm1g&t=853s&ab_channel=DukeDoks)

[121]J. Radford, “Gear Ratios,” *Slot Car Talk - slot car racing forums*, Sep. 08, 2010. <http://www.slotcartalk.com/slotcartalk/showthread.php?29123-Gear-Ratios> (accessed Jan. 06, 2023).

[122]CampoOffRoad, “Pista RC Off Road Campogalliano,” *CampoOffRoad*, Apr. 11, 2019. <https://www.campooffroad.it/> (accessed Jan. 06, 2023).

[123]AMSA, “Circuitos,” *AMSA Trinitat RC*, Mar. 07, 2021. <https://amsatrinitat.com/index.php/circuitos/> (accessed Jan. 06, 2023).

[124]A. J. Gutiérrez, “Transmisión por Engranajes - 358-maquinas,” *Máquinas*, 2010. <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-engranajes> (accessed Jan. 06, 2023).