



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**DISSENY I DESENVOLUPAMENT DEL SISTEMA DE
TRANSMISSIÓ D'UN AUTOMÒBIL ELÈCTRIC**



Memòria

Autor: Joaquim Maria Cabré Pallejà
Director: Oscar Farrerons Vidal
Convocatòria: Gener 2022

Resum

En aquest projecte es presenta l'estudi, anàlisi i disseny del sistema de transmissió que es podria utilitzar en un automòbil propulsat per un motor elèctric. Per aquest cas s'ha centrat en el disseny d'un cotxe amb carrosseria del tipus SUV.

El principal objectiu es basa en el càlcul i disseny de totes les peces que formen aquest sistema, tenint en compte les forces que haurà de superar i d'aquesta manera aconseguir les característiques i mesures necessàries.

El primer pas del treball és un estudi teòric del tipus de bateries i motors elèctrics que existeixen en el mercat per saber quin utilitzarà el nostre model. Posteriorment es realitza l'explicació de com és un sistema de transmissió en els automòbils de combustió, per així veure quines parts no són necessàries en el cotxe elèctric i quines es necessiten noves.

Un cop es sap totes les peces que muntarà el sistema es realitzen els càlculs per saber la mesura i característiques que té. Després es creen les peces en 3D mitjançant el programa de CAD *SolidWorks*.

Resumen

En este proyecto se presenta el estudio, análisis y diseño del sistema de transmisión que podría utilizarse en un automóvil propulsado por un motor eléctrico. Por este caso se ha centrado el diseño de un coche con carrocería del tipo SUV.

El principal objetivo se basa en el cálculo y diseño de todas las piezas que forman este sistema, teniendo en cuenta las fuerzas que deberá superar y conseguir así el material y medidas necesarias.

El primer paso del trabajo es un estudio teórico del tipo de baterías y motores eléctricos que existen en el mercado para saber cuál va a utilizar nuestro modelo. Posteriormente se realiza la explicación de cómo es un sistema de transmisión en los automóviles de combustión, para así ver qué partes no son necesarias en el coche eléctrico y cuáles se necesitan nuevas.

Una vez se sabe todas las piezas que montará el sistema se realizan los cálculos para saber su tamaño y características. Luego se crean las piezas en 3D mediante el programa de CAD SolidWorks.

Abstract

This project presents the study, analysis and design of the transmission system that could be used in a car powered by an electric motor. The focus is on the design of a car with an SUV body.

The main objective is based on the calculation and design of all the parts that make up this system, considering the forces that must be overcome and thus achieve the necessary material and measurements.

The first step in the work is a theoretical study of the types of batteries and electric motors that exist in the market to know which one will use our model. This is followed by an explanation of what a transmission system is like in combustion cars, to see which parts are not needed in the electric car and which new ones are needed.

Once all the parts that the system will assemble are known, the calculations are made to find out their size and characteristics. The pieces are then created in 3D using the SolidWorks CAD program



Agraïments

M'agradaria agrair en primer lloc a la meva família pel suport que m'han anat donant al llarg d'aquest projecte.

Vull agrair també tota la informació i ajuda proporcionada per part del meu cosí Xavi, ja que sense ell no hagués estat possible la resolució d'alguns aspectes del treball i la manera de solucionar-ho.

Finalment vull agrair a l'Òscar Farrerons Vidal per acceptar ser el tutor del meu projecte, guiar-me i ajudar-me en tot el que m'ha estat necessari. En tot moment ha estat pendent d'ajudar-me i corregir el que fos necessari en qualsevol moment del dia i la setmana.

Glossari

Durant el treball s'han realitzat càlculs i estudis on s'han utilitzat diferents símbols i abreviatures. El significat el trobareu en les següents pàgines:

t = Temps en segons(s)

m = Massa en Quilograms(kg)

L = Longitud en metres (m)

w = Velocitat en metres per segon(m/s)

a = Acceleració en Metre al quadrat per Segon(m^2/s)

r = Radi en metres(m)

d = Diàmetre en metres(m)

ρ = Densitat en quilogram per metre cúbic(kg/m^3)

\emptyset = Diàmetre del a roda en metres(m)

$v_{MÀX}$ = Velocitat màxima en Quilòmetre per Hora(m/s)

M = Moment rotor en ($N \cdot m$)

z = Dents que conté l'engranatge

P_s = Pressió que exerceix l'aire sobre la superfície del cotxe(MPa)

A_f = Superfície frontal del cotxe(m^2)

K = Coeficient de fregament de les rodes amb el terra

C_x = Coeficient aerodinàmic del cotxe

V_i = Velocitat inicial en Quilòmetre per Hora(km/h)

V_f = Velocitat final en Quilòmetre per Hora(km/h)

w = Velocitat angular en Radiants per Segon(rad/s)

rpm = Revolucions per minut

P = Potència en Watts(W)



ΣF = Sumatori de forces

η_T = Relació de transmissió del sistema complet

i = Relació de transmissió entre engranatges

R_i = Resistència per inèrcia que es crea en l'automòbil degut a la seva massa

R_a = Resistència per la força que exerceix l'aire en un cos en moviment

R_r = Resistència corresponent al rodament

R_p = Resistència produïda en les pendents degut a la força gravitatòria de la terra

F_i = Força que es produeix degut a la resistència per inèrcia en Newtons(N)

F_a = Força que exerceix l'aire sobre el cotxe en Newtons(N)

F_r = Força que es produeix pel contacte de les rodes amb el terra en Newtons(N)

F_p = Força que s'origina en les pendents per l'efecte de la gravetat en Newtons(N)

M_{16} = Cargol amb mètrica 16

M_{20} = Cargol amb mètrica 20

ÍNDEX

RESUM	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
AGRAÏMENTS	VI
GLOSSARI	VII
1. PREFACI	1
1.1. Origen del treball.....	1
1.2. Motivació.....	1
2. INTRODUCCIÓ	3
2.1. Objectius del treball.....	3
2.2. Abast del treball.....	3
3. TIPUS DE MOTORS I BATERIES ELÈCTRIQUES	5
3.1. TIPUS DE BATERIES DELS COTXES ELÈCTRICS.....	6
3.1.1. PLOM-ÀCID.....	6
3.1.2. NÍQUEL-CADMI.....	7
3.1.3. NÍQUEL-HIDRUR METÀLIC.....	7
3.1.4. IÓ-LITI.....	7
3.1.5. IÓ-LITI amb càtode de LiFePO ₄ :.....	8
3.2. TIPUS DE MOTORS ELÈCTRICS.....	9
3.2.1. MOTORS ASÍNCRONS.....	10
3.2.2. SÍNCRONS AMB IMANTS PERMANENTS.....	11
3.2.3. SENSE ESCOMBETES DE IMANTS PERMANENTS.....	11
3.2.4. SÍNCRONS AMB RELUCTANCIA VARIABLE.....	11
4. SISTEMA DE TRANSMISSIÓ D'UN AUTOMÒBIL	13
4.1. SISTEMES DE TRANSMISSIÓ EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓ:.....	13
4.1.1. EMBRAGATGE.....	13

4.1.2.	CAIXA DE CANVIS	13
4.1.3.	ARBRE DE TRANSMISSIÓ I JUNTES DE CARDAN	15
4.1.4.	DIFERENCIAL.....	16
4.1.5.	PALIERI I JUNTES HOMOCINÈTIQUES.....	17
4.2.	SISTEMES DE TRANSMISSIÓ EN UN MOTOR ELÈCTRIC:.....	19
4.2.1.	SISTEMA DE VELOCITATS “INGEAR”	20
4.2.2.	ARBRE DE TRANSMISSIÓ I JUNTES CARDAN.....	22
4.2.3.	DIFERENCIAL.....	22
4.2.4.	PALIERI I JUNTA HOMOCINÈTICA.....	23
5.	CÀLCUL DE LES PARTS	24
5.1.	CÀLCUL DE FORCES	29
5.1.1.	RESISTÈNCIA PER INÈRCIA (R_i)	29
5.1.2.	RESISTÈNCIA PER AIRE (R_A)	30
5.1.3.	RESISTÈNCIA PER RODAMENT (R_R)	31
5.1.4.	RESISTÈNCIA PER PENDENT(R_P).....	32
5.2.	CÀLCUL DEL SISTEMA DE VELOCITATS INGEAR	33
5.3.	JUNTES CARDAN.....	39
5.4.	CÀLCUL DIFERENCIAL	40
6.	PROCÉS DE DISSENY AMB CAD	41
6.1.	ARBRE DE TRANSMISSIÓ.....	41
6.2.	DIFERENCIAL.....	46
6.3.	SISTEMA DE VELOCITATS INGEAR	51
6.4.	PALIERI I JUNTES HOMOCINÈTIQUES.....	56
6.5.	UNIÓ DE LES PARTS	59
6.6.	CONJUNT TOTAL.....	59
7.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	64
8.	CONCLUSIONS	65
9.	BIBLIOGRAFIA	67



ÍNDEX DE IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1: Ubicació de la bateria en un cotxe elèctric[Font 9]	6
Il·lustració 2: Parts que componen un motor elèctric[Font 6]	10
Il·lustració 3: Motor elèctric sense escombretes de imants permanent[Font 3]	12
Il·lustració 4: Sistema de transmissió d'un automòbil amb motor de combustió[Font 4]	13
Il·lustració 5: Disposició de una caixa de canvis[Font 6]	15
Il·lustració 6: Vista explosionada de Junta Cardan[Font 7]	16
Il·lustració 7: Diferencial amb les parts que la formen[Font 13]	17
Il·lustració 8: Palier o semi-arbre de transmissió[Font 9]	18
Il·lustració 9: Sistema INGEAR acoblat al motor elèctric[Font 4]	20
Il·lustració 10: Sistema de velocitats INGEAR [Font 5]	21
Il·lustració 11: Components de una junta homocinètica [Font 14]	23
Il·lustració 12: Pneumàtic MICHELIN 215/50 R19 [Font 8]	26
Il·lustració 13: Motor elèctric Curtis 1239e-8521 HPEVS Dual AC-35-144V[Font 9]	26
Il·lustració 14: Coeficient de fregament segons el tipus de sòl[Font 12]	31
Il·lustració 15: Plànol del sistema junta Cardan amb eix de transmissió[Font 18]	39
Il·lustració 16: Mesures de la forquilla del la junta segons el seu moment màxim[Font 18]	39

Il·lustració 17: Parts que formen el nostre diferencial[Font 17]	40
Il·lustració 18: Mesures de la forquilla de la junta Carda[Font 18]	41
Il·lustració 19:Forquilla de unió amb el sistema de velocitats[Font pròpia]	42
Il·lustració 20: Forquilla de la junta completa[Font pròpia]	42
Il·lustració 21: Creu d'unió entre forquilles[Font pròpia]	43
Il·lustració 22: Passador i bandolera [Font pròpia]	43
Il·lustració 23: Unió entre forquilla i creu[Font pròpia]	44
Il·lustració 24: Unió formada entre les dues forquilles[Font pròpia]	44
Il·lustració 25: Eix pinyó[Font pròpia]	46
Il·lustració 26: Engranatge corona del diferencial[Font pròpia]	47
Il·lustració 27: Engranatge satèl·lit del diferencial[Font pròpia]	48
Il·lustració 28: Engranatge planetari del diferencial[Font pròpia]	49
Il·lustració 29: Diferencial[Font pròpia]	49
Il·lustració 30:Vista explosionada del diferencial[Font pròpia]	50
Il·lustració 31: Engranatge pertinent al motor[Font pròpia]	51
Il·lustració 32: Engranatge de velocitat ràpida[Font pròpia]	52
Il·lustració 33: Engranatge de la primera velocitat[Font pròpia]	52

Il·lustració 34: Engranatge de la primera velocitat modificada [Font pròpia] _____	53
Il·lustració 35: Part en la qual queda dividida l'engranatge ràpid[Font pròpia] _____	53
Il·lustració 36: Carcassa del sistema de velocitats[Font pròpia] _____	54
Il·lustració 37: Passador de l'engranatge lent[Font pròpia] _____	54
Il·lustració 38: Pistó [Font pròpia] _____	55
Il·lustració 39: Disposició final dels engranatges[Font pròpia] _____	55
Il·lustració 40: Unió del rodador amb les sis esferes[Font Pròpia] _____	56
Il·lustració 41:Unió d'anella amb rodador[Font pròpia] _____	56
Il·lustració 42: Junta homocinètica completa [Font pròpia] _____	57
Il·lustració 43: Unió del palier amb la junta homocinètica _____	58
Il·lustració 44: Vista explosionada de la connexió del palier amb el pneumàtic[Font pròpia]____	58
Il·lustració 45: Transmissió Cardan[Font pròpia] _____	60
Il·lustració 46: Vista frontal del sistema Ingear[Font pròpia] _____	60
Il·lustració 47: Sistema Ingear amb agulla[Font pròpia] _____	61
Il·lustració 48: Unió del diferencial amb els paliers[Font pròpia] _____	61
Il·lustració 49: Vista diagonal del sistema de transmissió complet[Font pròpia] _____	62
Il·lustració 50: Vista lateral del sistema de transmissió complet[Font pròpia]_____	62

Il·lustració 51: Vista frontal del sistema de transmissió complet [Font pròpia] _____ 63

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Valors mitjans dels cotxes elèctrics estudiats[Font 15]	25
Taula 2: Característiques del nostre cotxe [Font Pròpia]	28
Taula 3: Qualificació segons el tipus de diàmetre de la llanta i l'engranatge motor[Font 12]	34

1. PREFACI

1.1. Origen del treball

L'origen del treball sorgeix en què era necessari, mitjançant millores quantificables, dissenyar un objecte o conjunt que hagués millorat el seu desenvolupament sostenible. És per això que en aquest document es troba el disseny del sistema de transmissió per un automòbil elèctric, eliminant els combustibles fòssils utilitzats en els motors de combustió i afegint parts noves en el sistema que milloren l'autonomia i redueixen el consum en la bateria que munta el cotxe.

1.2. Motivació

La principal motivació pel que es crea aquest treball és perquè l'autor d'aquest va realitzar en el passat un altre treball anomenat "*Sistemes de transmissió d'un automòbil: Estudi i anàlisi de l'embragatge*" i ha volgut traslladar els coneixements adquirits en el passat per centrar-se en un tema actual i que presenta un gran futur com és l'automoció elèctrica.

Actualment més del 90% dels cotxes utilitzen un motor de combustió i presenta certs problemes ja que s'estan acabant les combustibles fòssils i generen una gran contaminació. És per això que les grans marques d'automòbils estan centrant-se cada cop més en el disseny i millora dels seus models elèctrics, ja que en pocs anys tot apunta que seran els tipus més utilitzats.

Per aquests motius esmentats anteriorment s'ha decidit estudiar i dissenyar com és el sistema de transmissió elèctric.

2. INTRODUCCIÓ

2.1. Objectius del treball

A l'hora de dissenyar el sistema de transmissió en un automòbil elèctric ens serà necessari tenir uns coneixements previs sobre com funciona aquest sistema en un automòbil de combustió.

La primera part del treball es centrarà en veure quins tipus de bateries i motors elèctrics existeixen, ja que a partir d'aquí hauréu d'escollir una bateria i un motor que utilitzarà el nostre sistema. Com ens interessa un desenvolupament sostenible, a l'hora d'escollir aquestes dues parts ens centrarem en els que presentin elements menys contaminants i fàcils de reciclar.

Seguidament ens centrarem en l'estudi del comportament i les parts que componen el sistema de transmissió del moviment en un motor de combustió. Aquesta part és de vital importància ja que sinó seria molt complicat saber com realitzar-lo en un motor elèctric. Un vegada s'hagi entès tot el funcionament, es fa una explicació teòrica de com serà el nostre sistema i el perquè.

Un cop s'hagin realitzat els càlculs necessaris per saber la forma i la mida que tindran les nostres parts, es basa en realitzar les peces per CAD per poder reproduir de forma visual com serà el nostre sistema.

Finalment es farà un pressupost de quin és el preu total del cost del sistema, on s'inclourà el cost que tenen les peces i el dels treballadors que fan possible el disseny del sistema.

2.2. Abast del treball

L'abast d'aquest projecte es basa en aconseguir un disseny CAD del model amb els seus corresponents plànols, mitjançant uns càlculs aproximats i explicant perquè s'ha arribat a aquestes conclusions.

Perquè fa la part de disseny només es centrarà en el moviment que surt del motor fins el que arriba a les rodes. No es presentarà ni el modelatge de la carrosseria del cotxe ni les parts que protegeixen el sistema de transmissió, ja que pel càlcul del nostre sistema no era necessari. Tot i això podrien ser parts interessants a estudiar en un futur ja que podrien canviar certs aspectes d'aquest sistema.

3. TIPUS DE MOTORS I BATERIES ELÈCTRIQUES

Segons el tipus de cotxe i funcionalitat que se li vulgui donar, una bateria es dissenyarà d'una forma o una altre amb unes especificacions concretes per donar les prestacions que demana.

La importància de la bateria és tant elevada que el preu del cotxe dependrà del tipus i de la mida de la bateria que s'utilitzi.

Els aspectes principals a tenir en compte quan es realitza la bateria d'un cotxe són els següents:

- **CAPACITAT:** es refereix a la quantitat de Ampers/Hora que accepta una bateria. Aquesta quantitat es mesura per Quilowatt/Hora i es indispensable per determinar el recorregut que t'ofereix el cotxe en la teva rutina habitual o ús que es vulgui donar.
- **DENSITAT ENERGÈTICA:** la densitat energètica determina la quantitat d'energia que la bateria del cotxe és capaç de guardar i subministrar, factor que està directament relacionat a l'autonomia dels cotxes elèctrics. Per tant, quan més gran sigui la densitat energètica de la bateria, de més autonomia disposarà l'automòbil.
- **POTÈNCIA:** aquest aspecte depèn molt de quin tipus d'automòbil necessitis i les prestacions que presenti.
- **CICLE DE VIDA:** com succeeix amb tots els equips elèctrics de diferent mesura i utilitzat en altres aplicacions, el cicle de vida de les bateries dels cotxes elèctrics fan referència al seu període de càrrega i descàrrega. Per tant, si optes per la busca d'una bateria de gran duració, és important que busquis una que compti amb una gran quantitat de cicles de càrrega complets.

3.1. TIPUS DE BATERIES DELS COTXES ELÈCTRICS

Tenint en compte els factors anteriors és molt important saber quin tipus de bateria és necessari segons les necessitats que tinguis sobre carretera i les prestacions que li vulguis demanar al cotxe. Per tan és important conèixer quines són les més utilitzades i que ens ofereixen per tal d'escollir la que millor s'adapta al nostre problema:



Il·lustració 1: Ubicació de la bateria en un cotxe elèctric[Font 9]

3.1.1. PLOM-ÀCID

És la més antiga i també ha estat la més usada en vehicles convencionals. Solen tenir entre 6 i 12 V amb una autonomia de 100 quilòmetres aproximadament, i el seu ús principal es basa en l'arrencada del vehicle, la il·luminació i el suport elèctric. Avui en dia ja s'estan deixant de fabricar.

- *Característiques:* cicle de vida limitat entre 500 i 800 cicles de càrrega-descàrrega, densitat de càrrega baixa entre 30-40 Wh/Kg i la necessitat d'un manteniment periòdic.
- *Avantatges:* baix cost de producció i bona resposta en fred.
- *Inconvenients:* bateries molt pesades, capacitat de càrrega lenta i consten de plom que és un metall tòxic.

3.1.2. NÍQUEL-CADMI

Aquest tipus és un dels més utilitzats, però s'ha de dir que no és molt eficient el seu ús per culpa de del seu alt cost d'adquisició i per culpa del seu efecte memòria (la capacitat de la bateria és redueix quan la carga és incompleta).

- *Característiques:* cicle de vida entre 1500 i 2000 cicles de càrrega i descàrrega, densitat de càrrega entre 40-60 Wh/Kg i és necessari un manteniment específic.
- *Avantatges:* és una bateria molt fiable i permeten un reciclatge total.
- *Inconvenients:* alt cost d'adquisició, efecte memòria, consta de metalls contaminants i envelleix prematurament per culpa del calor.

3.1.3. NÍQUEL-HIDRUR METÀLIC

Aquesta presenta un alt ús per quan es tracta amb cotxes híbrids.

- *Característiques:* presenta un cicle de vida entre 300 i 500 cicles de càrrega i descàrrega. Té una densitat de càrrega entre 30-80 Wh/Kg i és necessari un elevat manteniment.
- *Avantatges:* s'ha reduït l'efecte memòria en relació a les bateries anteriors, a més a més d'eliminar un metall tòxic com el cadmi.
- *Inconvenients:* consta d'una menor fiabilitat, no aguanta fortes descàrregues, molt poca resistència a altes temperatures i menor resistència a alts corrents de descàrrega.

3.1.4. IÓ-LITI

Aquest tipus es de creació bastant recent i consta amb una densitat energètica que és el doble que les de cadmi-níquel. El seu volum també es redueix, però com a conseqüència el preu augmenta:

- *Característiques:* cicle de vida entre 400 i 1200 cicles de càrrega-descàrrega. Densitat de càrrega entre 100-250 Wh/Kg i sense necessitat de manteniment.
- *Avantatges:* consta d'una alta densitat energètica, s'ha reduït el volum, pes lleuger, alta eficiència i sense efecte memòria.
- *Inconvenients:* alt cost d'adquisició, fràgil, precisa d'un circuit de seguretat i un emmagatzemant estRICTE.

3.1.5. IÓ-LITI amb càtode de LiFePO₄:

Una millora que ofereix aquesta bateria és que no utilitzen cobalt, el que les fa més segures obtenint una major estabilitat gràcies a la seva alta quantitat de ferro:

- *Característiques:* cicle de vida que ronda entre els 2000 cicles de càrrega-descàrrega, densitat de càrrega entre 90-100 Wh/Kg i sense necessitat de manteniment.
- *Avantatges:* són bateries estables, segures i potent.
- *Inconvenients:* cost d'adquisició més alt i presenten un cost major.

A partir d'aquests tipus hem d'elegir quina és la millor per tal del tipus de bateria que volem dissenyar.

La bateria escollida ha sigut la esmentada al final de tot, és a dir, la de IÓ-LITI amb càtode de LiFePO₄. El motiu perquè hem triat aquesta és perquè és una bateria amb una llarga duració i a més a més elimina elements que presenten substàncies tòxiques.

3.2. TIPUS DE MOTORS ELÈCTRICS

Un cop vist que el nostre cotxe vindrà dotat de una bateria de IÓ-LITI amb càtode de LiFePO₄, cal veure quins motors existeixen en el mercat i saber si aquests poden constar de una bateria com la que utilitzarem.

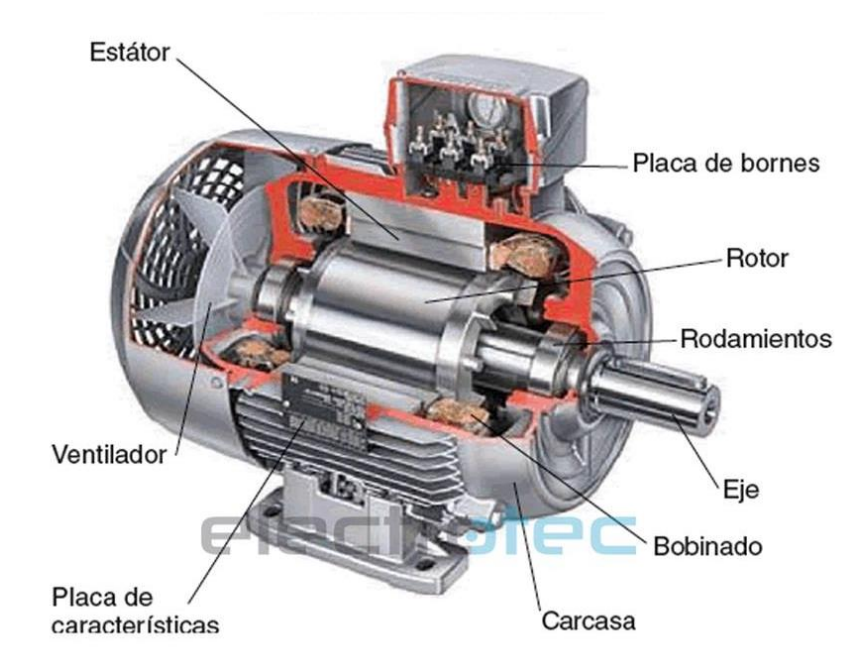
Igual que en les bateries hi han una sèrie de característiques en les que cal centrar-se per tal de veure quin és el més eficient o el que més s'adapta a nosaltres, realitzarem el mateix amb el tipus de motors, buscant el que contingui els elements menys contaminants i fàcils de reciclar.

Si observem la pròpia mecànica de un motor elèctric es pot veure en el seu interior que el funcionament és molt més senzill i fiable que un motor de combustió, a part de que presenten un nombre de peces mòbils molt menor. No tots consten de les mateixes peces exactes, però si que existeixen les parts que són generals dintre el funcionament i dins de la seva fabricació:

- **BATERIES:** estudiades i analitzades anteriorment són les que s'encarreguen d'emmagatzemar l'energia en forma de corrent continua, per alimentar el motor mitjançant aquesta energia. També existeixen motors de corrent alterna on la bateria va connectada a un inversor.
- **CARREGADOR:** és l'encarregat d'absorbir l'electricitat de forma alterna i directament de la xarxa externa i transportar-la a la bateria que l'emmagatzemarà.
- **REGULADOR ELÈCTRIC:** aquest sistema està format per diversos subsistemes elèctrics i electrònics anomenats inversor, rectificador i transformador. Aquest conjunt és capaç de gestionar els fluxos de corrent entre les bateries i el motor en tots dos sentits, tan quan el motor empeny el cotxe i quan el motor recarrega les bateries.
- **INVERSORS** transformen el corrent continu en corrent alterna en el cas de que es tracti de motors amb corrent alterna.
- **CONTROLADORS:** comproven el correcte funcionament per eficiència i seguretat i regulen l'energia que recarrega el motor.

Amb les anteriors característiques esmentades s'han generat diferents tipus de motors. És important remarcar les dues parts fonamentals que formen aquests:

- **ESTATOR:** és la part fixa de la màquina. Pot estar format per electroimants fins a plaques magnètiques i poder acollir en el seu interior el rotor.
- **ROTOR:** és la part mòbil i conté un camp magnètic fixe. Aquest gira dins de l'estator i arrastra el camp magnètic fent-lo girar. Mitjançant els elements que formen tot l'eix de transmissió, permet portar el moviment d'aquest fins les rodes motrius.



Il·lustració 2: Parts que componen un motor elèctric[Font 6]

Els motors elèctrics més típics i sobre els quals haurem de decidir quins utilitzar són els següents:

3.2.1. MOTORS ASÍNCRONS

Es distingeixen dos tipus de motors elèctrics segons funcionin amb corrent continua o corrent alterna. El primer subtipus que comentarem és el motor asíncron.

És un motor de corrent alterna també conegut com motor de inducció. A diferència dels altres motors que veurem, el gir del rotor no es produeix a la mateixa velocitat que el camp magnètic produït per l'estator. A nivell pràctic marca diferència ja que són motors més econòmics, molt silenciosos i

ofereixen una eficiència perfecta en la conducció. Es componen bàsicament del rotor i del estator on es troben les bobines inductores, trifàsiques i desfasades 120º.

3.2.2. SÍNCRONS AMB IMANTS PERMANENTS

També és propulsat per corrent alterna. Ofereix una velocitat de gir constant i en aquesta ocasió el rotor i l'estator si que giren a la mateixa velocitat. Aquests motors ofereixen un excel·lent rendiment, un màxim control de velocitat i generen una mínima vibració i soroll. Aquest motor encareix l'import final del vehicle.

Un dels inconvenients que presenta aquest és que en el rotor incorpora imants amb metalls que són escassos, cars i difícils de reciclar. A més a més els propulsors necessiten excitació externa i escobretes per generar el camp magnètic en el rotor i fer-lo girar.

3.2.3. SENSE ESCOMBETES DE IMANTS PERMANENTS

S'acostumen a utilitzar en vehicles híbrids. Funcionen a través de imants permanents localitzats en el rotor i que s'alimenten seqüencialment de cada fase del estator. Són molt robustos, no generen soroll i no necessiten manteniment.

Avui en dia, gràcies a l'electrònica es mostren molt avantatjats ja que són més econòmics, pesen menys i requereixen menys manteniment tot i que consten d'un control molt més complexa. Aquest últim inconvenient ve arreglat pels controladors electrònics de velocitat ESC.

3.2.4. SÍNCRONS AMB RELUCTANCIA VARIABLE

Aquest motor també funciona amb corrent alterna. La diferència és que el seu funcionament es basa en la reluctància variable. Aquest comportament té lloc per mitjà d'un rotor dentat que està alineat amb els pols del estator. Els pols del rotor s'atrauen pel camp magnètic i creen un par que l'alimenta.

Es tracta així de motor elèctrics amb bastanta importància en els cotxes amb un parell motor alt i econòmic, tot i no oferir gaire potència. El seu principal avantatge és l'eficiència que ofereix el motor, raó per la que molts fabricants l'han escollit com a prioritat per alguns dels seus models.

Després de comentar els anteriors tipus de motors ens hem decantat per l'elecció del tipus **SENSE ESCOMBETES DE IMANTS PERMANENTS**. Els motius són perquè és un motor econòmic, no generen

soroll i no necessiten manteniment, cosa que suposarà un estalvi econòmic en el pas del temps. A més a més té un pes molt reduït, de forma que el motor no necessitarà més potència per culpa d'un pes excessiu.

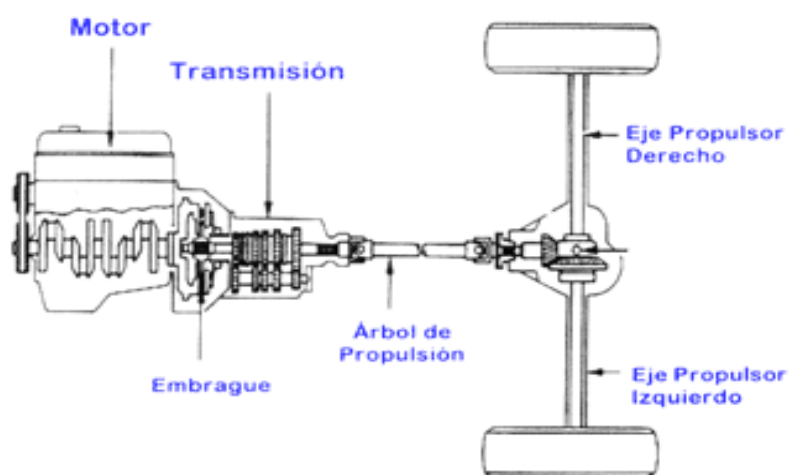


Il·lustració 3: Motor elèctric sense escobretes de imants permanent[Font 3]

4. SISTEMA DE TRANSMISSIÓ D'UN AUTOMÒBIL

A l'hora de parlar del sistema de transmissió de un cotxe de motor elèctric, cal remarcar certs canvis respecte al sistema convencional que han utilitzat i utilitzen tots els cotxes de motor de combustió.

Per explicar el funcionament dels nous cotxes de motor elèctric farem una breu explicació de com funcionen els de motor de combustió per veure quines són les diferències i de quines parts s'han pogut prescindir i quines s'han hagut d'afegir:



Il·lustració 4: Sistema de transmissió d'un automòbil amb motor de combustió[Font 4]

4.1. SISTEMES DE TRANSMISSIÓ EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓ:

4.1.1. EMBRAGATGE

És la primera part que forma el sistema de transmissió, i la seva funció és portar a través del cigonyal la potencia generada pel motor al canvi de marxes. L'existència d'aquesta part ve deguda en què en els motors de combustió és necessari una caixa de canvis per tal de treure el màxim rendiment del motor mitjançant la relació d'engranatges. El que ens porta a explicar la següent part.

4.1.2. CAIXA DE CANVIS

És l'encarregada d'augmentar, mantenir o disminuir la relació de transmissió entre el cigonyal i les rodes, segons la voluntat i/o necessitat del conductor.

Per aconseguir un elevat nombre de combinacions de la caixa de canvis, i amb certa facilitat constructiva, es col·loca abans de la caixa de canvis un altra anomenada grup reductor.

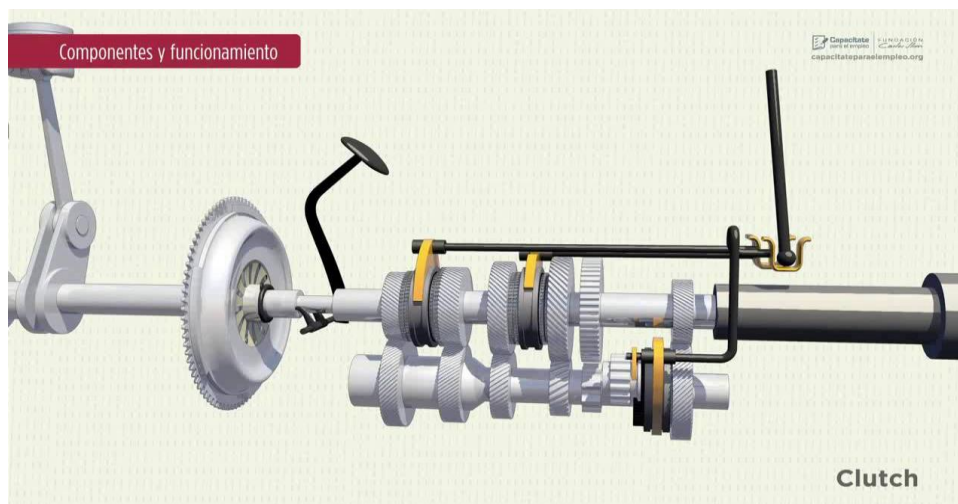
El grup reductor és realment una altra caixa de canvis amb la diferència que el seu eix de sortida actuarà com a eix primari de la segona caixa de canvis. D'aquesta forma l'eix primari de la segona caixa de canvis rep el moviment del grup reductor mitjançant dos engranatges de presa constant, un de l'eix de sortida del grup reductor i l'altre que va unit amb l'eix intermedi. Per tant, el funcionament d'una caixa de canvis segueix de la següent forma:

L'eix intermedi té diversos engranatges de diferents mides solidaris a ell que s'engranen segons la combinació que es vulgui amb els corresponents de l'eix secundari per aconseguir les diferents velocitats que ofereix la caixa de canvis.

Sobre l'eix secundari van col·locats engranatges units dos a dos a uns desplaçables, que poden moure's amb un cert grau de llibertat. S'ha de tenir en compte que al ser desplaçables els pinyons poden lliscar longitudinalment sobre l'eix secundari de forma que si giren engranats amb els seus corresponents engranatges de l'eix intermedi, provocarà el gir al eix secundari i transmetrà el seu par corresponent.

Pel que fa als automòbils tradicionals de motos de combustió tenen cinc o sis marxes, i una marxa cap endarrere. A part d'aquestes marxes també existeix la posició de punt mort, en el qual no hi ha engranat cap pinyó de l'eix secundari amb el de l'eix intermedi amb la conseqüència de que no es transmet moviment.

Això últim explicat és molt important ja que és conegut com el ralenti, imprescindible en els motors de combustió, ja que sinó quan el cotxe es trobés parat i no revés cap tipus de moviment produiria que el motor es trobés parat.



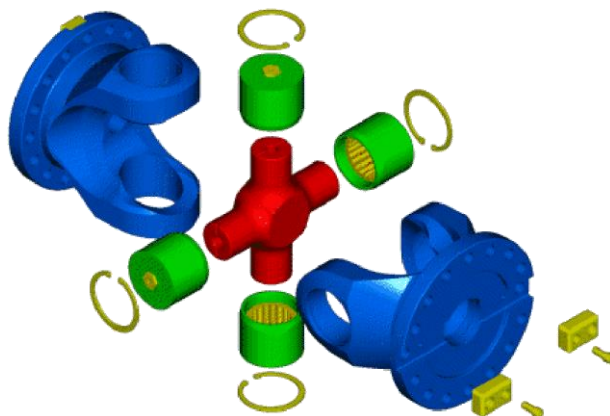
Il·lustració 5: Disposició de una caixa de canvis[Font 6]

4.1.3. ARBRE DE TRANSMISSIÓ I JUNTES DE CARDAN

La missió d'aquesta peça és transmetre el moviment giratori des de l'eix secundari de la caixa de velocitats fins al diferencial, aguantant sense deformar-se el màxim de revolucions possibles. Està constituït per una peça allargada i cilíndrica que va unida per un dels extrems a l'eix secundari de la caixa de canvis i per l'altre al pinyó del grup cònic. Es tracta d'un eix articulat perquè està constantment sotmès al esforç i al moviment de torsió i per això acostuma a estar fabricat amb acer. En cada extrem de l'arbre es col·loquen unes juntes que reben el nom de Juntes Cardan:

Aquest tipus són les més utilitzades en l'actualitat ja que poden transmetre un gran parell del motor i desplaçaments angulars de fins a 25º aproximadament. Aquestes però tenen un inconvenient ja que quan els eixos giren desalineats queden sotmesos a variacions de velocitats angular provocant un gran esforç del material els quals es desgasten molt ràpidament.

Estan constituïdes per dos forquilles unides entre si per una creueta la qual encaixa a pressió i són subjectades per unes brides de retenció. Una de les forquilles va unida al arbre de la transmissió i l'altra porta la brida d'acoblament per a la seva unió al grup propulsor del pont. A l'altre costat de l'arbre, la junta Cardan va muntada sobre una unió lliscant, formada per un maniguet estriat interiorment que forma part d'una de les forquilles, acoblant al estriat de l'arbre. El conjunt així format constitueix una unió oscil·lant i lliscant.



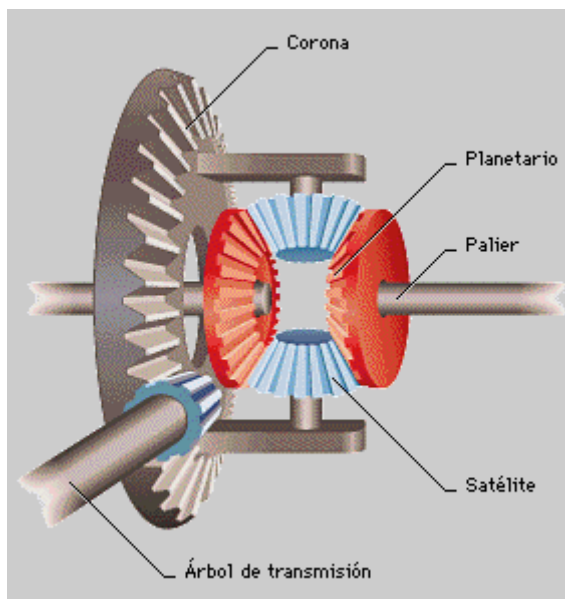
Il·lustració 6: Vista explosionada de Junta Cardan[Font 7]

4.1.4. DIFERENCIAL

El diferencial és el component dels automòbils que permet el desplaçament de les dues rodes quan descriuen diferents radis en la seva trajectòria. La missió que té el diferencial és encarregar-se de la velocitat de les rodes motrius ja que quan un automòbil gira l'arc que descriu la roda interior serà de menor radi que el que descriu la roda exterior. Aquesta diferència és la fa que l'automòbil incorpori el diferencial que s'encarrega que pugui existir una velocitat lineal diferent en cada roda sense que el pneumàtics del cotxe rellisquin. Pel que fa el diferencial està format per sis engranatges, els quals per la seva ubicació i funcionament es divideixen en les següents parts que es poden veure en la Il·lustració 3:

- Pinyó d'atac: transmet el moviment del motor i la corona.
- Corona: gira lliurement sobre un dels semieixos de la roda.
- Planetaris: transmeten el moviments als semieixos de la roda anomenats paliers.
- Satèl·lits: són els encarregats de de transmetre el moviment als planetaris ja que es troben units a la corona.

L'essència del sistema diferencial es basa en la forma com es transmet el moviment dels engranatges satèl·lits als planetaris. Com es pot apreciar, aquesta transferència de força no es realitza pel gir individual dels satèl·lits sinó per torsió, això vol dir que, els satèl·lits sense girar sobre els seus eixos i en ser accionats conjuntament per la corona arrossegueuen als planetaris, portant així el moviment a les rodes.



Il·lustració 7: Diferencial amb les parts que la formen[Font 13]

4.1.5. PALIERS I JUNTES HOMOCINÈTIQUES

Els paliers, que també reben el nom de semi-arbres de transmissió són els eixos a través dels quals es transmet el moviment des del diferencial a les rodes motrius. Un d'aquests extrems va enfilat per mitjà d'estries al planetari corresponent amb el qual es fa solidari. L'altre extrem encaixa en el cub de la roda, també solidàriament, per transmetre-li el seu gir. Els paliers van dins d'unes prolongacions del càrter del diferencial sobre les que articulen els dispositius de suspensió, qualsevol que sigui el sistema utilitzat.

És molt important fer referència a les conegudes juntes homocinètiques. Igual que per transmetre el moviment de la caixa de velocitats fins al diferencial s'utilitzen les juntes Cardan, en aquest cas s'utilitza la junta homocinètica. Com comentàvem anteriorment el moviment del diferencial era gràcies als paliers. El problema que s'esdevé, és que el moviment no pot ser rígid, ja que la roda està en constant moviment vertical per la llibertat que li proporciona la suspensió. D'aquesta manera és capaç d'absorbir les imperfeccions de la carretera. Aquí és on intervé la junta homocinètica, que pot transmetre perfectament la força de gir a les rodes sense que cap peça pateixi cap dany gràcies a l'angle de llibertat que permet. És molt important que estigui lubricada constantment per evitar el desgast comentat. Per això existeix una coixí elàstic de goma que recobreix la junta.



Il·lustració 8: Palier o semi-arbre de transmissió[Font 9]

4.2. SISTEMES DE TRANSMISSIÓ EN UN MOTOR ELÈCTRIC:

Una de les principals diferències entre els cotxes de motor elèctric i el motor de combustió convencional és la transmissió del moviment del motor a les rodes. Un vehicle de combustió conta amb unes relacions de transmissió com número de velocitats té el cotxe, però la majoria de cotxes elèctrics només tenen una sola velocitat o marxa.

Això és degut a que un motor elèctric pot entregar el parell màxim des de les zero revolucions. A diferència d'un motor de combustió no necessita desacoblar-se del tren motriu per mantenir el ralenti quan el cotxe està parat, ja que el motor sempre romandrà encès.

S'ha de remarcar que els motors elèctrics tenen un marge de revolucions molt més ampli que el que podria oferir un motor de combustió. A més a més el rendiment a l'hora d'entregar el parell i potencia màxima és molt superior comparat amb el motor de combustió. Per aquest motiu tots els dissenyadors d'automòbils elèctrics han optat per una relació de transmissió única que proporcioni un bon compromís entre acceleració i velocitat màxima. S'ha de mencionar que les revolucions màximes d'un motor elèctric poden arribar fins a 20000 RPM, per el que la velocitat màxima no és un factor limitant.

El que es vol dir amb lo esmentat anteriorment és que si un motor de combustió tingués una sola relació de transmissió, la velocitat màxima que podria oferir aquest, rondaria entorn dels 70 km/h. Si es volgués aconseguir una velocitat molt més superior, el cotxe mai arrancaria des de parat ja que faltaria parell motor com per moure la relació d'engrenatges corresponent.

Conseqüentment, per augmentar les prestacions del motor i limitar el consum d'energia, són molts els cotxes que se'ls hi ha limitat la velocitat de forma electrònica, aconseguint una millor acceleració gràcies a tenir una relació de transmissió major.

També provoca una millora de la eficiència en la transmissió gràcies a que s'elimina un dels engranatges amb connexió directe al eix del motor o la roda. A part, com no és necessària una corretja de distribució ni oli per la lubricació d'aquesta s'aconsegueix un estalvi en el cost del sistema de transmissió i manteniment del motor.

4.2.1. SISTEMA DE VELOCITATS “INGEAR”

Si parlem de innovació i com ha afectat la incorporació de motors elèctrics en el sistema automobilístic és molt important fer menció del nou sistema de **transmissió de dues marxes amb geometria variable** que va crear recentment el grup INMOTIVE.

Les persones que van dissenyar aquest mètode de transmissió de dues marxes són Anthony Wong i Jarek Lutoslawski. Va ser el primer d'aquests dos qui va proposar un disseny inicial després de investigar com fer una millor transmissió per bicicletes, ja que tenia una obsessió en obtenir una major eficiència possible i es va donar compte de que es perdia eficiència al canviar d'engrenatge movent la cadena d'un costat al altre.

Al veure que existia aquest problema, va arribar a la conclusió de que s'havia de fer servir l'espai entre engranatges per a crear un mecanisme de geometria variable que permetés que el canvi d'engrenatges es fes en línia. Amb aquest sistema, el canvi es pot realitzar sense que la cadena es mogui de forma lateral i així no perdre tracció en cap moment, obtenint un canvi molt suau, ràpid i una pèrdua d'energia insignificant.



Il·lustració 9: Sistema INGEAR acoblat al motor elèctric[Font 4]

Més tard va ser necessària l'ajuda del enginyer Lutoslawski, un ex enginyer de Tesla que va fallar en el procés de donar solució a una transmissió de dues marxes efectiva i de baix cost quan treballava sota les ordres de Elon Musk. El prototip dissenyat per Wong era molt prometedor però no era suficient com per utilitzar-lo en un vehicle de motor elèctric. De forma que va ser l'encarregat de millorar el prototip per poder usar-lo en cotxes com el Porsche Taycan o el Audi e-Tron GT.

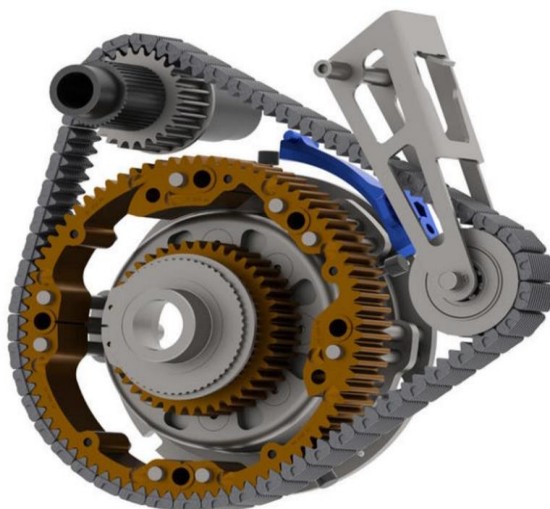
4.2.1.1. AVANTATGES DEL SISTEMA INGEAR

Aquest sistema de transmissió permet un augment de l'autonomia del 7% al 15%, a més d'un augment de l'acceleració del 15% gràcies a que existeix una altra relació de transmissió que permet oferir més potencia en la sortida. Diferents estudis demostren l'eficiència energètica que ofereix aquest sistema és de més del 99%, cosa que el fa molt més eficient que altres solucions de transmissió de dos marxes per cotxes elèctrics com podria ser l'engranatge helicoidal amb convertidor de parell, la transmissió de doble embragatge o transmissió de variable continua.

També presenta l'avantatge de que a diferència de les solucions esmentades anteriorment, el seu preu és de baix cost (inclús aconseguir-lo per un preu que ronda 1500€/unitat) i pot utilitzar-se en qualsevol vehicle elèctric, des de un automòbil molt lleuger fins a autobusos i camions.

4.2.1.2. FUNCIONAMENT

Per entendre com funciona la transmissió de dues marxes innovada pel grup INMOTIVE és de vital importància la Il·lustració 10:



Il·lustració 10: Sistema de velocitats INGEAR [Font 5]

En ella podem veure com en la part exterior hi ha l'engranatge de la marxa curta, composta per cinc parts. És la marxa utilitzada fins que el cotxe arriba a una velocitat aproximada dels 50 km/h, en un relació de transmissió d'engranatge gran i petit.

En aquest punt el software o l'electrònica que se li ha posat al cotxe faran que els segments que formen aquest engranatge es vagin retraient un per un de forma que la cadena passi a l'engranatge de la marxa llarga, que és de diàmetre més petit que l'anterior.

El que proporciona un gran avantatge és que la cadena de transmissió es recolza en tot moment en els engranatges, evitant que hi hagi una pèrdua de tensió i eficiència ja que el sistema sempre està proporcionant tracció.

Aquest element és el més innovador en el nostre sistema de transmissió. Com hem comentat anteriorment només dos automòbils el porten en l'actualitat i la introducció ens facilitarà el càlcul d'engranatges ja que en comptes de tenir-ne un que superi totes les forces que s'oposen a l'avanç del cotxe, podrem utilitzar dos engranatges o també anomenat dues velocitats.

4.2.2. ARBRE DE TRANSMISSIÓ I JUNTES CARDAN

Igual que succeeix en un cotxe de combustió la forma de transmetre el moviment que surt de la caixa de velocitats es fa mitjançant l'arbre de transmissió. S'ha de dir que aquest arbre existeix en el nostre disseny perquè es tracta d'un cotxe amb propulsió posterior, ja que si la tracció fos en l'eix davanter aquest eix no seria necessari.

Presenta un petit inconvenient ja que existeix una pèrdua d'eficiència en la transmissió tot i que no es veu excessivament afectat ja que el coeficient de transmissió és del 95% aproximadament.

Es veurà més endavant en el disseny si és necessari utilitzar dos eixos en comptes de un, depenent de la distància que existeixi entre la sortida del sistema de velocitats i l'entrada en el diferencial. Aquest fet és degut a que si només existeix un sol eix segurament haurà de tenir una llargada excessiva, de forma que a vegades és millor dividir-ho en dos que s'uniran mitjançant les Juntes Cardan.

Pel que fa a les juntes no difereixen de les mencionades anteriorment. S'utilitzaran les Cardan ja que és el més utilitzat i eficient en automoció.

4.2.3. DIFERENCIAL

Pel que fa el diferencial segueix el mateix pas que l'arbre de transmissió. És necessari la presència d'aquest ja que es tracta d'un automòbil amb propulsió posterior, en canvi si fos anterior el diferencial

es trobaria en el mateix sistema de velocitats. Existeixen diferents tipus segons el comportament que se li vulgui atribuir al cotxe.

En el nostre cas utilitzarem el convencional que consta d'un eix anomenat *pinyó* i que mitjançant un engranatge helicoidal transmet el moviment al engranatge anomenat corona.

Aquest últim porta dos engranatges solidaris a ell anomenats satèl·lits i poden rodar lliurement sobre el seu eix. Aquests dos engranen amb dos més anomenant planetaris que transmetran el moviment a les rodes motrius mitjançant els paliers.

4.2.4. PALIERS I JUNTA HOMOCINÈTICA

Com mencionàvem anteriorment és necessari que en el final del palier hi hagi la presència de una junta homocinètica. Aquesta està composta de tres parts que permeten un moviment giratori tal i com es pot observar en la il·lustració 11:

La primera part es tracta de un rodador cilíndric a la que va solidari l'eix del palier. Aquest rodador es trobarà al mig d'una anella que porta sis forats. Aquests forats, com es pot veure en la Il·lustració 7, són perquè entre l'anella i el rodador es troben unes esferes que són les que permeten el moviment giratori. Aquest conjunt es troba envoltat per una carcassa formant la junta homocinètica.



Il·lustració 11: Components de una junta homocinètica [Font 14]

5. CÀLCUL DE LES PARTS

Si es volgués determinar com seria la tipologia de tot el sistema de transmissió d'un cotxe amb motor elèctric, abans seria necessari contar amb certes propietats i característiques de les que constarà aquest automòbil. Com nosaltres no ho realitzem per cap model, farem una comparació de unes quantes versions de les que es troben al mercat i a partir d'allà definirem aquestes propietats.

Com que la majoria de casos en els que ens fixarem són prototips que s'assemblen al nostre automòbil, farem una mitjana aritmètica i utilitzarem el valor que hi pertoca.

En la taula 1 ús presentarem les versions que hem elegit per fer les comparacions:

	HYUNDAI IONIQ 5	PEUGEOT e-2008 Active	MAZDA MX-30 Zenith	SKODA Enyaq iV 60	MG ZA EV Luxury	\bar{X}
PNEUMÀTICS	235/55 R19	215/60 R17	215/55 R18	235/55 R19	215/50 R17	/
POTÈNCIA (CV)	170	136	145	179	143	155
PES (kg)	1905	1623	1270	1965	1518	1657
SUPERFÍCE FRONTAL (m^2)	2.34	2.28	2.42	2.5	2.38	2.39
BATALLA (mm)	3000	2605	2655	2765	2585	2725
NÚMERO VELOCITATS	1	1	1	1	1	1

PARELL MÀXIM ($N \cdot m$)	350	260	271	310	353	309
VELOCITAT MÀXIMA (km/h)	185	150	140	160	140	155
ACCELERACIÓ 0- 100 (km/h)	8.5	8.1	9.7	8.7	8.2	8.7
C_x	0.29	0.29	0.30	0.26	0.28	0.285

Taula 1: Valors mitjans dels cotxes elèctrics estudiats [Font 15]

La Taula 1 ens proporciona les característiques de 5 automòbils amb carrosseria SUV i podem veure que els valors són força propers en alguns casos però d'altres no.

Per tant la manera d'aconseguir els valors que defineixen el nostre automòbil serà utilitzant els anteriors i realitzant una mitjana aritmètica.

Hi han alguns altres valors que vindran determinats per nosaltres com és la velocitat màxima, ja que com al cotxe no li volem donar una actitud esportiva se l'assignarà un valor que ens sembli coherent i suficient per solucionar les nostres necessitats, i que encaixi amb un motor disponible en el mercat.

Per tant ara explicarem quines són les propietats escollides i perquè són aquestes:

PNEUMÀTICS:

Pels pneumàtics ens hem decantat per uns pneumàtics que s'assemblin als que porten els automòbils comentats. És per això que buscant per internet hem escollit un pneumàtic **MICHELIN 215/50 R19**. Els números anteriors signifiquen quin tamany té la roda i la nomenclatura utilitzada estableix el següent:

- EL pneumàtic té 215 mm d'amplada.
- El perfil és de un 50% d'ample.
- La llanta consta de un radi de 19 polzades.



Il·lustració 12: Pneumàtic MICHELIN 215/50 R19 [Font 8]

MOTOR ELÈCTRIC:

Pel que fa el nostre motor elèctric havíem d'aconseguir un motor que la seva potència fos propera a 150 CV i un parell màxim que oscil·li pels 300N·m. Com buscarem un motor ja dissenyat és obvi que no trobarem un exacte que compleixi aquestes necessitats però sí que s'apropi.

A més a més, s'ha de tenir present que el nostre automòbil ve dotat de dues velocitats gràcies el nostre sistema INGEAR, cosa que implica que el rendiment millorarà i no es veurà afectat si el motor no es proporciona les dades anteriors.

D'aquesta manera, el motor elegit i que ens proporciona la companyia *EV WEST* és el següent:



Il·lustració 13: Motor elèctric Curtis 1239e-8521 HPEVS Dual AC-35-144V[Font 9]

Pel nostre disseny ens interessen les següents dades:

- Potència: 165 CV
- Parell màxim: 280 N · m
- Règim de parell màxim: 10000 rpm

ATRIBUTS I DIMENSIONS DEL COTXE:

Seguirem amb el pes del que constarà l'automòbil i les seves dimensions. Aquestes són totalment teòriques i surt de realitzar la mitjana aritmètica dels models utilitzats. Les que ens interessen per dissenyar el sistema de transmissió i càlcul de forces són:

- MASSA: En aquest cas no utilitzarem la mitjana aritmètica ja que he, utilitzat dos vehicles que són molt pesats. Per tant contant passatgers més la massa del cotxe s'ha establert una massa total de 1750 kg
- SUPERFÍCIE FRONTAL: El valor és de 2.5m². En aquest cas no s'utilitza la mitjana sino la superfície màxima que presenta un dels nostres models.
- DISTÀNCIA ENTRE EIXOS: Finalment la distancia mitja entre eixos que uneixen les rodes davanteres amb les posteriors o també conegut com batalla, és de 2725mm.
- VELOCITAT MÀXIMA: Com havíem comentat anteriorment no li volem atribuir una actitud esportiva al cotxe. D'aquesta forma com fan molts cotxes limitarem la velocitat màxima en 150km/h de forma electrònica.
- ACCELERACIÓ 0 – 100km/h: El temps que tardarà el nostre vehicle en passar d'estar parat a assolir els 100km/h és de 8.7s, segons diu la mitjana aritmètica, però com que no volem assolir aquest caràcter deportiu agafarem un valor de 9.3 s.

DADES DEL NOSTRE AUTOMOVIL	
TRACCIÓ	POSTERIOR
NÚMERO DE VELOCITATS	2
POTÈNCIA MÀXIMA	165
PARELL MÀXIM	280

RÈGIM DE PARELL MÀXIM	5000
PES TOTAL DEL AUTOMÒVIL	1750kg
SUPERFÍCIE FRONTAL	2.5m ²
VELOCITAT MÀXIMA	150
ACCELERACIÓ 0-100 (km/h)	9.3 s
PNEUMÀTICS	215/50 R19
RELACIÓ DE LA VELOCITAT 1	3
RELACIÓ DE LA VELOCITAT 2	0.9
RELACIÓ DE LA TRANSMISSIÓ(η_T)	0.95
DISTÀNCIA ENTRE EIXOS	2220 mm
DISTÀNCIA ENTRE RODES	2000 mm

Taula 2: Característiques del nostre cotxe [Font Pròpia]

5.1. CÀLCUL DE FORCES

Com comentàvem abans és necessari el càlcul de les forces que s'oposaran a l'avanç del automòbil en les diferents situacions, ja que així podrem configurar quin ha de ser la mida dels engranatges que componen el nostre sistema INGEAR i poder superar les forces resistents. A més a més també mirarem que l'automòbil estigui dotat de un motor lo suficientment potent. Les quatre resistències en que ens centrarem són:

- Resistència per inèrcia que es crea en l'automòbil degut a la seva massa. (R_i)
- Resistència per la força que exerceix l'aire en un cos en moviment. (R_a)
- Resistència corresponent al rodament. (R_r)
- Resistència que es produeix en les pendents degut a la força gravitatòria de la terra. (R_p)

En els següents càlculs veurem quina és la força necessària per després passar-ho a potència. Per això serà necessari la utilització de la següent fórmula, on es sumaran totes les forces que s'han de vèncer per tal de veure quina és la potència necessària i confirmar que el nostre motor la compleix:

$$P = \frac{(\Sigma F) \cdot v_{MÀX}}{3600 \cdot \eta_T}$$

Equació 1

5.1.1. RESISTÈNCIA PER INÈRCIA (R_i)

La resistència per inèrcia es produeix quan hi ha un increment de velocitat i és dependent de la massa del cotxe. Per calcular la potència necessària per superar la força que s'origina contra el vehicle és necessari utilitzar la següent igualtat:

$$F_i = m \cdot a$$

Equació 2

Com no es diu cap tipus de velocitat en concret, utilitzarem les dades proporcionades al principi dels càlculs.

Això implica que calcularem l'acceleració per passar de 0 a $100 \text{ km/h} = 27.77 \text{ m/s}$ en 8.7s:

$$a = \frac{V_f - V_i}{t}$$

Equació 3

$$a = \frac{27.77 - 0}{9.3} = 3.19 \text{ m/s}$$

Llavors amb els valors anteriors ja podem calcular la potència total necessària:

$$F_i = 1750 \cdot 3.19 = 55582.5 \text{ N}$$

5.1.2. RESISTÈNCIA PER AIRE (RA)

Com bé diu el títol és la força que produeix l'aire sobre la superfície frontal de l'automòbil. Aquesta força es calcula mitjançant la següent igualtat.

$$F_a = P_s \cdot A_f \cdot C_x$$

Equació 4

$$\text{on: } P_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_f - V_i)^2$$

Equació 5

Substituint els valors que es troben en la Taula 2 i sabent que:

$$V_f = 150 \text{ km/h} = 41.67 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot (41.67 - 0)^2 = 1063.54 \text{ Mpa}$$

$$F_a = 1063.54 \cdot 2.5 \cdot 0.285 = 757.8 \text{ N}$$

5.1.3. RESISTÈNCIA PER RODAMENT (R_R)

La resistència per rodament es produeix per la deformació que es produeix entre el pneumàtic i el terra. Per tant, perquè la roda comenci a girar a el parell aplicat ha de ser major que el parell de resistència de rodament. D'aquesta manera es dedueix que la força mínima inicial necessària per produir el rodament serà igualant aquests moments, quedant com a resultat la següent equació:

$$F_r = \frac{K}{r} \cdot m \cdot g$$

Equació 6

La següent imatge mostra quin es el coeficient de fregament en diferents sols i casos per on el nostre cotxe es podrà desplaçar:

Superfície	Condición	K
Concreto	Excelente	0,0100
	Bueno	0,0150
	Malo	0,0200
Asfalto	Bueno	0,0125
	Regular	0,0175
	Malo	0,0225
Macadam	Bueno	0,0150
	Regular	0,0225
	Pobre	0,0375
Grava	Ordinaria	0,0550
	Pobre	0,0850
Barro	Suave	0,0250
	Arenoso	0,0375
Arena a nivel o pendiente	Suave	0,0600-0,150
	Duna	0,1600-0,300

Il·lustració 14: Coeficient de fregament segons el tipus de sòl [Font 12]

Pel nostre cas sempre es mourà sobre asfalt, però tot i això agafarem un asfalt que es trobi en males condicions per preveure problemes:

$$K = 0.0225$$

A més a més ens fa falta conèixer la mida del radi de la nostra roda motriu. Aquesta dada ens ve proporcionada pels pneumàtics que hem elegit. La forma per calcular el radi total ve donat per la següent expressió ja que també s'ha de tenir en compte el seu perfil:

$$r = \frac{19 \text{ polzades} \cdot \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ polzada}} + 2 \cdot 0.50 \cdot 215}{2} = 0.348m$$

Amb totes les dades procedim al càlcul de la força de rodament:

$$F_r = \frac{0.0225}{0.348} \cdot 1750 \cdot 9.81 = \mathbf{1110 N}$$

5.1.4. RESISTÈNCIA PER PENDENT(R_p)

La resistència per pendent es produeix a les dificultats del vehicle quan passa per un pla inclinat. Aquesta força s'aplica al centre de gravetat del vehicle. La força per pendent ve donada per la següent equació:

$$F_p = m \cdot g \cdot \frac{x}{100}$$

Equació 7

Com tampoc és un cotxe que vulguem posar en condicions molt desfavorables ficarem que la pendent màxima a la que s'enfrontaria serà de $x = 30\%$ i per tant:

$$F_p = 1750 \cdot 9.81 \cdot 0.3 = \mathbf{5150.25N}$$

5.2. CÀLCUL DEL SISTEMA DE VELOCITATS INGEAR

Aquest és l'encarregat de realitzar la transformació de parell motor segons les necessitats del pilot. S'ha de remarcar que fins avui en dia la majoria d'automòbils elèctrics utilitzaven només una sola velocitat ja que l'eficiència del motor elèctric i el parell motor que ofereix permet que així pugui ser.

Tot i així en el nostre cas utilitzarem el ja anomenat sistema INGEAR, per tal de millorar l'eficiència i el consum del cotxe.

En l'apartat anterior s'han calculat les resistències que el nostre cotxe ha de superar. Per tant en aquest apartat es calcularà la mida dels engranatges necessaris i el nombre de dents que tindrà aquest engranatge. Utilitzarem les següent fórmules definides pel senyor F.M. Gracia:

$$w_{roda} = \frac{v_{max} \cdot 60}{\pi \cdot \phi_{roda}}$$

Equació 8

$$i_{dif} = \frac{w_{motor}}{i_2 \cdot w_{roda}}$$

Equació 9

Anem a substituir valors en la primera equació per tal de poder resoldre la segona i així extreure la relació de transmissió del diferencial. Aquesta és necessària ja que sense ella no es podria saber les característiques dels engranatges que formen el nostre sistema. Primer s'ha de calcular el diàmetre total i ho farem mitjançant la següent expressió per treure el radi:

$$r = \frac{19 \text{ polzades} \cdot \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ polzada}} + 2 \cdot 0.50 \cdot 215}{2} = 0.348m$$

$$w_{roda} = \frac{41.67 \cdot 60}{\pi \cdot 0.696} = 1143.45 \text{ rpm}$$

$$i_{dif} = \frac{5000}{0.95 \cdot 1143.45} = 4,54$$

GEAR RATIO CHART															
GEAR RATIO															
TIRE DIAMETER IN INCHES	3.31	3.42	3.55	3.73	3.90	4.10	4.27	4.56	4.88	5.13	5.29	5.38	5.71	6.17	7.17
27	2677	2766	2872	3017	3155	3316	3454	3689	3947	4150	4279	4352	4619	4991	5800
28	2582	2668	2769	2909	3042	3198	3331	3557	3806	4001	4126	4196	4454	4813	5593
29	2493	2576	2674	2809	2937	3088	3216	3434	3675	3863	3984	4052	4300	4647	5400
30	2410	2490	2584	2715	2839	2985	3109	3320	3553	3735	3851	3917	4157	4492	5220
31	2332	2409	2501	2628	2748	2889	3008	3213	3438	3614	3727	3790	4023	4347	5051
32	2259	2334	2423	2546	2662	2798	2914	3112	3331	3501	3610	3672	3897	4211	4894
33	2191	2263	2349	2469	2581	2713	2826	3018	3230	3395	3501	3561	3779	4083	4745
34	2126	2197	2280	2396	2505	2634	2743	2929	3135	3295	3398	3456	3668	3963	4606
35	2065	2134	2215	2328	2434	2558	2664	2845	3045	3201	3301	3357	3563	3850	4474
36	2008	2075	2154	2263	2366	2487	2590	2766	2961	3112	3209	3264	3464	3743	4350
37	1954	2019	2095	2202	2302	2420	2520	2692	2881	3028	3123	3176	3370	3642	4232
38	1902	1966	2040	2144	2241	2356	2454	2621	2805	2948	3040	3092	3282	3546	4121
39	1854	1915	1988	2089	2184	2296	2391	2554	2733	2873	2962	3013	3198	3455	4015
40	1807	1867	1938	2037	2129	2239	2331	2490	2664	2801	2888	2937	3118	3369	3915
41	1763	1822	1891	1987	2077	2184	2275	2429	2599	2733	2818	2866	3042	3287	3819
42	1721	1778	1846	1940	2028	2132	2220	2371	2538	2668	2751	2798	2969	3208	3728
43	1681	1737	1803	1894	1981	2082	2169	2316	2479	2606	2687	2733	2900	3134	3642
44	1643	1698	1762	1851	1936	2035	2119	2263	2422	2546	2626	2670	2834	3063	3559

Taula 3: Qualificació segons el tipus de diàmetre de la llanta i l'engranatge motor[Font 12]

La taula anterior mostra el gir del motor elèctric segons el diàmetre de la seva llanta i la relació de transmissió del diferencial. El color on ens interessa que es trobi el nostre diferencial és el blau ja que és on s'obté major rendiment. D'aquesta forma i tenint en compte que el nostre diàmetre és de 38 polzades i $i_{dif} = 4.56$ sabem que el nostre motor a 150km/h girarà a 2621rpm.

Com havíem explicat anteriorment, el nostre sistema de dues velocitats realitzarà el canvi de forma electrònica. Per tant ara calcularem quina és la velocitat màxima a la que girarà el nostre primer engranatge i per tant saber en quin moment es produirà el canvi d'engranatge.

$$w_{roda} = w_{motor} \frac{1}{i_{dif} \cdot i_{cm}}$$

$$v_{vehicle} = w_{roda} \cdot r_{roda}$$

Equació 10

Procedim a realitzar el càlcul pel primer engranatge i veure quina és la velocitat màxima que pot desenvolupar:

$$w_1 = 5000 \frac{1}{4.56 \cdot 3.25} = 337,40 \text{ rpm}$$

$$v_1 = \frac{365.50 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0.348}{\frac{1000}{3600}} = 41.10 \text{ km/h}$$

Aquest resultat ens indica a la màxima velocitat que pot arribar l'engrenatge 1 tenint en compte que li hem donat una relació de 1,8. Això implica que el sistema realitzarà el canvi a la segona velocitat com a màxim a 41.10 km/h. Tot i això nosaltres marcarem electrònicament el canvi en 40 km/h ja que les normes de circulació afavoreixen a marcar el canvi en aquesta velocitat.

Seguidament farem el càlcul per comprovar si el segon engranatge ens permet arribar a la velocitat que desitjàvem. Nosaltres hem establert una relació de transmissió de 1 i amb aquesta hauria de ser suficient per arribar als 150 km/h desitjats. Si és així donarem per bons els resultats obtinguts.

$$w_2 = 5000 \frac{1}{4.56 \cdot 0.95} = 1154.45 \text{ rpm}$$

$$v_2 = \frac{1154.45 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0.348}{\frac{1000}{3600}} = 151.43 \text{ km/h}$$

Com $v_2 > 150 \text{ km/h}$ podem donar el resultat com vàlid.

Tot i obtenir que les velocitats són les adequades hem de mirar si aquestes dues velocitats són suficients per superar les forces que s'oposen a l'avanç del vehicle.

Pel que fa la primera velocitat només ha de ser capaç de superar les resistències que s'oposen a l'avanç del vehicles. Per això és necessari calcular el parell màxim que transmeten les rodes motrius el qual ha de ser superior al parell resistent que es produeix en la roda motriu. La resistència aerodinàmica només es té en compte per velocitats superiors a 80 km/h. Per tant la resistència total que haurà de superar la primera velocitat és:

$$R_1 = R_r + R_p + R_i$$

Equació 11

$$R_1 = R_r + R_p + R_i = 1227.60 + 6475.7 + 9040.9 = 11842.75$$

$$M_{R1} = R_1 \cdot r_{roda}$$

Equació 12

$$M_{R1} = 11842.75 \cdot 0.348 = 4121.27 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ara hem de calcular quina és la potència que es transmet del motor a les rodes, les quals es redueix per un coeficient de 0.95 degut a les pèrdues que es produeixen al llarg del sistema de transmissió:

$$P_r = P_m \cdot \mu_t$$

Equació 13

$$M_{roda} \cdot w_{roda} = M_{roda} \cdot w_{roda} \cdot \mu_t$$

Equació 14

$$W_{roda} = W_{motor} \cdot i_1 \cdot i_{dif}$$

Equació 15

$$M_{roda} = \frac{M_{motor} \cdot \mu_t}{\frac{1}{i_1 \cdot i_{dif}}}$$

$$M_{roda} = \frac{280 \cdot 0.95}{\frac{1}{3.25 \cdot 4.56}} = 3942.12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Com que $M_{roda} < M_{R1}$ no podem donar per vàlid el resultat ja que el nostre motor no podrà superar el parell exigít.

La solució que adoptem per solucionar el problema és pujant la relació d'engranatges a 3.5 en comptes de 3.25. S'arreglaran els càlculs necessaris realitzats anteriorment amb aquest nou valor.

De la nova forma el resultat que s'obté prové de:

$$M_{roda} = \frac{280 \cdot 0.95}{\frac{1}{3.5 \cdot 4.56}} = 4245.36 \text{ N} \cdot \text{m}$$

En aquest cas el parell motor obtingut és superior al necessari per tant si que podem donar el resultat per bo. Seguidament realitzarem el mateix càlcul pel segon engranatge. Si és així, donarem per bo el nostre sistema INGEAR i el valor de relació de transmissió pel diferencial.

Pel segon cas si s'ha de tenir en compte la resistència aerodinàmica ja que si que en aquest cas si es sobrepassa la velocitat de 80 km/h . D'altra banda es pot despreciar les forces per grans pendents ja que aquesta no es dur a terme en grans velocitats. També es menysprea la resistència de inèrcia ja que en aquestes velocitats les acceleracions que experimenta el vehicle es poden considerar menyspreables. D'aquesta manera la resistència total a superar és:

$$R_1 = R_a + R_r = 757.8 + 1110 = 1867.8 \text{ N}$$

$$M_{R1} = R_1 \cdot r_{roda} = 650 \text{ N} \cdot m$$

Finalment anem a veure quin serà el parell que ens proporciona la roda i si es superior al obtingut en la darrera operació:

$$M_{roda} = \frac{M_{motor} \cdot \mu_t}{i_2 \cdot i_{dif}} = \frac{280 \cdot 0.95}{0.95 \cdot 4.56} = 1152 \text{ N} \cdot m$$

El parell de la roda obtingut també és superior i per tant la relació de transmissió entre engranatges i diferencial queda definida.

Un cop obtinguda la relació de transmissió de tots els engranatges és necessari dimensionar-los. Com és un sistema que estem creant, l'engranatge que transportarà la força del motor als sistema de velocitats ha de tenir unes característiques principals. Aquestes són:

$$Mòdul(m) = 3$$

$$Número \ de \ dents(z_c) = 30$$

$$Profunditat(h) = 30 \text{ mm}$$

Com els engranatges són solidaris entre ells mitjançant una Corretja dentada és necessari que tots tinguin el mateix mòdul. És per això que només serà necessari calcular el nombre de dents que tindran

aquests tenint en compte el mateix mòdul i la relació de transmissió que s'ha establert en la fase inicial. Per tant per calcular el número de dents utilitzarem la següent igualtat:

$$i_t = \frac{z_i}{z_c}$$

Equació 16

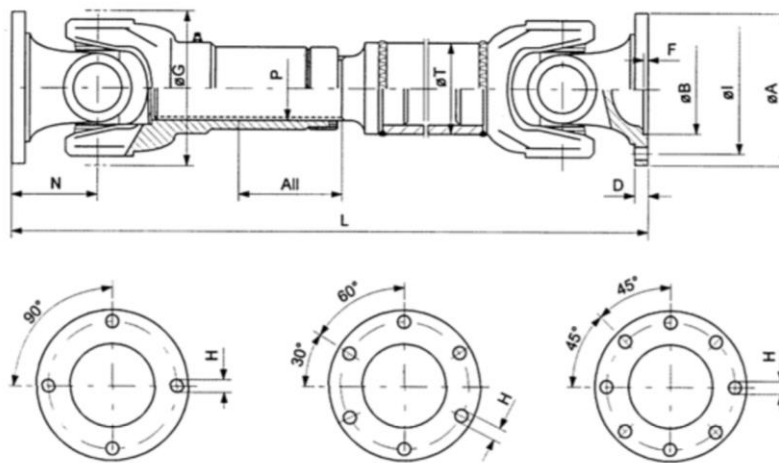
D'aquesta manera el número de dents de cada engranatges serà

$$z_1 = i_t \cdot z_c = 3.5 \cdot 30 = \mathbf{105 \text{ dents}}$$

$$z_2 = i_t \cdot z_c = 0.95 \cdot 30 = 28.5 \approx \mathbf{29 \text{ dents}}$$

5.3. JUNTES CARDAN

Com en tot sistema, les diferents peces que la formen han d'anar unides. Les peces més freqüents en automoció per unir el moviment de rotació del sistema INGEAR fins al diferencial són les conegudes 'Juntes Cardan'. Són tant utilitzades que hi han empreses que fabriquen l'eix de transmissió ja amb les juntes incorporades. En el nostre cas ens hem decantat per l'empresa *TECNOPOWER*.



Il·lustració 15: Plànol del sistema junta Cardan amb eix de transmissió[Font 18]

Un dels motius pels que hem elegit aquesta empresa és perquè a part de donar-te tot el sistema amb les juntes incloses també et proporciona la longitud que es desitja, és a dir 2225 mm. A més a més l'empresa proporciona peces per vehicles molt potents per tant superarà sense cap problema les forces i moments proporcionades pel nostre vehicle. La nostre elecció és la sèrie 08.108 ja que és el màxim moment que es produïa en els càlculs.

SERIE	07.058.		07.075.		07.090.		08.100.		08.108.		08.119.	
Mt ¹ · Nm	180	240	550	550	750	750	1.300	1.300	1.500	1.500	2.500	2.500
B ¹²	30	30	25	18	30	30	20	20	35	35	20	20
A	58	65	75	90	90	100	100	120	100	120	120	150
B ¹⁷	30	35	42	47	47	57	57	75	57	75	75	90
D	4	4,5	5	6	6	6,5	7	8	7	8	8	10
F ^{10.2}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3
G	60	60	80	80	90	90	97	97	98	98	116	116
H ¹¹²	5	6	6	8	8	8	8	8	8	10	10/8	12
I ^{10.1}	47	52	62	74,5	74,5	84	84	101,5	84	101,5	101,5	130
Nº Agujer.	4	4	6	4	4	6	6	8	6	8	8	8
N	37	37	42	30	47	47	46	46	58	58	60/70	60
P	25x22 DIN 5480		30x27x16		30x27x16		35x30x16		38x34x20		45x41 DIN 5482	
T	32x1,5-4x2		50x2-60x2		50x2-76x1,5		50x3		60x3		70x3-80x3-90x3	

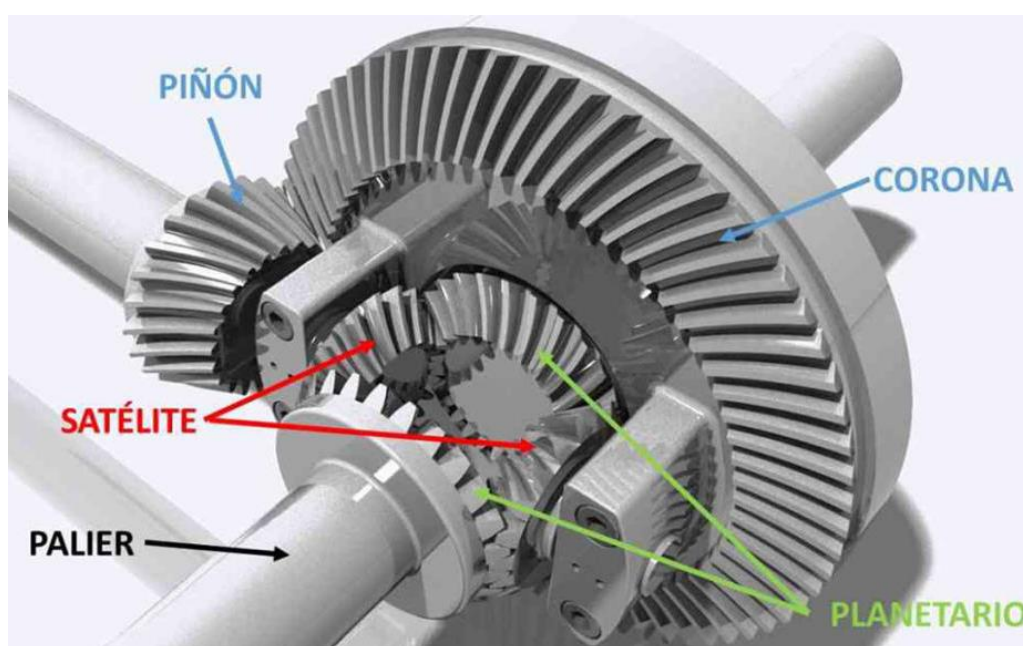
Il·lustració 16: Mesures de la forquilla de la junta segons el seu moment màxim[Font 18]

5.4. CÀLCUL DIFERENCIAL

El nostre diferencial estarà format per dos engranatges satèl·lits i dos engranatges planetaris, els quals són cònics i formen un angle de 90°. Hem escollit que aquest diferencial presentarà les següents característiques:

$$Mòdul(m) = 4$$

$$i_{dif} = 4.56$$



Il·lustració 17: Parts que formen el nostre diferencial[Font 17]

Com sabem que $i_{dif} = 4.56$ i que és la relació entre el pinyó i la corona és necessari definir la quantitat de dents que tindrà el nostre engranatge pinyó per saber els de la corona.

Definirem l'engranatge pinyó amb una quantitat total de $z_p = 12$ dents. D'aquesta manera sabem mitjançant la relació de transmissió del diferencial quantes dents tindrà la corona:

$$i_{dif} = \frac{z_c}{z_p}$$

$$z_c = z_p \cdot i_{dif} = 12 \cdot 4.56 = 54.72 \approx \mathbf{55 \text{ dents}}$$

6. PROCÉS DE DISSENY AMB CAD

6.1. ARBRE DE TRANSMISSIÓ

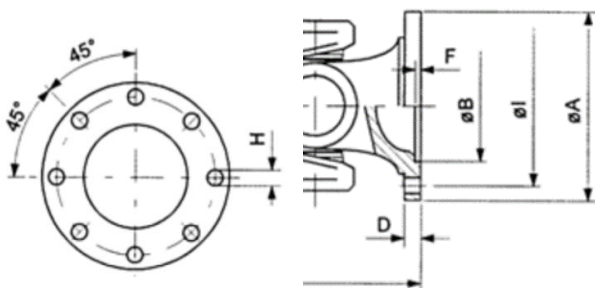
Un cop explicat quines seran les nostres parts que formen el sistema de transmissió i haver realitzat els càlculs necessaris començarem amb el disseny amb el programa SOLIDWORKS.

La primera part a realitzar és l'arbre de transmissió amb les corresponents juntes Cardan.

Aquesta part no la podrem realitzar exactament ja que és la part que uneix el diferencial amb el nostre sistema de velocitats.

Per tant la llargada d'aquest vindrà determinada per la distància d'eixos menys el que ocupi el nostre diferencial i el sistema de velocitats.

La primera part a realitzar serà la forquilla que uneix les diferents parts. Tenim les dades que la formen proporcionats per l'empresa i aquests són els següents:



Il·lustració 18: Mesures de la forquilla de la junta Cardan[Font 18]

$H = 12\text{mm}$, diàmetre del cargol

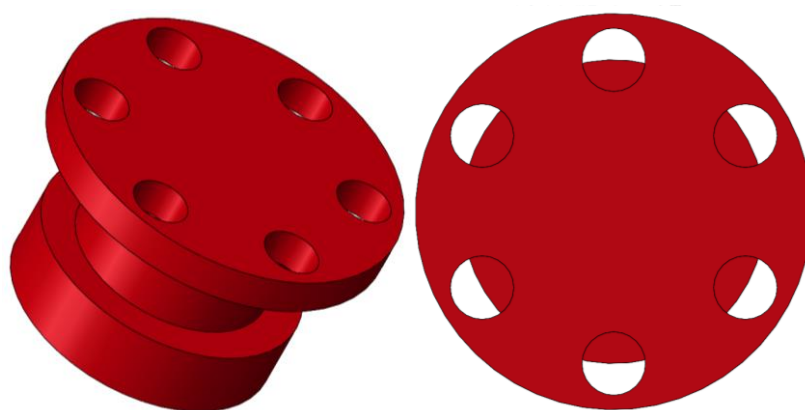
$I = 120\text{ mm}$, separació entre forats

$A = 150\text{mm}$, diàmetre exterior

$D = 16\text{mm}$, amplada

$B = 75\text{mm}$, diàmetre del forat de l'eix

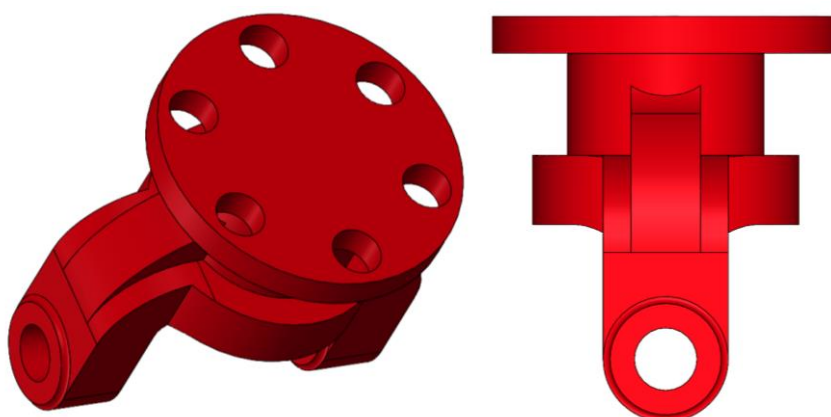
Un cop sabem aquestes dades ho trasludem al solid obtenint aquest primera part amb els forats de les unions. La primera part és la cilíndrica, i en farem de tres tipus diferents segons vagin engranades en el sistema de velocitats, a l'eix de transmissió o a l'eix pinyó del diferencial. Les forquilles seran exactament igual però canviant el número de cargos que necessiten per acoblar-se a les seves respectives parts:



Il·lustració 19: Forquilla de unió amb el sistema de velocitats [Font pròpia]

Les forquilles que uneix a l'arbre amb l'altre forquilla no té els forats necessaris per unir-la amb un altre ja que van directe a l'eix.

Posteriorment es realitza la les dues llengüetes de la forquilla, les quals se'ls hi fa un forat on anirà el passador encarregat de subjectar la creu que permet unir les forquilles entre si.



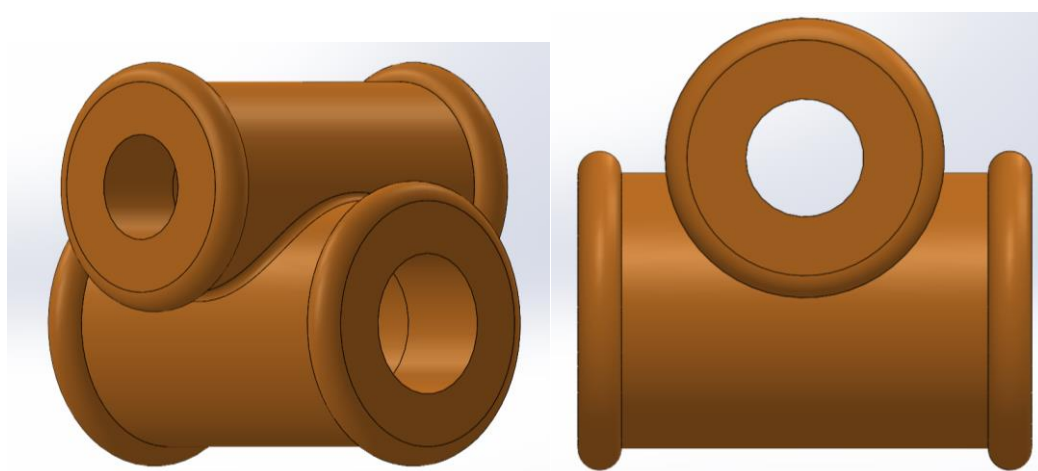
Il·lustració 20: Forquilla de la junta completa [Font pròpia]

]

La següent part de l'arbre de transmissió a realitzar és el passador amb juntament amb creu cilíndrica que permet el moivment fins a 25º de l'arbre.

La solució adoptada per la creu que es troba en l'interior ha estat un pèl diferent a l'habitual. En comptes de realitzar dos tubs que s'intercalen entre ells hem preferit ajuntar-los. Per tant el primer pas és realitzar un d'aquests dos tubs.

El següent pas consisteix en realitzar un tub exactament al anterior però que ja vingui enganxat, de forma que el resultat sigui una creu formada per dos tubs cilíndrics sense que el seu interior on va el passador xoqui entre ells. El resultat és el següent:



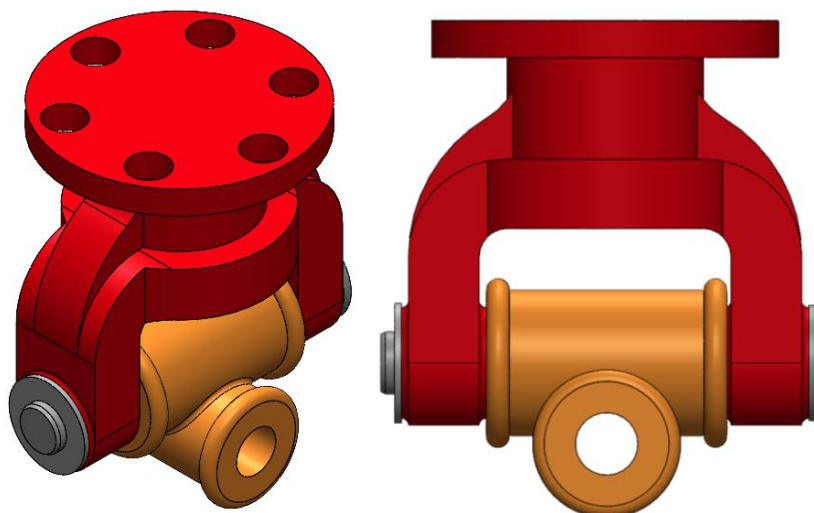
Il·lustració 21: Creu d'unió entre forquilles [Font pròpia]

Finalment amb aquestes peces ja podem formar el sistema que uneixen els diferents eixos. S'uneixen la creu i deues forquilla mitjançant els passadors i les següents arandeles.



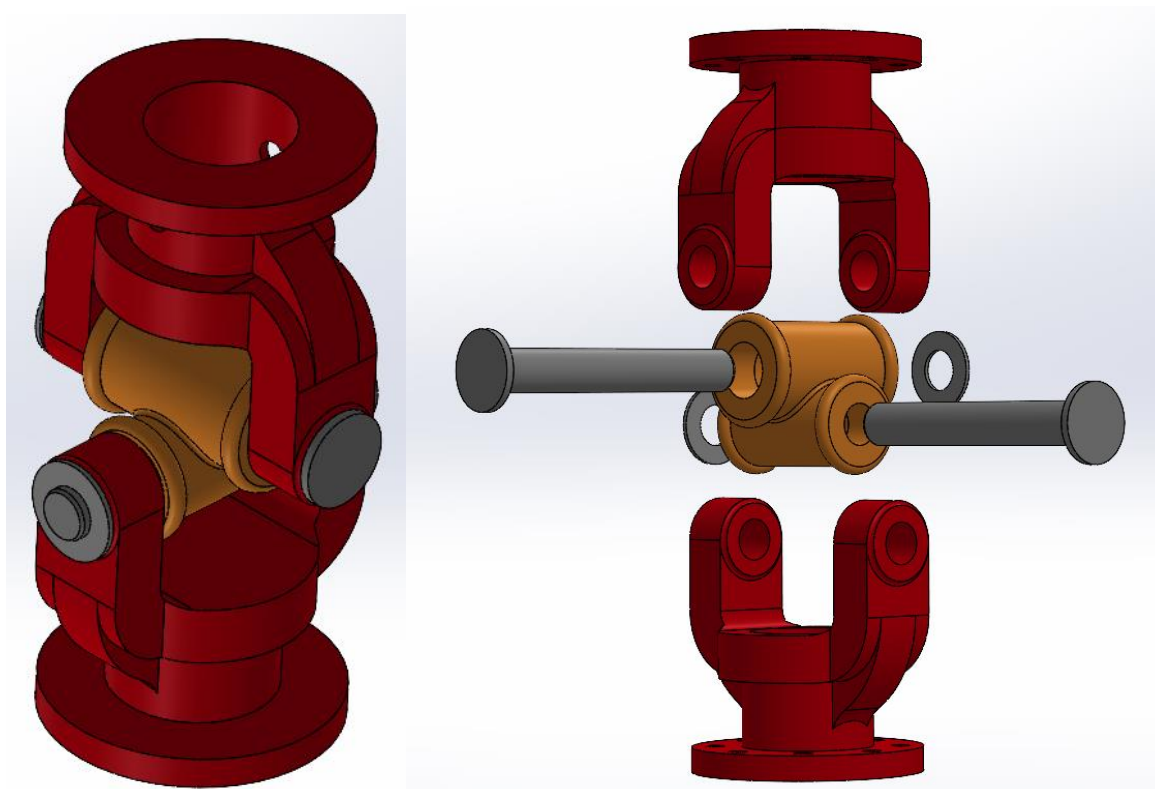
Il·lustració 22: Passador i bandolera [Font pròpia]

Un cop unides el forat central de la forquilla és el que connecta l'eix de la següent forma:



Il·lustració 23: Unió entre forquilla i creu[Font pròpia]

Per tant l'última part segons la necessitat és unir les dues forquilles mitjançant la creu. Com mencionàvem anteriorment el nombre de forats que hi han en la forquilla depenent a on vagin solidàries. Tot i això, la manera de unir-ho i formes seran iguals.



Il·lustració 24: Unió formada entre les dues forquilles[Font pròpia]

Com hem dit en el principi del disseny no podem saber quan medeix l'eix de transmissió, ja que fins que no sapiguem l'amplitud del sistema de velocitat i del diferencial no podrem saber quina és la seva llargada.

Un dels motius perquè es comença per aquí és per tal de saber quin és el diàmetre de l'eix que porta el moviment al diferencial, que serà el mateix que el de sortida dels paliers.

6.2. DIFERENCIAL

Per dissenyar el diferencial començarem, com bé hem dit abans, realitzant l'eix que transmet el moviment rotatiu al diferencial. Aquest eix rep el nom de pinyó i ho transmet mitjançant un engranatge a la corona.

Utilitzar el programa SOLIDWORKS ens proporciona cert avantatge en aquesta part del disseny ja que consta d'un apartat que ens permet realitzar un engranatge pinyó-corona, tot posant les característiques indicades. D'aquesta forma passem a realitzar el pinyó que consta de les següents característiques:

$$\text{Mòdul} = 4$$

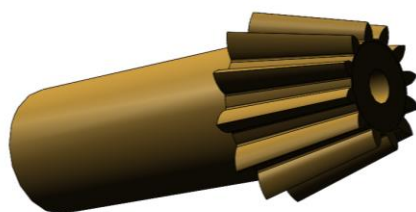
$$\text{Número de dents } (z_p) = 12$$

$$\text{Número de dents corona } (z_c) = 55$$

$$\text{Diàmetre eix nominal } (d_p) = 10\text{mm}$$

$$\text{Amplada de la cara} = 40\text{mm}$$

Si introduïm les dades en el programa el resultat és:



Il·lustració 25: Eix pinyó [Font pròpia]

El següent pas que és molt semblant a l'anterior, es tracta de realitzar la corona per tal de que engrani al pinyó. En aquesta corona s'hi hauran de posar de forma equidistant al centre dues llengüetes ja que és on aniran els satèl·lits perquè, de forma posterior, engranant amb els planetaris, transportin el

moviment a les rodes mitjançant els paliers. Igual que en el pinyó, les dades necessàries a introduir en el programa per fer la corona són:

$$\text{Mòdul} = 4$$

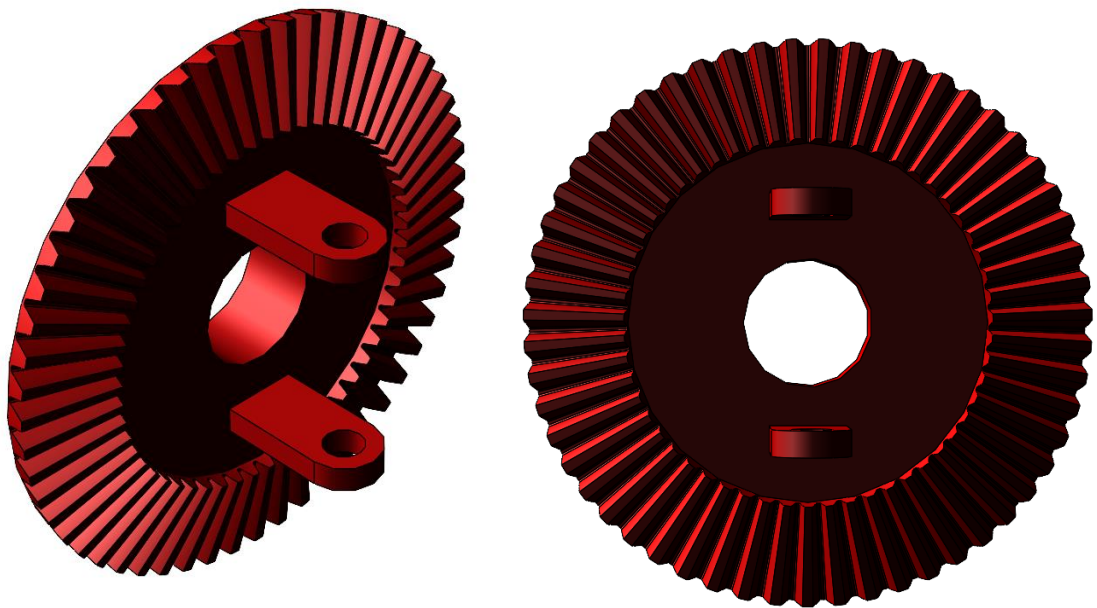
$$\text{Número de dents } (z_c) = 55$$

$$\text{Número de dents pinyó } (z_p) = 12$$

$$\text{Diàmetre eix nominal } (d_c) = d_p \cdot i_{dif} = 10 \cdot 4.56 = 45.6\text{mm} \approx 46\text{mm}$$

$$\text{Amplada de la cara} = 40\text{mm}$$

Com existeix la relació de transmissió del diferencial, totes les dades han de ser obligatòriament les anteriors perquè es compleixi la aquesta relació. El resultat de la corona amb les llengüetes on aniran solidaris els engranatges és:



Il·lustració 26: Engranatge corona del diferencial [Font pròpia]

Amb la corona establerta passem a fer els engranatges satèl·lits. Pel que fa als planetaris no seràn iguals a aquests engranatges però si que han de tenir unes característiques en comú perquè engranin entre

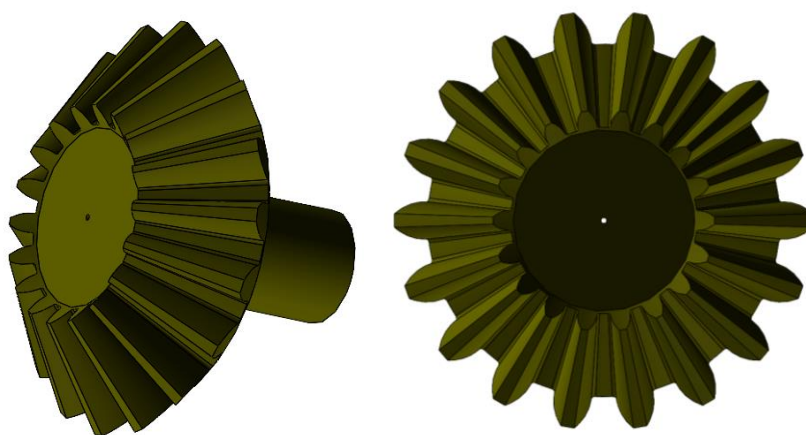
ells. Aquestes són el mòdul, el número de dents i l'amplada de cara. Per tant per aconseguir els engranatges satèl·lits ens fa falta:

$$\text{Mòdul} = 3.5$$

$$\text{Número de dents } (z_s) = 18$$

$$\text{Amplada de la cara} = 18\text{mm}$$

Amb aquestes dades aconseguim els nostres engranatges satèl·lits:



Il·lustració 27: Engranatge satèl·lit del diferencial [Font pròpia]

Ara toca fer l'engranatge planetari. Com hem comentat anteriorment, algunes de les especificacions han de ser les mateixes que les del engranatge satèl·lit i són les següents:

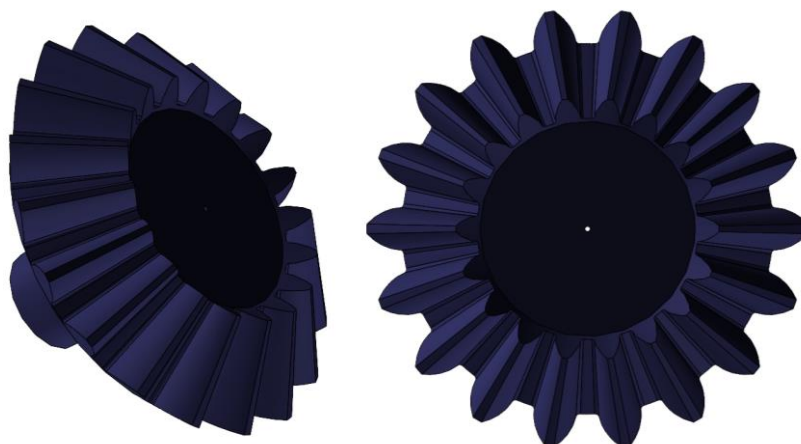
$$\text{Mòdul} = 3.5$$

$$\text{Número de dents } (z_s) = \text{Número de dents } (z_p) = 18$$

$$\text{Amplada de la cara} = 18\text{mm}$$

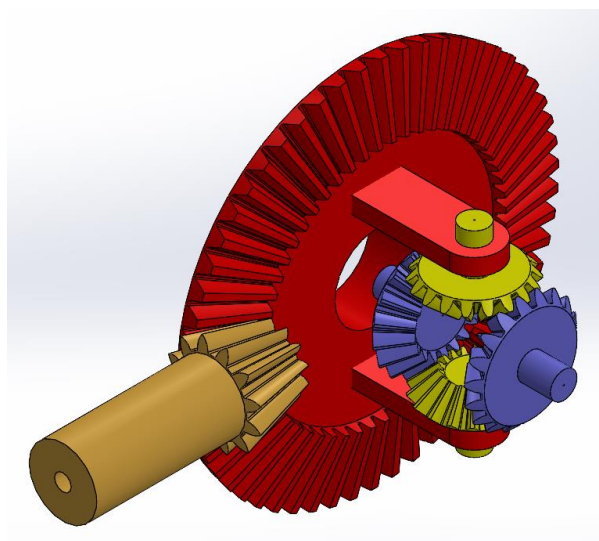
Tot i que aquesta peça sigui exactament igual a l'engranatge satèl·lit a nivell visual l'engranatge planetari consta de un radi interior superior. A més a més, perquè encaixi a la perfecció amb els altres engranatges, també fa falta aquesta dada:

$$d_i = 60\text{mm}$$

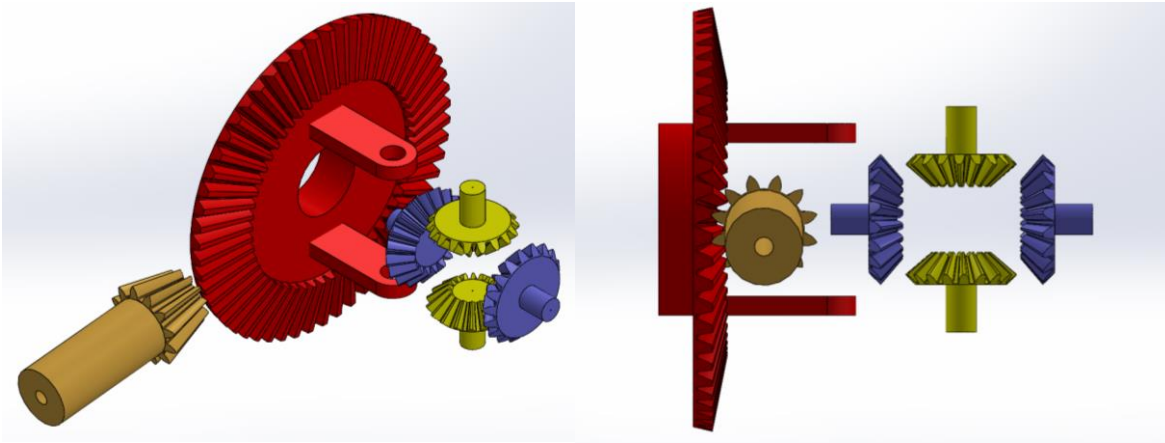


Il·lustració 28: Engranatge planetari del diferencial[Font pròpia]

Amb aquestes dues últimes peces tenim el diferencial complet. Per unir-ho es comença ajuntant l'engranatge pinyó amb la corona. El següent pas es basa en col·locar els dos engranatges satèl·lits dintre de les llengüetes de la corona. Finalment és necessari col·locar els dos planetaris i així poder transmetre el moviment als paliers a través d'aquests. El resultat amb totes les peces unides és:



Il·lustració 29: Diferencial[Font pròpia]



Il·lustració 30: Vista explosionada del diferencial [Font pròpia]

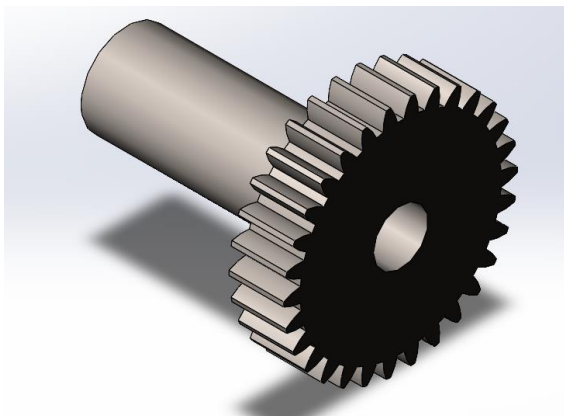
6.3. SISTEMA DE VELOCITATS INGEAR

Com ja vam calcular la mida dels engranatges del sistema INGEAR, el primer pas que farem és fer l'engranatge que rebrà el moviment del motor i que anirà solidari a ell. Aquest engranatge tindrà les següents característiques:

$$Mòdul(m) = 4$$

$$Número de dents(z_c) = 30$$

$$Profunditat(h) = 30 \text{ mm}$$



Il·lustració 31: Engranatge pertinent al motor[Font pròpia]

Com es veu en el resultat l'engranatge porta solidari a ell un tub cilíndric que és el que l'unirà a al motor.

El següent pas és realitzar els dos engranatges que formen el sistema de velocitats. És important recordar que tots els engranatges del sistema han de constar del mateix mòdul ja que sinó la corretja de transmissió no engranarà correctament quan es produeixi el canvi d'engranatges.

La segona velocitat que és la que s'assembla més de mida al engranatge del motor presenta les següents característiques :

$$Mòdul(m) = 4$$

$$\text{Número de dents}(z_2) = 29$$

$$\text{Profunditat}(h) = 30 \text{ mm}$$



Il·lustració 32: Engranatge de velocitat ràpida[Font pròpia]

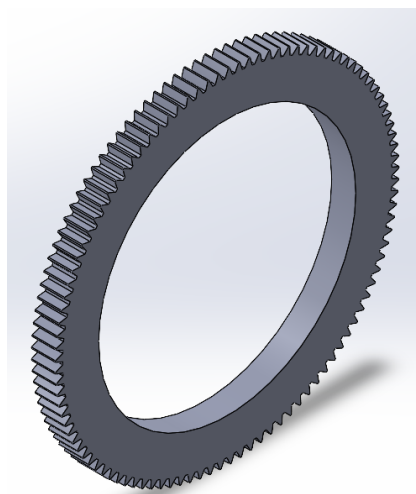
A l'hora de realitzar el disseny és important dimensionar l'eix interior de l'eix ja que la carcassa on anirà posat haurà de tenir el mateix valor.

Seguidament realitzem l'engranatge corresponent a la primera velocitat. Aquest presenta la mateixa forma que el primer però canviant la seva mida i nombre de dents. Les característiques són:

$$\text{Mòdul}(m) = 4$$

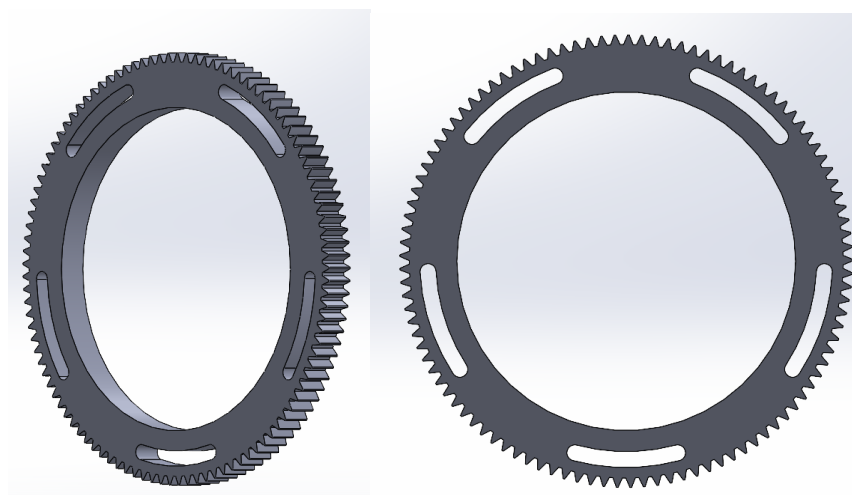
$$\text{Número de dents}(z_1) = 105$$

$$\text{Profunditat}(h) = 30 \text{ m}$$



Il·lustració 33: Engranatge de la primera velocitat[Font pròpia]

Aquest engranatge és la peça clau en el nostre sistema INGEAR. Això és perquè la peça que tenim actualment és l'engranatge mòbil dintre del nostre sistema. Per tant perquè pugui acoblar i desacoblar perfectament amb la cadena de transmissió que uneix els nostres engranatges amb l'engranatge del motor, serà necessari realitzar-li certs forats per tal de una peça mòbil que anirà al seu interior faci moure'l en dues direccions verticals:



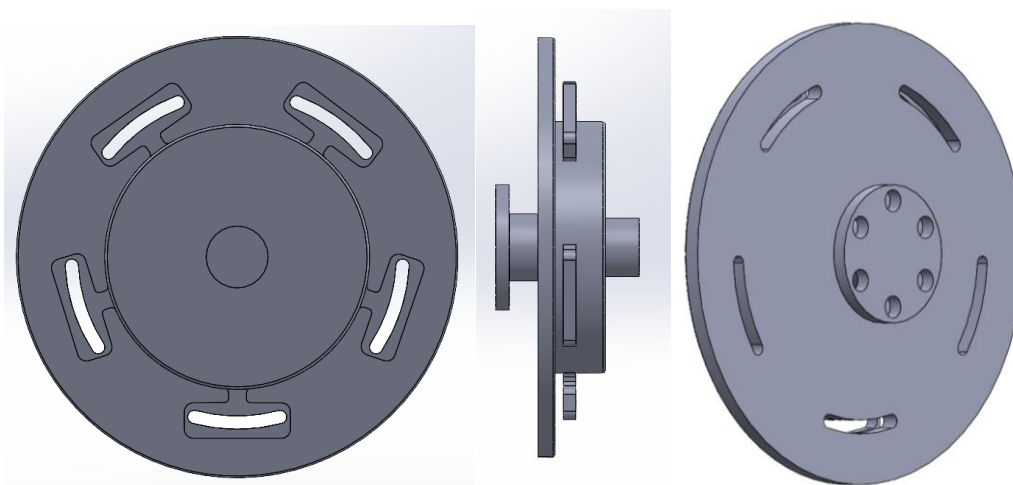
Il·lustració 34: Engranatge de la primera velocitat modificada [Font pròpia]

Un cop tenim l'engranatge foradat, és necessari dividir-lo en tantes peces com forats hi hagin. Aquestes parts seran idèntiques de mida i de forma. Se les divideix de una forma que en el principi els hi surt una petita llengüeta per tal de tibar la corretja de transmissió i així poder canviar d'engranatge. A més a més les diferents peces en les que dividirem l'engranatge constaran d'un forat que els hi permetrà moure's de forma vertical dintre del sistema, poden variar la seva posició depenent de si és necessari anar engranat o no. També tindrà un petit forat circular on hi anirà solidari un petit pistó que farà que es mogui de dalt cap a baix. El resultat és el següent:



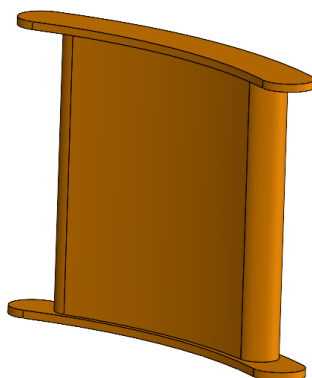
Il·lustració 35: Part en la qual queda dividida l'engranatge ràpid [Font pròpia]

Una vegada tenim els dos engranatges que formen el nostre sistema de velocitats és necessari realitzar una carcassa a on aniran solidaris. Aquesta carcassa serà cilíndrica i disposarà de dos pisos on aniran cadascun dels engranatges. La capa sobre on anirà l'engranatge de la segona velocitat és totalment pla, a diferència del de la primera. En el cas de la primera, es trobarà sobre una llengüeta per cada part dividida que permetrà el moviment vertical de l'engranatge. A més a més haurà de constar d'uns forats com els que té el nostre engranatge de velocitat curta per tal de poder anar-hi enganxat. L'engranatge de velocitat ràpida anirà a solidari a un eix que es trobarà en la nostra carcassa. També és necessari que surti una part cilíndrica on anirà comunicada amb la junta Cardan. La forma resultant és la següent:



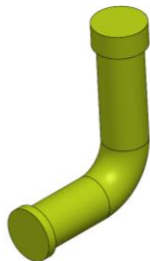
Il·lustració 36: Carcassa del sistema de velocitats[Font pròpia]

Per tal de que les cinc peces que formen el nostre engranatge puguin quedar solidàries i immòbils en la carcassa, és necessari una peça que faci d'unió entre la carcassa i l'engranatge. Aquesta peça podrà lliscar verticalment en la llengüeta on es troba l'engranatge, i anirà solidària a la part superior de l'engranatge per tal de limitar el moviment que li correspongui a la seva posició.



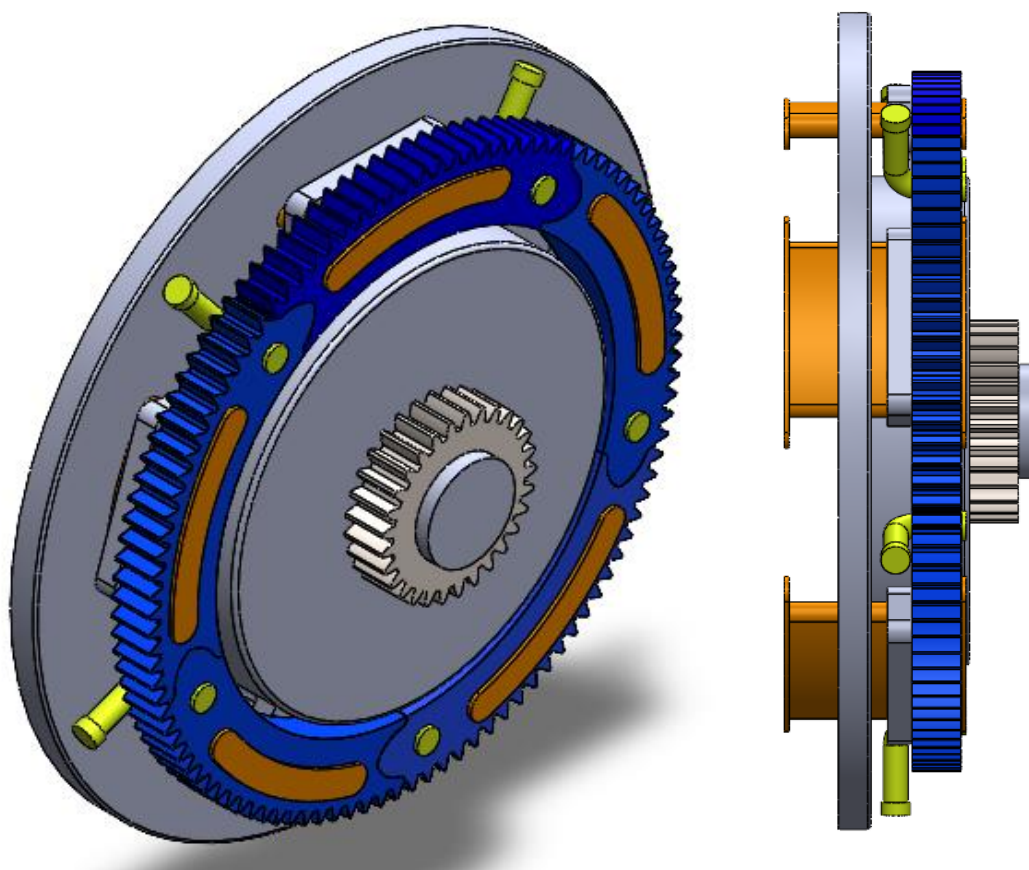
Il·lustració 37: Passador de l'engranatge lent[Font pròpia]

Posteriorment s'ha de realitzar un pistó que li permeti realitzar el moment vertical desitjat. Aquesta peça constarà d'un cap cilíndric, que és el que farà que l'engranatge pugui o baixi quan entri en contacte amb l'agulla mòbil:



Il·lustració 38: Pistó [Font pròpia]

Amb aquesta última peça, ja tenim el sistema que compon la part de la carcassa. El resultat final és el següent:



Il·lustració 39: Disposició final dels engranatges [Font pròpia]

6.4. PALIERS I JUNTES HOMOCINÈTIQUES

L'últim pas per aconseguir el nostre sistema complet és realitzar els paliers, la part que transporta el moviment giratori del diferencial fins la roda. Començarem realitzant les juntes homocinètiques, ja que un cop tinguem la seva distància total ens servirà per determinar la distància de l'eix que va solidari a l'engranatge planetari del diferencial.

El primer pas a realitzar és l'esfera metàl·lica que es troba en l'interior de l'anella i el rodador. Com aquesta se n'utilitzen 6 i són les que permeten realitzar el moviment giratori al llarg de la junta homocinètica.

Un cop tenim l'esfera realitzem el rodador on es trobaran les esferes i on va connectat l'eix del palier. Aquest rodador tindrà 6 forats en l'extrem amb un radi un pèl superior al de l'esfera, ja que si fos igual al de l'esfera el moviment necessari no es produiria. El resultat és el següent:



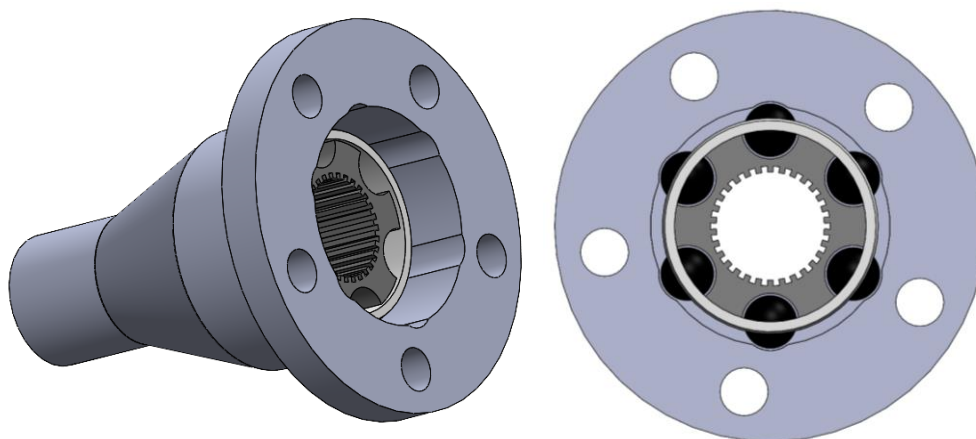
Il·lustració 40: Unió del rodador amb les sis esferes[Font Pròpia]

Seguidament per limitar el moviment de les esferes és necessari envoltar-les amb una anella perquè només es moguin sobre el seu eix central i en un moviment vertical:



Il·lustració 41: Unió d'anella amb rodador[Font pròpia]

L'últim pas a realitzar és el que uneix tot el conjunt anterior. Com dèiem en l'explicació és molt important que la junta estigui en constant lubricació per tal de que no es produeixi desgast en ella i per tant es trobarà oli lubricant en l'interior de la carcassa. Aquesta part portarà igual que el rodador uns forats en forma circular que és on es trobarà la part restant de l'esfera i és la que connecta el palier amb la llanta tal i com es pot veure en la *Il·lustració 42*:



Il·lustració 42: Junta homocinètica completa [Font pròpia]

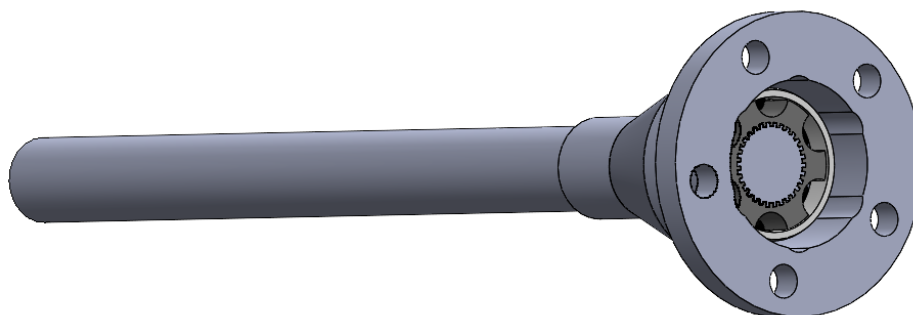
Un cop amb la junta homocinètica realitzada, fa falta calcular la longitud de l'eix que va unit a l'engranatge planetari. L'altra part d'aquest eix té l'altre punta solidària al rodador de la junta homocinètica. Per calcular-ho necessitarem saber la llargada del conjunt diferencial i la llarga total de la junta per així restar-la de la distància que hi ha entre els eixos i poder extreure la distància de cada palier. Per tant, la distància per calcular la longitud del palier serà:

$$L_e = \frac{2000 - 2L_{JH} - L_d}{2}$$

Equació 17

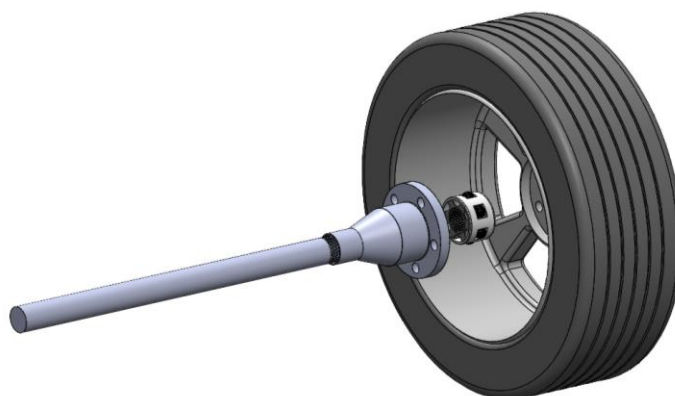
$$L_e = \frac{2000 - 2 \cdot 200 - 142}{2} = 729\text{mm}$$

Finalment s'uneix l'eix palier i la junta homocinètica per posteriorment unir el conjunt a la llanta tot aconseguint completar la part que transmet el moviment del diferencial fins les rodes motrius.



Il·lustració 43: Unió del palier amb la junta homocinètica

Com s'ha dit la part circular de la *Il·lustració 43* és la que anirà connectada a la llanta. El resultat de com quedaria tot el conjunt el podem veure en la *Il·lustració 44*:



Il·lustració 44: Vista explosionada de la connexió del palier amb el pneumàtic[Font pròpia]

6.5. UNIÓ DE LES PARTS

A l'hora de unir les diferents parts que formen el sistema s'han escollit **Pern Hexagonal de qualitat C ISO 4016** amb diferent mida segons la ubicació que tindran. El resum de com seran els cargols de les unions són:

- *Forquilla amb Eix*: Longitud de 100 mm amb **M16**.
- *Forquilla amb sistema de velocitats*: 65mm amb **M16**.
- *Junta homocinètica amb llanta*: 80mm amb **M20**.

Pel que fa a les femelles s'ha utilitzat una **Femella Hexagonal de Tipus 2 ISO 4033** amb les corresponents mètriques per cada cargol.

6.6. CONJUNT TOTAL

Com havíem dit anteriorment, només ens fa falta ajuntar totes les peces que componen el nostre sistema. Primer de tot s'ha de calcular quina és la distància que han de tenir els eixos de l'arbre de transmissió depenent de l'amplada total del sistema de velocitats i del diferencial. Això vol dir que a la distància que existeix entre els eixos, se li ha de restar la longitud del sistema de velocitats, la del diferencial i la de dues juntes Cardan que permeten la unió amb l'arbre. El resultat ve donat per la següent equació:

$$L_e = 2200 - (L_{SI} \cdot L_d \cdot 2L_{JC})$$

Equació 18

$$L_e = 2200 - (170 + 311 + 2 \cdot 331) = 1057mm$$

D'aquesta forma l'eix tindrà una longitud 1057mm més la part que l'uneix a la junta.

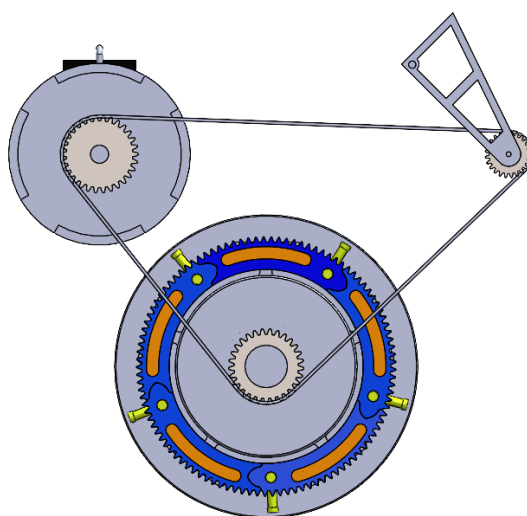
El primer pas a realitzar és formar el sistema de transmissió Cardan. Aquest es compon per l'eix de transmissió i dues forquilles unides en cada extrem. Les dues forquilles a l'extrem són diferents, ja que una anirà unida a la carcassa del sistema de velocitats i l'altre a l'eix pinyó del diferencial. La forma final es pot veure en la *Il·lustració 45*:



Il·lustració 45: Transmissió Cardan[Font pròpia]

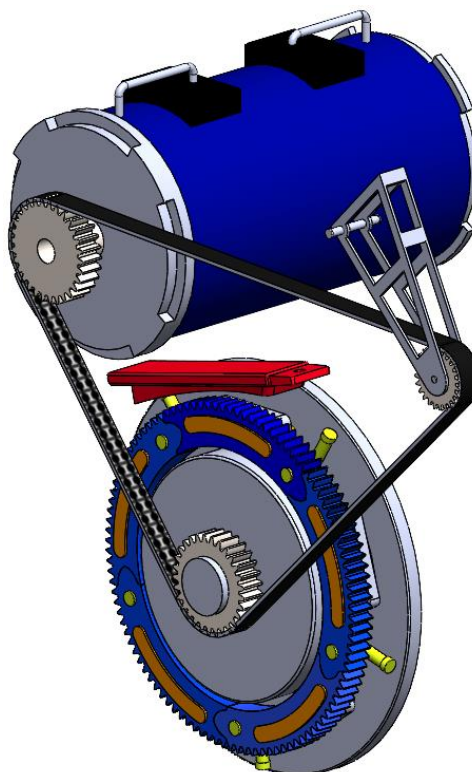
Amb el sistema de Transmissió Cardan aconseguim el següent pas a realitzar per formar el sistema de transmissió és començar per la part fixa i on es genera el moviment, és a dir el motor.

Seguidament Allà hi muntarem el nostre sistema de velocitats juntament amb un rotor que, mitjançant la de corretja de transmissió i un engranatge que porta solidari, permetrà el canvi d'engrenatge gran al petit i viceversa. El rotor va solidari a placa protectora que envoltaria el sistema de velocitats. La disposició principal es pot veure en la *Il·lustració 42*, on apareix un motor elèctric i la incorporació del rotor:



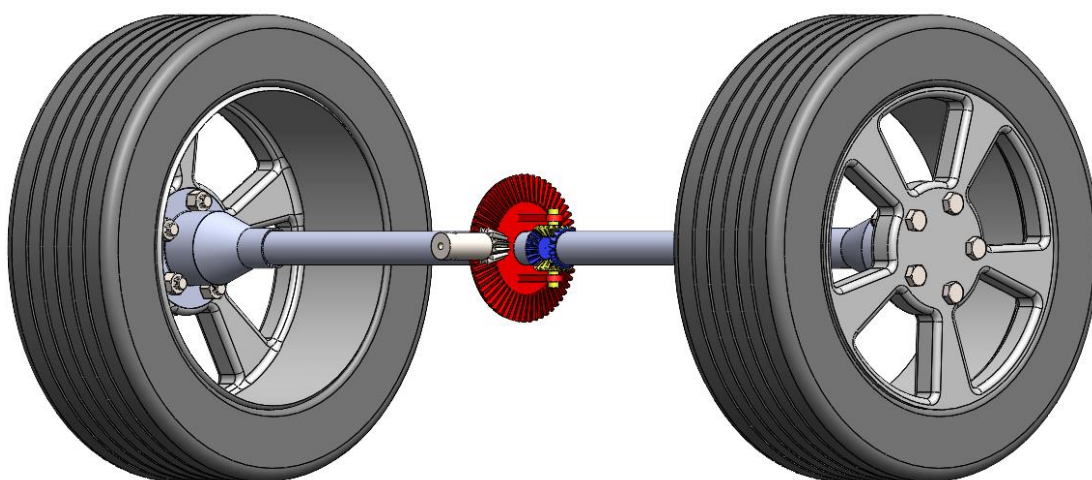
Il·lustració 46: Vista frontal del sistema Ingear[Font pròpia]

En el sistema anterior li falta la peça encarregada de moure els engranatges de forma vertical. La solució adoptada és posar una agulla que amb un moviment rotacional, permet que el pistó es mogui solidari al engranatge entrant en contacte amb la corretja de transmissió:



Il·lustració 47: Sistema Ingear amb agulla[Font pròpia]

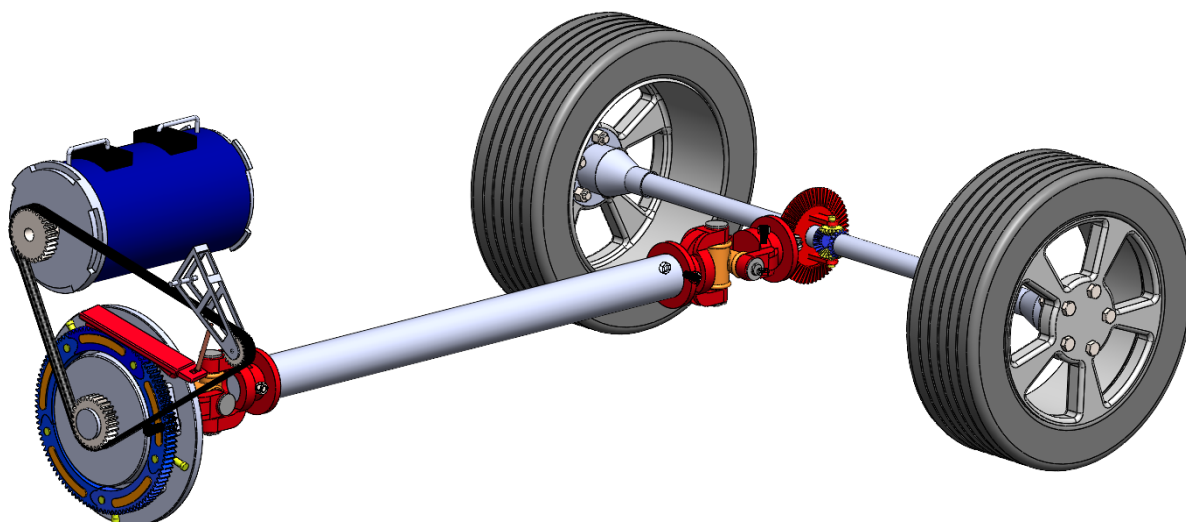
El següent pas és ajuntar el diferencial amb els dos paliers de les rodes. Com mostràvem anteriorment, el palier ja porta incorporada la junta homocinètica, de forma que aquesta no es veurà present en la il·lustració 48:



Il·lustració 48: Unió del diferencial amb els paliers[Font pròpia]

Finalment unirem les tres parts anteriors. La forma d'unir la carcassa amb l'arbre de transmissió és mitjançant la junta Cardan i sis cargols

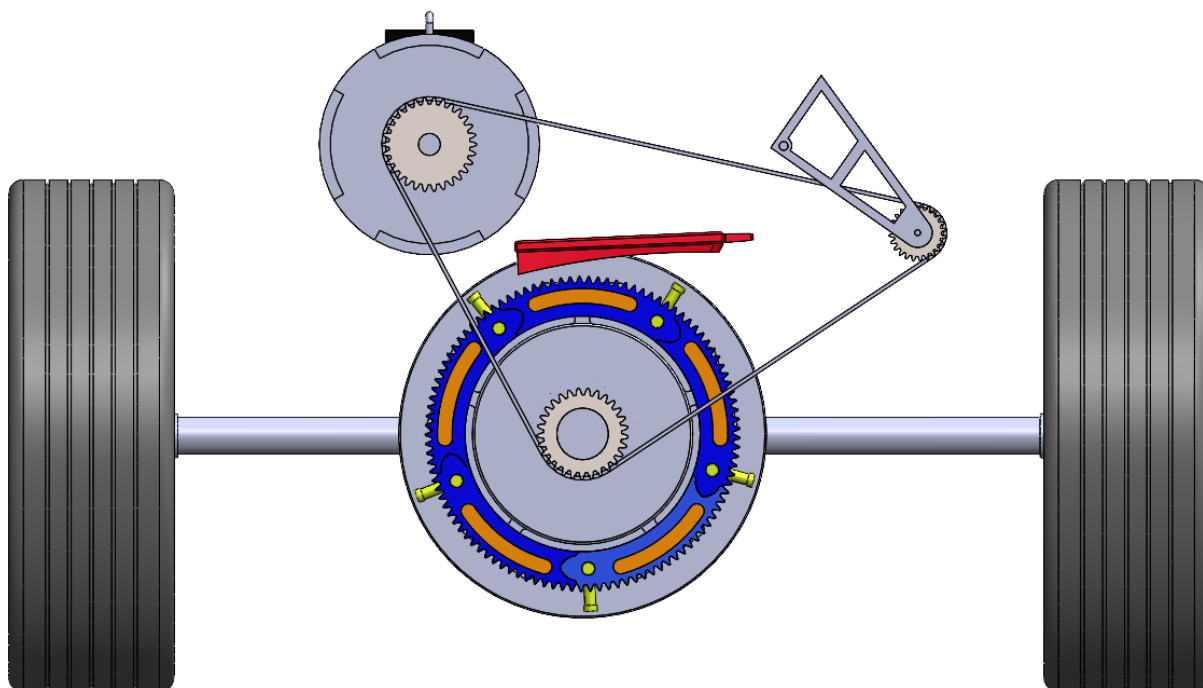
Posteriorment la junta que es troba en l'altre extrem la unim al engranatge pinyó. El resultat final del projecte s'aprecia en les Il·lustracions 49, 50 i 51:



Il·lustració 49: Vista diagonal del sistema de transmissió complet[Font pròpia]



Il·lustració 50: Vista lateral del sistema de transmissió complet[Font pròpia]



Il·lustració 51: Vista frontal del sistema de transmissió complet [Font pròpia]

7. Anàlisi de l'impacte ambiental

L'anàlisi de l'impacte mediambiental es basa en l'estudi de tots els processos de producció de les peces que puguin generar un impacte en el medi ambient. S'ha de dir que avui en dia és un tema de gran importància dintre el procés de fabricació ja que en la majoria de casos es busca utilitzar els elements menys contaminats i amb més facilitat de reciclatge. És per això que en la majoria de casos es busca l'equilibri entre preu i element menys contaminant.

En primer pas cal mencionar la bateria. És necessària que aquesta sigui transportada en contenidors especials per evitar que s'avoqui l'àcid de la carcassa i es pugui reciclar de la manera corresponent.

De forma molt semblant passa amb el motor elèctric ja que és necessari el seu reciclatge. S'ha de mencionar l'enorme benefici que aporta l'ús de canviar el motor de combustió pel motor elèctric, ja que tots els productes tòxics que es generen en la combustió queden eliminats. A més a més el motor elegit en aquest projecte és de fàcil reciclatge ja que no hi ha presència de metalls tòxics.

Pel que fa amb els olis que s'utilitzen per lubricar les diferents parts del sistema s'han d'extreure pel seu posteriorment tractament ja que la majoria són reciclables o regenerables.

Com a última part de tot el sistema és necessari la reciclatge de tots els metalls que componen el sistema de velocitats, arbre de transmissió i diferencial. S'ha arribat a un punt on a totes les peces se li pot fer un reciclatge. Per tant segons el tipus de material que s'utilitzi, s'enviarà a una fabrica de fragmentació que tritura i separa els metalls dels no metalls.

Per últim fa falta mencionar el reciclatge dels plàstics. Aquesta part només afecta en el coixinet que es troba en la nostre junta homocinètica, encarregat de que estigui en constant lubricació. El que s'haurà de fer amb el plàstic és netejar-lo fins que no hi hagi presència de l'oli lubricant i portar-lo al lloc adequat perquè es pugui realitzar el corresponent reciclatge.

8. Conclusions

Un cop realitzat l'informe del treball, podem donar com vàlid els resultats aconseguits. Es demanava la realització del sistema de transmissió que es pogués utilitzar en un cotxe elèctric i s'ha complert amb els objectius desitjats.

A nivell personal dur a terme aquest treball m'ha aportat molts coneixements tant en l'àmbit teòric com pràctic. Tot i tenir coneixements previs de com funcionava un sistema de transmissió en un motor de combustió, ha estat necessari entendre com funcionava aquesta part en un motor elèctric ja que sense aquesta informació no hagués estat possible la realització mitjançant el programa SOLIDWORKS. A més a més, s'ha hagut de focalitzar quin eren les parts necessàries, el perquè i quines no havien de formar part del sistema. Conseqüentment era necessari el càlcul de la mida d'aquestes parts i que els valors obtinguts fossin coherents per poder aconseguir el moviment del cotxe, ja que com es veu reflectit en els càlculs en alguna ocasió s'han hagut de canviar la mida de certes peces perquè el cotxe pogués superar les forces que s'oposaven al seu avanç.

Un cop assolida la part teòrica es posa en marxa el procés de disseny. En aquesta etapa ha estat necessari seguir un procés punt per punt i dividint el conjunt en diferents parts, inclús moltes vegades no s'ha pogut realitzar la part necessària ja que es requerien mides prèvies les quals encara no es sabien. D'altra banda, per molt que s'hagi seguit un procés ordenat, ha estat necessari en moltes ocasions haver de tornar endarrere per arreglar errors que s'havien comès en aquesta fase de disseny. Això és degut a que les peces que uneixen les diferents parts moltes vegades no coincidien, i era necessari realitzar-les de nou.

Per concloure cal que dir que em sento molt satisfet amb el resultats obtinguts. Ha quedat un sistema totalment funcional i que no consta d'un gran cost. Tot i això i en un futur, es podria estudiar la millora de parts que formen aquest sistema, com n'és el sistema de velocitats Ingear. Al ser l'element més innovador i el que aporta una millora de l'eficiència i consum del motor, crec que podria constar d'algun altre engranatge que millores els factors mencionats anteriorment. En algun moment es va pensar en posar un variador com el que utilitzen algunes motos però les característiques i prestacions d'aquest tipus de model no ho van permetre.

9. Bibliografia

- [1] 'Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia,' *Forococheelectricos.com*, 2 novembre, 2011. <https://forococheelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>
- [2] '¿Por qué los coches eléctricos tienen sólo una marcha?', *Forococheelectricos.com*, 22 agost, 2017. <https://forococheelectricos.com/2017/08/por-que-los-coches-electricos-tienen-solo-una-marcha.html>
- [3] 'Inmvotive Inc'. <https://www.inmotive.com/>
- [4] 'How the Ingear Delivers Continuous Torque', 22 setembre. 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=sTAhgMeub-g&t=135s>
- [5] 'How the Ingear Works' 22 setembre 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=VZJMomMgMjQ&t=65s>
- [6] '¿Sabes cómo funcionan los motores eléctricos de los coches?' 8 juliol, 2021. <https://www.adslzone.net/e-movilidad/tecnologia/funcionamiento-motores-electricos-coches/>
- [7] '¿Funciona igual? Así es el cambio de marchas en un eléctrico' *adslzone.net*, 26 agost 2021. <https://www.adslzone.net/e-movilidad/tecnologia/cambio-marchas-electrico/>
- [8] 'Catálogo de productos', *evwest.com*, https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=171&osCsid=145e1b066b68cca3abe7bbbe75597a38
- [9] 'Catálogo de productos', *norauto.es*, <https://www.norauto.es/p/neumatico-michelin-e-primacy-215-50-r19-93-t-seal-2323968.html?CatalogID=&CatalogCategoryName>

- [10] *‘¿Cómo funciona un diferencial?’*, *youtube.com*, 6 abril 2017.
<https://www.youtube.com/watch?v=LEMNIIGX-YA>
- [11] *‘Potencia necesaria en un automóvil’* *Universidad de Sevilla, laplace.us.es*, 19 març 2015.
http://laplace.us.es/wiki/index.php/Potencia_necesaria_en_un_autom%C3%B3vil7
- [12] *‘Principio básicos de los sistema de transmisión en vehículos’* *macmillaneducation.es*, 12 gener 2004.
https://www.macmillaneducation.es/wp-content/uploads/2018/09/sistemas_transmision_libroalumno_unidad1muestra.pdf
- [13] *‘Junta Homocinética: ¿Qué es? ¿Para qué sirve?’* 3 novembre 2016.
<http://www.blogmecanicos.com/2016/11/junta-homocinetica-que-es-para-que-sirve.html>
- [14] *‘Diferencial en un vehículo: Funcionamiento y relación de velocidades’* 2 desembre 2014.
<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/12/02/diferencial-en-un-vehiculo-funcionamiento-y-relacion-de-velocidades/>
- [15] *‘Fichas técnicas de los automóviles del mercado’*, *coches.net*,
https://www.coches.net/fichas_tecnicas/
- [16] *‘¿Cuál es el efecto de pasar de eje trasero 2,59 a un 3,73?’* 24 juliol 2001.
<https://www.puomotores.com/13108194/cual-es-el-efecto-de-pasar-de-eje-trasero-259-a-un-373>
- [17] *‘Precio de la licencia del SolidWorks’*, *cimworks.es*, <https://www.cimworks.es/precios-solidworks>
- [18] *‘Conjuntos TecnoPower Cardan’*, <https://www.tecnopower.es/sites/default/files/tecnopower-conjunto>

