

# Estudi d'un buggy elèctric pel transport d'astronautes a la superfície de Mart

Treball Final de Grau



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

Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:

**Jordi Pons Genovart**

Dirigit per:

**Carlos Gustavo Díaz González**

Grau en Vehicles Aeroespacials

Terrassa, 30 de juny de 2020

Departament de mecànica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

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



# Índex

<b>Resum</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Objectiu</b>	<b>xv</b>
<b>Requeriments</b>	<b>xvii</b>
<b>Abast</b>	<b>xix</b>
<b>Antecedents</b>	<b>xxi</b>
<b>Agraïments</b>	<b>xxiii</b>
<b>Declaració d'honor</b>	<b>xxv</b>
<b>Nomenclatura</b>	<b>xxvii</b>
<b>Acrònims</b>	<b>xxix</b>
<b>1 Introducció històrica</b>	<b>1</b>
1.1 Estat de l'art actual . . . . .	2
<b>2 Estudi i disseny</b>	<b>7</b>
2.1 Estimació inicial de pesos . . . . .	7
2.1.1 Pes en buit . . . . .	8
2.1.2 Pes de la càrrega de pagament . . . . .	8
2.1.3 Pes brut del vehicle (GVWR) . . . . .	9
2.2 Condicions operatives de Mart . . . . .	9
2.3 Dimensionat del sistema propulsiu . . . . .	11
2.3.1 Força aerodinàmica . . . . .	11

---

2.3.2	Força gravitatòria . . . . .	12
2.3.3	Força de fricció . . . . .	13
2.3.4	Força de les acceleracions . . . . .	14
2.3.4.1	Acceleració lineal . . . . .	14
2.3.4.2	Acceleració angular . . . . .	15
2.3.5	Força del motor . . . . .	15
2.3.6	Tipus de motors . . . . .	15
2.3.6.1	Motors de corrent continu . . . . .	16
2.3.6.2	Motors de corrent altern . . . . .	18
2.3.7	Tipus de tracció . . . . .	23
2.3.8	Dimensionat del motor . . . . .	24
2.3.9	Estimació del pes del motor . . . . .	30
2.3.10	Dimensionat de les bateries . . . . .	31
2.3.11	Estimació del pes de les bateries . . . . .	34
2.3.12	Càrrega mitjançant panells solars . . . . .	34
2.4	Disseny de les rodes . . . . .	35
2.4.1	Tipus de rodes . . . . .	35
2.4.2	Elecció de les rodes . . . . .	43
2.5	Disseny de les suspensions . . . . .	45
2.5.1	Tipus de suspensions . . . . .	45
2.5.2	Elecció de les suspensions . . . . .	51
2.6	Disseny del xassís . . . . .	52
2.6.1	Estructura del xassís . . . . .	52
2.6.2	Materials del xassís . . . . .	57
2.7	Disseny de la carrosseria . . . . .	59
2.7.1	Tipus de carrosseria . . . . .	60
2.7.2	Materials de la carrosseria . . . . .	64
2.7.3	Materials del revestiment i pintura . . . . .	67
2.8	Sistemes i sensors . . . . .	69
2.8.1	Sensors analitzadors de l'aire . . . . .	69
2.8.2	Càmeres . . . . .	74
2.8.3	Sistemes de comunicació . . . . .	75
2.8.4	Sistemes de localització . . . . .	79
2.8.5	Altres sistemes . . . . .	83

---

<b>3</b>	<b>Conclusions</b>	<b>85</b>
3.1	Recomanacions de continuïtat . . . . .	87
<b>A</b>	<b>Pressupost</b>	<b>89</b>
<b>B</b>	<b>Diagrama de blocs Simulink</b>	<b>91</b>
B.1	Velocitat en funció del parell . . . . .	91
	<b>Bibliografia</b>	<b>93</b>



# Índex de figures

1.1	Space Exploration Vehicle de la NASA [1] . . . . .	3
1.2	New Mars' Rover de la NASA [2] . . . . .	3
1.3	Tesla Cybertruck [3] . . . . .	4
1.4	Lunar Rover de la JAXA i Toyota [4] . . . . .	5
2.1	Composició mitjana de l'escorça, el terra i la pols de Mart [5] . . . . .	10
2.2	Esquema d'un motor de corrent continu amb escom- bretes [6] . . . . .	17
2.3	Esquema del funcionament de la commutació dels BLDC motors [7] . . . . .	18
2.4	Comparació dels BDC i BLDC motors [8] . . . . .	18
2.5	Esquema d'un motor síncron d'imants permanents [9] .	19
2.6	Esquema del <i>Reluctance torque</i> [7] . . . . .	20
2.7	Estructura del motor de reluctància commutada [7] . .	20
2.8	Tipus de rotors d'un motor asíncron [10] . . . . .	21
2.9	Diagrama de blocs de l'esforç tractor . . . . .	26
2.10	Representació teòrica de la corba parell-velocitat [11] .	27
2.11	Representació de la velocitat en funció del temps del Rover . . . . .	28
2.12	Representació del parell en funció de la velocitat an- gular del motor . . . . .	29
2.13	Esquema de la integració flexible de la bateria de 48 V [12] . . . . .	33
2.14	Representació de les plaques solars en el sostre del ve- hicle [13] . . . . .	35
2.15	Esquema del pneumàtic Goodyear recharge [14] . . . .	39
2.16	Disseny de la roda sense aire Michelin Uptis [15] . . . .	40

2.17	Disseny de la Hankook Exhilarating Adventure [16] . . .	41
2.18	Disseny de les rodes sense aire de la NASA [17] . . . . .	42
2.19	Funcionament d'un sistema de suspensions rígid [18] .	46
2.20	Il·lustració del sistema de suspensions rígides [19] . . .	46
2.21	Representació del sistema de suspensions semirígides [19] . . . . .	47
2.22	Funcionament d'un sistema de suspensions indepen- dent [18] . . . . .	47
2.23	Representació del sistema de suspensions d'eix oscil·lant [19] . . . . .	48
2.24	Representació del sistema de suspensions de braços ti- rats [20] . . . . .	48
2.25	Representació del sistema de suspensions McPherson [19] . . . . .	49
2.26	Representació del sistema de suspensions de triangles superposats [19] . . . . .	50
2.27	Representació del sistema de suspensions <i>Multilink</i> [19]	50
2.28	Representació d'un xassís d'escala [21] . . . . .	53
2.29	Representació d'un xassís d'espina dorsal [22] . . . . .	54
2.30	Representació d'un xassís en X [23] . . . . .	54
2.31	Representació d'un xassís de plataforma [24] . . . . .	55
2.32	Representació d'un xassís perimetral [22] . . . . .	55
2.33	Representació d'un xassís monocasc [25] . . . . .	56
2.34	Representació d'un xassís espacial tubular [22] . . . . .	57
2.35	Diferents forces de flexió experimentades pel vehicle [26]	62
2.36	Representació del revestiment tèrmic ceràmic en una peça de fibra de carboni [27] . . . . .	68
2.37	Representació del Rover <i>Perseverance</i> i ubicació de tots els sensor i càmeres que porta incorporats [28] . . .	72
2.38	Esquema de la MastCam-Z [29] . . . . .	75
2.39	Representació del funcionament de la comunicació per enllaços [30] . . . . .	77
2.40	Representació de l'angle d'elevació a partir del qual es pot rebre el senyal [30] . . . . .	78



---

2.41	Representació de les "òrbites B"[31] . . . . .	78
2.42	Sistema de localització Delta Dor [32] . . . . .	80
2.43	Esquema del sistema ben acoblat de INS assistit per GPS [33] . . . . .	81
2.44	Esquema de l'arquitectura del sistema de navegació inercial assistida per GPS [33] . . . . .	82
2.45	<i>Suitport</i> acoblat al SEV de la NASA [1] . . . . .	84



# Índex de taules

1.1	Dades dels prototips de les empreses punteres del sector . . . . .	5
2.1	Dades de les mesures dels principals accidents geogràfics de Mart . .	13
2.2	Característiques nominals del motor escollit . . . . .	30
2.3	Característiques geomètriques del motor escollit . . . . .	30
2.4	Comparativa entre els diferents tipus de bateries . . . . .	32
2.5	Característiques de la bateria Bosch de 48 V . . . . .	33
2.6	Matriu de decisió per a la selecció del tipus de roda . . . . .	44
2.7	Representació de la reducció de pes dels materials lleugers . . . . .	65



# Resum

En aquest Treball de Fi de Grau es presenta l'estudi d'un rover tripulat capaç de transportar astronautes per la superfície de Mart. Una recerca entre els rovers tripulats ja existents, juntament amb una comparativa entre ells s'ha duit a terme.

L'estudi d'un sistema de rodes-suspensions adaptable a la superfície marciana ha estat elaborat, juntament amb el disseny del xassís, la carrosseria i el seu revestiment.

Un primer dimensionat del sistema propulsiu, incloent el motor i les bateries s'ha duit a terme. També, una primera aproximació de la *performance* que ofereix el motor seleccionat ha estat elaborada amb l'ajuda del programa *Simulink*, de *Matlab*.

L'estudi dels sistemes essencials que ha de tenir el rover ha estat elaborat, considerant els sistemes i sensors utilitzats a la majoria de missions d'exploració espacial, sigui amb rovers tripulats o sense tripular.

Finalment, un pressupost del projecte s'ha duit a terme per acabar d'estudiar la viabilitat del mateix.

Paraules clau: rover, vehicle elèctric, motor elèctric, panells solars, exploració espacial.



# Abstract

This thesis presents the study of a manned rover capable of transporting astronauts across the Martian surface. Research into already existing manned rovers has illustrated a wide comparison among them.

The study of an adaptable to the Mars' surface wheel-suspension system has been completed as well as one of the chassis and bodywork designs and coating.

A primary dimensioning of the propulsion system, including engine and batteries has been completed in conjunction with a first approximation of the performance offered by the selected engine, with the help of the program *Simulink*, which belongs to *Matlab*.

The study of the essential systems which the rover must have, has been done, considering the systems and the sensors used in the vast majority of the space exploration missions, either with manned rovers or unmanned rovers.

Finally, a budget of the project has been studied in order to establish the feasibility of it.

Keywords: rover, electric vehicle, electric engine, solar panels, space exploration.





# Objectiu

L'objectiu principal del projecte és l'elaboració d'un estudi sobre la construcció d'un vehicle elèctric amb capacitat per a dues persones i amb la finalitat de transportar astronautes per la superfície de Mart.

Aquest estudi tindrà una durada de cinc mesos, començant el 19 de febrer amb la seva presentació i acabant el 30 de juny, amb l'entrega final. Un cop realitzada l'entrega final, es defensarà la setmana del 14 al 30 de juliol.



# Requeriments

Algunes de les característiques del vehicle tripulat ja han estat fixades prèviament, com és el cas del tipus de motor. En aquest aspecte, el motor serà elèctric, ja que es considera la manera més viable i efectiva de propulsió en un entorn com Mart.

No obstant, altres requisits són també fixats. El *buggy* haurà de tenir compartiments d'oxigen per a casos d'emergència i haurà d'incorporar panells solars, per tal de poder carregar les bateries i esdevenir un vehicle amb emissions molt baixes o nul·les. A més a més, serà necessària una porta de càrrega, per tal de poder recollir mostres de la superfície del planeta.

Finalment, la definició d'un tipus de rodes específic i l'estudi d'unes suspensions adaptades a la superfície del planeta Mart seran imprescindibles per assolir el projecte.



# Abast

A part dels requeriments ja esmentats, el projecte haurà de complir unes altres característiques, que s'aniran fixant a mesura que el projecte avanci.

En aquest cas, s'hauran de justificar totes les opcions i les posteriors tries que es facin, sempre afavorint l'eficiència del vehicle i minimitzant el cost el màxim possible. Per això, s'hauran de fer matrius de decisió, taules comparatives argumentant avantatges i desavantatges, i que seran adjuntades a mode de justificació.

Per dur a terme aquesta tasca, el projecte es dividirà en departaments:

Primerament, el departament de propulsió serà l'encarregat de verificar i justificar que l'elecció d'un motor elèctric és correcta, aportant dades comparatives entre els diferents tipus de motor que existeixen i que podrien ser implementats. Amb tot això, després de fer un exhaustiu estudi de mercat, es decidirà quin motor serà l'elegit com la millor opció per dur a terme la seva tasca, que és la de propulsar un vehicle amb capacitat per a dues persones per la superfície de Mart. A més a més, la localització de les plaques solars encarregades de carregar les bateries també serà estudiat. No obstant, el disseny del mateix no serà duit a terme. En aquest departament també s'estudiarà el tipus de tracció del vehicle i es farà una aproximació de l'esforç de tracció que s'haurà de superar per aconseguir que el vehicle avanci. Finalment, el dimensionat de les bateries serà imprescindible.

A continuació, el departament d'estructures serà l'encarregat de dur a terme un estudi tant dels materials com del possible revestiment exterior, per finalment fer una tria en funció de les característiques i les prestacions de cada material i el seu cost. En addició, el tipus d'estructura del vehicle serà definida i s'estudiarà

quin tipus de vehicle serà implementat, fent referència a si serà un vehicle obert o tancat.

D'altra banda, el departament de sistemes serà l'encarregat de l'estudi dels possibles sistemes i ajudes que puguin tenir els tripulants, com puguin ser sensors tèrmics, càmeres, sistema de comunicació i localització.

Finalment, el departament d'economia serà l'encarregat de dur a terme el presupost del projecte, que inclourà el cost tècnic de redacció del projecte i el cost d'execució del mateix.

# Antecedents

Els *Crewed Mars rovers* han estat conceptualitzats com una part imprescindible en les missions que es faran a Mart en el futur. És per això, que es vol fer un estudi de com serien aquestes missions amb aquests tipus de vehicles. Aquests tenen com a intenció ser molt polivalents, ja que tant pretendran servir com a ajuda pels astronautes per moure's per la superfície del planeta vermell, com intentaran ser útils pel transport i emmagatzematge de mostres. També, es considera que podrien fer de laboratori o de base mòbils.

És cert que les grans empreses del sector com la NASA o la SPACE X ja han donat algunes passes per a la implementació d'aquests tipus de vehicles, i que, si més no, tenen algun prototip o almenys algun predisseny. El que aquest projecte pretén aconseguir és reunir la informació necessària per poder fer un predisseny que sigui factible, econòmicament viable i eficient, sense deixar de banda la qualitat.

A més a més, empreses com Toyota, juntament amb l'Agència d'Exploració Espacial Japonesa tenen com a objectiu enviar un vehicle d'aquestes característiques a la Lluna a la dècada del 2030. Per tant, es considera que la Lluna pot ser un primer pas, però que el futur s'enfocarà més a Mart. D'aquesta manera, el projecte pretén avançar-se i esdevenir una base per a futures missions espacials per a l'exploració de Mart.





# Agraïments

En primer lloc, als meus pares, Miquel i Magdalena, per tota la paciència i la confiança depositada en mi. Gràcies per pensar que ho podia aconseguir i per animar-me a fer-ho. Gràcies per educar-me de la millor manera i estimar-me incondicionalment. Això és per vosaltres. També al meu germà, en Guillem, gràcies per ajudar-me, sobretot a primer, quan més ho necessitava.

A continuació a la meva parella, n'Àngela, que sempre és allà sense importar el que passi. Gràcies per la teva confiança i pel teu amor incondicional. Mai no te podré agrair tot el teu suport.

També, a tots els meus companys, però d'una manera especial a en Kevin, en Joan, en Pau, en Lluç, n'Abel i en Carlos. Per totes les hores sense dormir preocupats pels exàmens o intentant acabar treballs, però també per tots els bons moments que hem compartit.

Abans d'acabar, també agrair al meu tutor, el professor Carlos Gustavo Díaz, per acceptar la meva proposta i fer possible aquest projecte.

Finalment, a la resta de la meva família i amics, sense vosaltres tampoc no hagués estat possible. Perquè al cap i a la fi no tot és estudiar i vosaltres m'heu donat l'equilibri tan necessari entre estudi i oci, gràcies.



# Declaració d'honor

Declaro que,

la feina exposada en aquest Treball de Fi de Grau és completament fruit del meu propi treball,

cap part d'aquest Treball de Fi de Grau s'ha agafat de la feina d'altra gent sense donar-los crèdit,

totes les referències han estat clarament citades.

Entenc que l'incompliment d'aquesta declaració em deixa sotmès a les accions disciplinàries previstes per la Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Jordi Pons Genovart

30 de juny de 2020.

Títol de la tesis: Estudi d'un buggy elèctric pel transport d'astronautes a la superfície de Mart



# Nomenclatura

$\rho$	Densitat de l'atmosfera de Mart $[\frac{kg}{m^3}]$
$\eta_g$	Rendiment del motor elèctric
$\mu_f$	Coefficient de fregament
$\psi$	Angle de pendent $[\circ]$
$C_D$	Coefficient aerodinàmic
$F_{EM}$	Força del motor elèctric [N]
$J_{EM}$	Inèrcia del motor elèctric $[kg \cdot m^2]$
$J_{wheel}$	Inèrcia de les rodes $[kg \cdot m^2]$
$r_t$	Radi de la roda [m]
$t_a$	Temps d'acceleració [s]
$v_b$	Velocitat base $[\frac{m}{s}]$
$v_f$	Velocitat final $[\frac{m}{s}]$
G	Relació de transmissió
g	Acceleració de la gravetat a Mart $[\frac{m}{s^2}]$
m	Massa del vehicle [kg]
n	Velocitat de gir del motor [rpm]
S	Superfície frontal del vehicle $[m^2]$

$T$	Parell del motor elèctric [Nm]
$v$	Velocitat del vehicle [ $\frac{m}{s}$ ]
$D$	Drag (Força aerodinàmica) [N]
$W$	Weight (Pes) [N]

# Acrònims

**NASA** National Aeronautics and Space Administration

**JAXA** Japan Aerospace Exploration Agency

**SEV** Space Exploration Vehicle

**NMR** NASA's new Mars Rover

**CEO** Chief Executive Officer

**GVWR** Gross Vehicle Weight Rating

**PL** Payload

**EM** Electric Machine

**BDC** Brushed Dc Machine

**BLDC** Brushless DC Machine

**PMDCM** Permanent Magnet DC Machine

**PMSM** Permanent Magnet Synchronous Machine

**SRM** Switched Reluctance Machine

**PM-SynRM** Permanent Magnet Synchronous Reluctance Machine

**PWM** Pulse Width Modulation

**OWA** Ordered Weighted Averaging

**UPTIS** Unique Puncture-Proof Tire System

**CFRP** Carbon Fiber Reinforced Polymers

**MEDA** Mars Environmental Dynamics Analyzer

**RSM** Remote Sensing Mast

**WS** Wind Sensor

**ATS** Air Temperature Sensor

**HS** Humidity Sensor

**PS** Pressure Sensor

**HEPA** High Efficiency Particulate Air

**TIRS** Thermal Infrared Sensor

**RDS** Radiation and Dust Sensor

**MOXIE** Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment

**PIXL** Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry

**RIMFAX** Radar Imager for Mars' Subsurface Experiment

**SHERLOC** Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for  
Organics & Chemicals

**DSN** Deep Space Network

**MRO** Mars Reconnaissance Orbiter

**MSL** Mars Science Laboratory

**INS** Inertial Navigation System

**CPSR** Constant Power Speed Range

**MHEV** Mild Hybrid Electric Vehicles



# Capítol 1

## Introducció històrica

L'exploració espacial a Mart va començar amb la carrera espacial que van protagonitzar els Estats Units i la Unió Soviètica en el període de la Guerra Freda.

Als anys seixanta, la Unió Soviètica va ser l'encarregada de dur a terme les primeres missions amb el seu *Programa Mars*. Després dels errors comesos en les sondes *Mars1962A* i *Mars1962B*, la sonda espacial *Mars1* va esdevenir la primera sonda interplanetària del programa espacial de la Unió Soviètica, que tot i perdre la comunicació després d'aproximadament quatre mesos, va aconseguir realitzar fotografies del planeta i estudis de radiació, d'impacte de meteorits, del camp magnètic de Mart, de l'estructura de la seva atmosfera i de la possibilitat de l'existència de microorganismes.

Per altra banda, els Estats Units van entrar de manera directa a l'exploració de Mart amb el seu *Programa Mariner*. Després que les sondes *Mariner 3* i *Mariner 4* resultassin un fracàs, les sondes *Mariner 6* i *Mariner 7* [34] van aconseguir el seu propòsit, orbitar a 3500 km de Mart i aconseguir enviar dades de l'atmosfera i fotografies de la superfície equatorial del planeta vermell.

D'aquesta manera, la carrera per l'exploració de Mart va esdevenir en la creació de nous programes espacials, com foren el *Zond* soviètic [35], o els *Mariner* i *Viking* [36] nord-americans.

Finalment, això desembocà en el primer *Rover* que fou capaç d'obtenir un èxit en la seva missió, el *Sojourner* [37] del *Programa Discovery* de la NASA. Després

d'un seguit de vehicles no tripulats que van aterrar a Mart, el futur està orientat en l'exploració del planeta fent ús de vehicles tripulats, com ja es va fer a la Lluna amb el *Programa Apollo* [38], concretament amb l'*Apollo 15* i l'*Apollo 16*. Aquest vehicle era un mètode molt rudimentari de transport, que servia com a un *kart* per als astronautes. Amb el pas dels anys després de les missions *Apollo*, es van suggerir alguns mètodes diferents de transport, establint així que els rovers del futur haurien de ser robusts, fiables, còmodes i segurs per a la tripulació.

## 1.1 Estat de l'art actual

Un cop comentat ja anteriorment, se sap que una part imprescindible de les futures missions a Mart seran els *Crewed Mars Rovers*, ja que la seva polivalència servirà tant per fer de laboratori mòbil, com pel transport de persones per la superfície de Mart.

En aquest apartat, s'analitzaran els diferents projectes que tenen les empreses punteres del sector, ja siguin de caràcter públic o privat.

En primer lloc, cal destacar que la NASA té dos prototips diferents entre mans.

El primer, el *SEV*, data dels anys 2007 i 2008 i tal i com s'indica a [1] és un vehicle amb unes característiques especials, ja que té una part pressuritzada, des d'on els astronautes poden manejar els comandaments de manera còmoda i sense la necessitat de portar el vestit espacial; i per altra banda, té la part de darrera que no està pressuritzada, i des de la qual els astronautes poden treballar directament sobre el terreny. La capacitat del vehicle és de dues persones a la part pressuritzada i dues persones a la part posterior. Consta de dotze rodes amb capacitat de rotació de 360°, molt útils en cas de possible estancament a causa de la superfície irregular de Mart.



FIGURA 1.1: Space Exploration Vehicle de la NASA [1]

A banda del *SEV*, la NASA està treballant en un vehicle nou, el *NMR*, tal i com va afirmar la cadena de radio i televisió nord-americana CBS a [2] l'any 2017. Aquest es caracteritza per ser un vehicle totalment tancat, molt robust i amb sis rodes adaptades a tot tipus de terreny, que faria possible el transport per la superfície de Mart sense cap tipus de complicació. A més a més, aquestes rodes, estan fetes d'un material especial i es poden desacoblar per parts, de manera que si es trenca una part no cal la reparació completa de la roda, sinó que seria suficient amb la reparació de la part avariada.



FIGURA 1.2: New Mars' Rover de la NASA [2]

Pel que fa a l'empresa SPACE X, no té un projecte a curt plaç orientat a la fabricació d'un vehicle orientat especialment a l'exploració de Mart. No obstant, el seu CEO, qui és també el CEO de l'empresa d'automòbils Tesla, no descartaria la possibilitat d'utilitzar el *Cybertruck*, el nou vehicle creat per l'empresa automobilística. El *Cybertruck* és un vehicle compacte de quatre rodes. Encara que la versió més bàsica té tracció posterior, també hi ha disponible l'opció que totes les rodes siguin motrius. Com a característica especial, segons [3], el *Cybertruck* té una suspensió pneumàtica adaptable, que faria possible el desplaçament sobre la superfície irregular del planeta vermell. Encara que en un principi no ha estat dissenyat per tal fi, s'inclourà a la [Taula 1.1](#).



FIGURA 1.3: Tesla Cybertruck [3]

En referència a l'empresa espacial japonesa que, juntament amb Toyota, ha dissenyat un vehicle d'exploració espacial tripulat, aquest té com a objectiu operar a la Lluna cap a la dècada del 2030. El vehicle té capacitat per a dues persones, però pot allotjar-ne un total de quatre en cas d'emergència. Té sis rodes elàstiques fabricades per l'empresa *Brigdestone*, que seran capaces de suportar el pes, l'acceleració i el frenat del rover, així com també de minimitzar l'absorció d'impactes i millorar-ne la maniobrabilitat. El vehicle està totalment tancat, de manera que va pressuritzat. A més a més, consta d'una matriu de panells solars desplegable per tal de carregar les bateries.



FIGURA 1.4: Lunar Rover de la JAXA i Toyota [4]

En la següent taula comparativa es recullen les principals característiques que tenen els prototips existents, tot i que algunes ja s'han comentat:

	NASA (NMR)	NASA (SEV)	Tesla Cybertruck	JAXA-TOYOTA
Capacitat (Pax)	2-3	2-4	6	2-4
Tamany (llarg · alt · ample) [m]	7.25 · 3.15 · 4	4.5 · 3 · 4	5.9 · 1.9 · 2	6 · 3.8 · 5.2
Velocitat creuer [km/h]	3-6	10	-	-
Velocitat punta [km/h]	8-10	-	175	-
Tipus (Obert/Tancat)	Tancat	Meitat-Meitat	Tancat	Tancat
Pes (kg)	2500	3000	-	-
Nombre de rodes	6	12	4	6

TAULA 1.1: Dades dels prototips de les empreses punteres del sector

Cal fer menció que en el cas del *Cybertruck* s'ha agafat la versió bàsica per a la realització de la [Taula 1.1](#), i que si es fes una versió compatible amb l'exploració marciana, les seves prestacions de velocitat s'adaptarien i estarien, previsiblement, entre el rang de valors que ofereix la NASA.



# Capítol 2

## Estudi i disseny

Un cop s'han estudiat els models ja existents, es durà a terme un estudi més profund per tal de poder obtenir els primers valors i resultats. Aquest estudi es dividirà en diferents apartats, com seran els pesos, tant del motor com de les bateries i el tipus d'estructura. A més a més, s'elegirà un motor que compleixi els requeriments establerts i es farà el *sizing* de les bateries necessàries perquè el vehicle sigui totalment elèctric.

### 2.1 Estimació inicial de pesos

El punt de partida pel disseny del vehicle consistirà en definir el seu pes. Com que tan sols es coneixen els requeriments marcats i algunes de les característiques de caràcter conceptual, el pes serà estimat a partir de les dades obtingudes de vehicles similars, tant els citats a la [Taula 1.1](#), com algun vehicle elèctric terrestre de característiques similars, com puguin ser el *Tesla Model X*, l'*Audi e-Tron* o el *Mercedes EQC* <sup>1</sup>. La definició de manera aproximada del pes permetrà el començament de la recerca d'un sistema propulsiu adequat.

---

<sup>1</sup>Les dades relacionades amb el pes d'aquests vehicles s'han extret de [39]

### 2.1.1 Pes en buit

El pes en buit d'un vehicle contempla simplement el que és el propi vehicle, sense tenir en compte cap tipus de càrrega ni de passatger.

Un cop analitzat el pes en buit d'aquestes vehicles, s'ha conclòs que el pes estarà voltant dels **2700 kg**.

### 2.1.2 Pes de la càrrega de pagament

El pes de la *payload* es refereix a la càrrega que pot suportar el vehicle, ja siguin passatgers o qualsevol tipus de pes no establert en el pes en buit.

Si es tenen en compte els vehicles elèctrics i el SEV de la NASA, juntament amb el Tesla Cybertruck, s'obtenen els següents valors de càrrega de pagament:

- SEV NASA: 1000 kg
- Tesla Cybertruck: 1500 kg
- Tesla Model X: 516 kg
- Audi e-Tron: 640 kg
- Mercedes ECQ: 445 kg

Per a obtenir una estimació acurada no es pot fer la mitjana aritmètica, ja que d'aquesta manera es donaria el mateix pes als vehicles terrestres que als que ja han estat enfocats a l'exploració marciana. És per això que s'aplicarà un factor de correcció, donant un pes del 70% al SEV de la NASA i al Tesla Cybertruck; i un 30% als vehicles terrestres.

De la següent manera, s'obté l'estimació inicial del pes de la càrrega de pagament:

$$PL = \frac{516 + 640 + 445}{3} \cdot 0.3 + \frac{1000 + 1500}{2} \cdot 0.7 \rightarrow \mathbf{PL = 1035.1 \text{ kg}} \quad (2.1)$$



### 2.1.3 Pes brut del vehicle (GVWR)

El pes brut d'un vehicle és el pes màxim admissible de tot un vehicle quan està llest per posar-se en funcionament. Aquest inclou el pes de tots els líquids necessaris pel seu funcionament, el pes del propi vehicle, el pes dels passatgers i el pes de la càrrega de pagament. Un cop estimat el pes en buit i el pes de la *payload*, es pot estimar el pes brut del vehicle sumant els dos anteriors:

$$GVWR = 2700 + 1035 \rightarrow \mathbf{GVWR = 3735 \text{ kg}} \quad (2.2)$$

## 2.2 Condicions operatives de Mart

Un dels factors fonamentals en el disseny d'un vehicle tripulat capaç d'explorar Mart és, precisament, que es pugui desplaçar per la seva superfície. Per aquest motiu és important estudiar exhaustivament la composició principal del terra marcià i, a partir d'aquest, adaptar les condicions operatives del vehicle a la seva superfície.

D'acord amb [40], Mart presenta característiques molt diferents depenent de l'hemisferi en què ens situem. Per una banda, l'hemisferi nord està considerat un hemisferi pla, a causa de les abundats planures que el formen. Entre els 60° de latitud nord i l'equador es situen les grans planures de *Vastitas Borealis*, *Arcadia Planitia* i *Chryse Planitia*<sup>2</sup>.

D'altra banda, l'hemisferi sud esdevé un terreny format essencialment per cràters, el que provoca que sigui, de mitjana, uns 6 km més alt que l'hemisferi nord. També, es creu que la majoria d'aquests cràters estan formats per l'impacte de meteorits que van penetrar la seva tènue atmosfera fa més de 4000 anys. Entre els més importants, es troben el *Hellas Basin* [41], de 2300 km de diàmetre i més de 9 km de profunditat; i el *Valles Marineris* [42], de fins a 10 km de profunditat, 100 km d'amplada i 4000 km de llargada.

---

<sup>2</sup>Planura on va aterrar el *Viking 1* i des d'on es van rebre les primeres imatges de la superfície de Mart capturades des del propi terra marcià.

A més a més, el terra marcíà representa una regió volcànica important, anomenada *Tharsis Montes* [43], dels que destaquen els següents volcans: *Ascraeus Mons* [44], *Pavonis Mons* [45], *Arsia Mons* [46] i *Olympus Mons* [47], que és el volcà conegut més gran de tot el sistema solar, amb 25 km d'altura. Independentment de l'altura, la composició dels volcans i, conseqüentment, de les seves roques, és similar a la terrestre. A part, cal destacar el volcà *Elysium Mons* [48].

Després de realitzar dit estudi i tenint en consideració la informació obtinguda de [5] i de [49], s'ha arribat a la conclusió que la superfície de Mart està formada bàsicament per roques volcàniques i una gran quantitat de superfície arenosa. La composició del sòl de Mart seria la següent:

Oxide/ Element	Average Mars Crust [9]	Average Mars Soil (Gusev Crater Panda Subclass; [5])	Average Mars Dust [5]	Max. from MER Surface Missions	
				Maximum [8]	Location
	-----wt.%-----			wt.%	
SiO <sub>2</sub>	49.3	46.52 ± 0.57	44.84 ± 0.52	90.53	Kenosha Comets, Gusev crater
TiO <sub>2</sub>	0.98	0.87 ± 0.15	0.92 ± 0.08	1.90	Doubloon, Gusev crater
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.5	10.46 ± 0.71	9.32 ± 0.18	12.34	Cliffhanger, Gusev crater
FeO	18.2	12.18 ± 0.57	7.28 ± 0.70	4.41	Paso Robles, Gusev crater
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4.20 ± 0.54	10.42 ± 0.11	18.42	
MnO	0.36	0.33 ± 0.02	0.33 ± 0.02	0.36	The Boroughs, Gusev crater
MgO	9.06	8.93 ± 0.45	7.89 ± 0.32	16.46	Eileen Dean, Gusev crater
CaO	6.92	6.27 ± 0.23	6.34 ± 0.20	9.02	Tyrone, Gusev crater
Na <sub>2</sub> O	2.97	3.02 ± 0.37	2.56 ± 0.33	3.60	Cliffhanger, Gusev crater
K <sub>2</sub> O	0.45	0.41 ± 0.03	0.48 ± 0.07	0.84	Bear Island, Gusev crater
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.90	0.83 ± 0.23	0.92 ± 0.09	5.61	Paso Robles, Gusev crater
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.36 ± 0.08	0.32 ± 0.04	0.51	Tyrone, Gusev crater
Cl	-	0.61 ± 0.08	0.83 ± 0.05	1.88	Eileen Dean, Gusev crater
SO <sub>3</sub>	-	4.90 ± 0.74	7.42 ± 0.13	35.06	Arad, Gusev crater
<b>Element</b>	-----µg/g-----			µg/g	
Ni	337	544 ± 159	552 ± 85	997	El Dorado, Gusev crater
Zn	320	204 ± 71	404 ± 32	1078	Eileen Dean, Gusev crater
Br	-	49 ± 12	28 ± 22	494	Paso Robles, Gusev crater

FIGURA 2.1: Composició mitjana de l'escorça, el terra i la pols de Mart [5]

De les substàncies que es troben a la Figura 2.1, quasi la meitat de la composició de la superfície de Mart correspon a una substància arenosa, formada bàsicament per diòxid de silici. També, la substància Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, més coneguda com *alúmina*, entre d'altres, presenta el seu estat físic en forma de pols.

Per tant, es pot concloure que al voltant d'un 70% de la superfície de Mart és una mescla d'arena i argila, i el 30% restant correspon a un terreny rocós, dades que concorden amb la informació extreta de [50], que afirma que la superfície arenosa representa un 80% del sòl de Mart.

## 2.3 Dimensionat del sistema propulsiu

Per tal de poder fer una estimació inicial del motor, primerament s'han de considerar les forces que aquest haurà de vèncer per fer possible l'avanç del vehicle. Normalment, els automòbils han de fer front a tres tipus de forces, l'aerodinàmica, provocada per la fricció de l'aire amb el propi vehicle; la força de fregament amb el terra, provocada per la fricció de les rodes amb la superfície on es troben; i, finalment, la força gravitatòria, que es fa evident en cas que hi hagi una pendent o algun tipus de desnivell.

En primer lloc, tal i com s'ha esmentat a la [Secció 2.2](#), el paisatge de Mart inclou una gran quantitat de pendents, provocades en gran majoria per volcans, que fan que la força gravitatòria no sigui negligible. A més a més, fent referència a la mateixa secció, s'ha de considerar el coeficient de fricció provocat per l'arena i les roques que comporten la seva estructura superficial. Finalment, la força aerodinàmica tampoc pot ser negligible, encara que presumiblement, a causa de la densitat de Mart, serà menor que la suposaria fer el mateix estudi a la Terra. Per tant, el parell del motor haurà de ser el suficient perquè es puguin vèncer les tres forces esmentades anteriorment.

### 2.3.1 Força aerodinàmica

En primer lloc, per calcular la força aerodinàmica es farà ús de la següent equació:

$$D = \frac{1}{2}\rho v^2 S C_D \quad (2.3)$$

On el valor de la densitat de l'atmosfera marciana ha estat extret de [51], i té un valor aproximat de **0.02**  $\frac{kg}{m^3}$ .

D'altra banda, fent referència a [52], el coeficient aerodinàmic pot assolir diferents valors, depenent de la forma i el tamany del vehicle. Per als vehicles de mitjà i gran tamany, els valors típics estan entre 0.3 i 0.42. A més a més, els valors de les àrees d'aquests vehicles es troben dins el rang de 1.9 a 2.16 metres quadrats. En aquest cas, considerant un vehicle de grans dimensions i capacitat, s'agafarà un valor poc conservatiu, **0.4**.

No obstant, pel que fa a l'àrea frontal, el valor s'obté a partir de l'aproximació dels prototips explicats a la [Taula 1.1](#), que donaran més precisió que no els vehicles terrestres convencionals. D'aquesta manera, fent la mitjana entre els dos vehicles de la NASA i el Lunar Rover de la JAXA, s'obté una àrea frontal de **14.8 m<sup>2</sup>**. Aquest valor no entra en el rang d'àrees frontals obtingut de [52], ja que aquell rang de valors està relacionat amb vehicles que han de vèncer la força aerodinàmica per assolir una gran velocitat. En el cas d'estudi, la velocitat estarà dins el rang de 3-15 km/h, per la qual cosa es considera aquest valor com a vàlid.

### 2.3.2 Força gravitatòria

A continuació, la força gravitatòria dependrà en gran mesura de la pendent en què es situï el vehicle. Com que ha d'estar preparat per sortir-se'n en les pitjors condicions, el parell necessari serà calculat a partir d'aquestes, de manera que serà segur que podrà complir els requeriments pressuposats i serà factible en tots els tipus de superfície que presenta Mart. La seva fórmula és:

$$W = mg \sin \psi \tag{2.4}$$

Considerant els volcans i les depressions esmentades a la [Secció 2.2](#), s'ha realitzat la següent taula comparativa per estudiar les pendents que suposen:

	Altura/Profunditat [km]	Diàmetre [km]	Llargària [km]	Amplada [km]	Pendent [%]
Hellas Basin	9000	2300	-	-	0.39
Valles Marineris	10	-	4000	200	5
Elysium Mons	16	240	-	-	6.67
Olympus Mons	25	624	-	-	4
Arsia Mons	20	450	-	-	4.44
Ascraeus Mons	18.1	480	-	-	3.77
Pavonis Mon	14	375	-	-	3.73

TAULA 2.1: Dades de les mesures dels principals accidents geogràfics de Mart

La conclusió que es pot treure de la [Taula 2.1](#) és que el pendent màxim que provocaran els accidents geogràfics és del 6.67%. No obstant, aquest pendent es multiplicarà per un factor de seguretat de 1.5 per tenir la certesa que el vehicle serà capaç de pujar o baixar dits accidents. Per tant, el pendent màxim que s'haurà de superar és del **10%**.

Per tal que el valor del pendent sigui més fàcilment manejable alhora de treballar amb *Simulink*, es passarà aquest percentatge a graus, fent ús de la següent fórmula:

$$Pendent (^{\circ}) = \arctan\left(\frac{Pendent (\%)}{100}\right) \rightarrow Pendent (^{\circ}) = 5.71^{\circ} \quad (2.5)$$

Per tant, la inclinació màxima calculada serà de **5.71°**.

D'altra banda, tal i com s'ha definit en la [Subsecció 2.1.3](#), la massa del vehicle és de **3735 kg**.

Finalment, l'acceleració de la gravetat de Mart és aproximadament **3.71  $\frac{m}{s^2}$** .

### 2.3.3 Força de fricció

Finalment, la següent força a la que s'haurà de fer front serà la força de fregament, que té la següent forma:

$$F_f = \mu_f mg \cos \psi \quad (2.6)$$

Un cop estudiades les condicions de la superfície marciana a la [Secció 2.2](#), i davant la falta de dades relacionades amb el coeficient de fricció de Mart, aquest sortirà

de simular el terra de Mart dins la Terra. És a dir, com que s'ha conclòs que el 70% de la superfície és una mescla d'arena i una espècia d'argila i l'altre 30% correspon a superfície rocosa, es farà una estimació del coeficient de fricció dels pneumàtics sobre aquestes superfícies a la Terra.

Per tant, [53] proporciona el rang en què es troba el coeficient de fricció dels pneumàtics d'un cotxe amb una superfície arenosa, amb grava solta i desgastada, que va des de 0.04 a 0.08; que concorda amb els coeficients proporcionats per [54], que són 0.04 per a la superfície arenosa, 0.037 per a arena i 0.06 per a fang.

Si s'ha afirmat que un 70% és superfície arenosa, es considerarà el valor de 0.04, i el 30% restant, davant la mancança d'informació del coeficient de fricció dels pneumàtics sobre superfícies rocoses, es considerarà dins l'interval de la grava solta, ja que és el material que més s'hi aproxima. D'aquesta manera, donant un pes del 70% a 0.04 i un pes del 30% a 0.06, que és la mitjana de l'interval; s'obté un coeficient de fricció de **0.046**.

### 2.3.4 Força de les acceleracions

Per a dur a terme el dimensionat del motor, no es tendran en compte tan sols les forces esmentades anteriorment, sinó que també s'ha considerar l'acceleració del vehicle i també que haurà de superar les forces d'inèrcia que provoquen els elements rotatius, com són les rodes i el motor.

#### 2.3.4.1 Acceleració lineal

Per una banda, es considera la força que provocarà l'avanç del vehicle simplement tenint en compte la tercera llei de Newton:

$$F_{acc,lineal} = m \cdot a \tag{2.7}$$

### 2.3.4.2 Acceleració angular

D'altra banda, per a poder calcular la força causada per l'acceleració angular de les rodes i el motor, es necessitaran les inèrcies d'aquests elements, així com també el valor de la relació de transmissió.

$$F_{acc,angular} = \left( J_{wheel} + J_{EM} \frac{G^2}{\eta} \right) \frac{a_{wheels}}{r_t^2} \quad (2.8)$$

No obstant, ja que les dades necessàries per al càlcul de la força produïda per l'acceleració angular no són conegudes, es procedirà a aproximar ambdues forces d'acceleració seguint el procediment establert a [55], que consisteix en multiplicar la massa per un factor de seguretat de 1.05 i per l'acceleració lineal del vehicle quan avança. D'aquesta manera, les dues forces d'acceleració queden unificada en una:

$$F_{acc} = 1.05 \cdot m \cdot a \rightarrow F_{acc} = 1.05 \cdot m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2.9)$$

### 2.3.5 Força del motor

Finalment, es considerarà la força de la màquina elèctrica, que serà la següent:

$$F_{EM} = \frac{T \cdot G \cdot \eta_g}{r_t} \quad (2.10)$$

### 2.3.6 Tipus de motors

A continuació, el següent pas consisteix en estudiar i analitzar les característiques que ofereixen els diferents motors elèctrics existents en el mercat, per poder dur a terme una tria justificada per obtenir el major rendiment possible amb el menor cost associat.

Entre els tipus existents, n'hi ha de corrent continu i de corrent altern. De corrent continu hi ha els que tenen escobretes i els que no en tenen, mentre que entre

els motors de corrent altern cal destacar els que utilitzen imants permanents, els de reluctància commutada i els motors d'inducció.

### 2.3.6.1 Motors de corrent continu

El principi de funcionament d'un motor de corrent continu consisteix en la rotació de l'armadura dins d'un camp magnètic. Aquest principi es basa en el fet que cada cop que un conductor de corrent es col·loca dins un camp magnètic, experimenta una força mecànica.

Tal com indica [56], tots els motors de corrent continu operen seguint aquest principi, per tant la manera en què s'estableix el camp magnètic és essencial. Aquesta consisteix en fer ús d'un imant, ja sigui un electroimant o un imant permanent, que donarà lloc a un tipus de motor o un altre. De totes formes, ambdós tipus seran estudiats a continuació.

a) **Brushed DC machines.** Els motors de corrent continu amb escombretes estan commutats internament. La seva velocitat de funcionament pot ésser canviada mitjançant la modificació del voltatge operatiu o de la intensitat del camp magnètic aplicat. Depenent de les connexions del camp a la font d'alimentació, la velocitat i el parell poden ser alterats per proporcionar una velocitat constant o inversament proporcional a la càrrega mecànica. Actualment s'utilitzen per a propulsió elèctrica, grues i laminadores d'acer, entre d'altres.

No obstant, aquests tipus de motors tenen una eficiència baixa, a causa de les escombretes la commutació ha de ser mecànica i es necessita un manteniment elevat pel seu desgast. A més a més, poden xispejar i produeixen soroll elèctric. L'avantatge que tenen és que no necessiten un controlador.



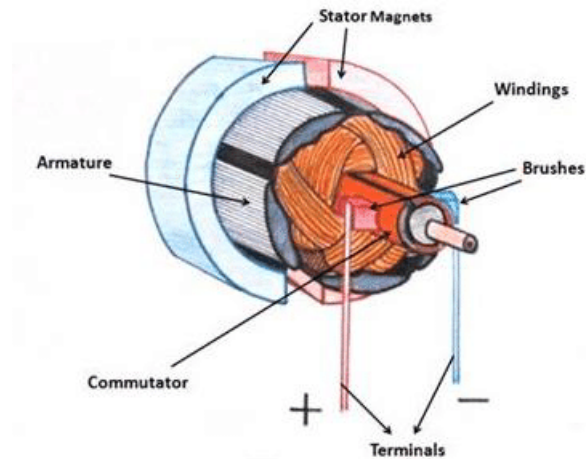


FIGURA 2.2: Esquema d'un motor de corrent continu amb escombretes [6]

- b) **Brushless DC machines.** Els motors de corrent continu sense escombretes estan commutats electrònicament, el que els confereix un major ventall de possibilitats i una major flexibilitat. El controlador proporciona polsos de corrent als debanaments del motors que controlen la velocitat i el parell d'aquest. Generalment, estan formats per tres fases de 2 debanats cada una, de manera que quan el rotor està encarat a la fase A, per exemple, el controlador indueix la fase B, i així successivament perquè el rotor segueixi girant, tal i com es mostra a la [Figura 2.3](#). Aquests tipus de motors són coneguts pel seu bon funcionament i per la possibilitat que ofereixen de mantenir el parell constant quan el vehicle està parat.

Tal i com s'indica a [57], els BLDC motors són altament eficients en la producció d'una gran quantitat de parell en un rang molt ampli de velocitats. A més a més, un dels principals avantatges és el poc manteniment que necessiten, ja que, el fet de no tenir escombretes fa que el desgast sigui mínim. Altres avantatges a destacar són el poc soroll que produeixen durant el seu funcionament, la bona dissipació de la calor que tenen i l'elevada resposta dinàmica que ofereixen. A més a més, ofereixen un bon rang de velocitat-parell i una potència i una densitat de parell elevades.

D'altra banda, els principals desavantatges que ofereixen els motors sense escombretes són la necessitat d'un controlador i de sensors addicionals, que provoquen un augment significatiu del cost.

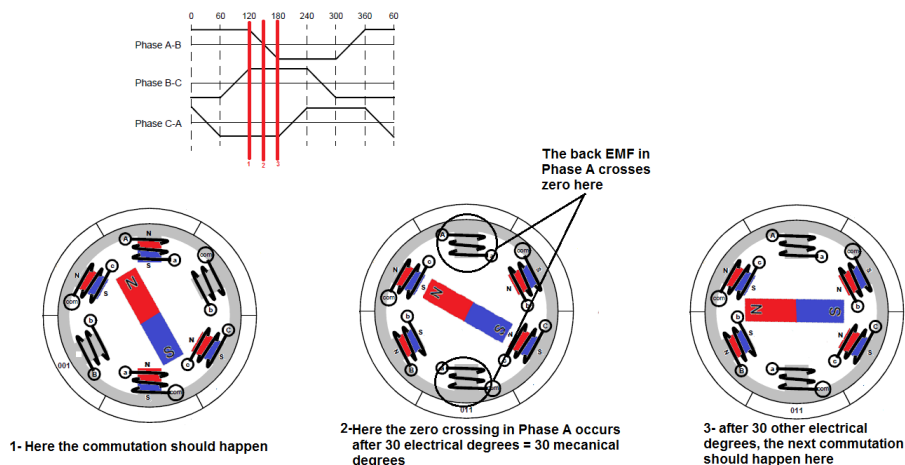


FIGURA 2.3: Esquema del funcionament de la commutació dels BLDC motors [7]

Finalment, s'adjunta una imatge comparativa dels diferents motors de corrent continu que s'han explicat anteriorment.

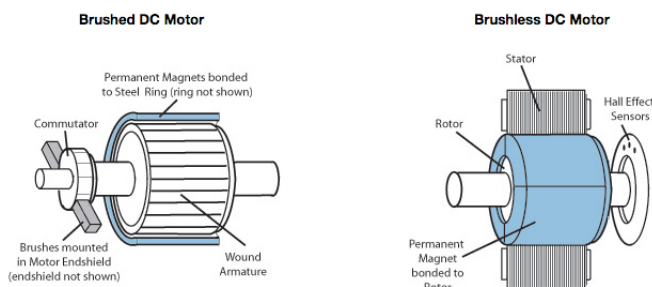


FIGURA 2.4: Comparació dels BDC i BLDC motors [8]

### 2.3.6.2 Motors de corrent altern

Els motors de corrent altern tenen com a principi de funcionament la producció mitjançant el rotor i l'estator, d'un camp magnètic giratori. Depenent de la manera com es causa aquest camp magnètic, existeixen diferents tipus de motors de corrent altern. Els tres més importants són els síncrons, els motors d'inducció (també anomenats universals o asíncrons) i els de reluctància commutada.

Al contrari que els motors de corrent continu, els de corrent altern generalment no necessiten un manteniment tan elevat i són més barats. A més a més, la velocitat

no està tan limitada com en el cas anterior, i poden operar en un rang major de velocitats.

- a) **Permanent Magnet Synchronous Machine.** Els motors síncrons tenen la característica que tant el camp magnètic del rotor com el de l'estator roten a la mateixa velocitat. El principi de funcionament d'aquests tipus de motors és el *alignment torque*, que es produeix quan dos camps magnètics es troben, de manera que es produeix un parell que tendeixin a alinear-se.

Els avantatges més rellevants són els següents: alta densitat de potència, alt rati de parell-corrent, són compactes, tenen una eficiència elevada, produeixen poc soroll, són robusts i tenen una elevada fiabilitat.

No obstant, necessiten fer ús d'un controlador del parell.

Finalment, els imants permanent poden estar muntats dins o fora del rotor, tal com es mostra a la [Figura 2.5](#)

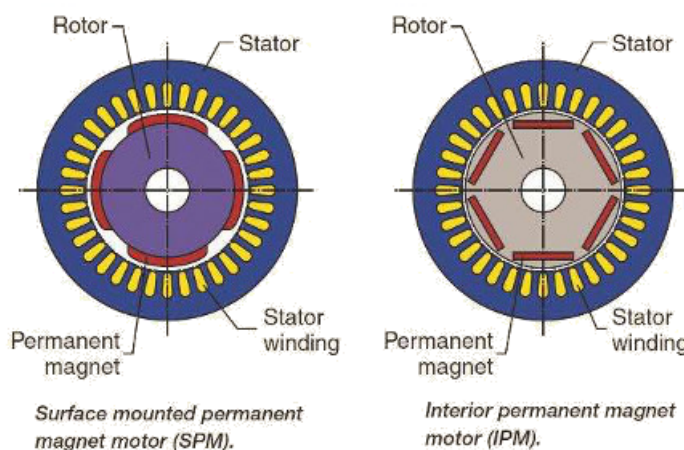


FIGURA 2.5: Esquema d'un motor síncron d'imants permanents [9]

- b) **Switched Reluctance Machine.** Els motors de reluctància commutada<sup>3</sup> tenen com a principi de funcionament el *variable reluctance torque*, on el moviment és provocat per la reluctància<sup>4</sup> que hi ha en el salt d'aire existent entre el

<sup>3</sup>Informació extreta de [7].

<sup>4</sup>La reluctància magnètica és un concepte anàleg a la resistència en un circuit elèctric.

rotor i l'estator, que fa que el rotor tendeixi sempre a la posició de menys reluc-tància i roti en direcció a la posició d'equilibri. Una característica a destacar és que el rotor té pols salients per augmentar aquest parell de reluctància.

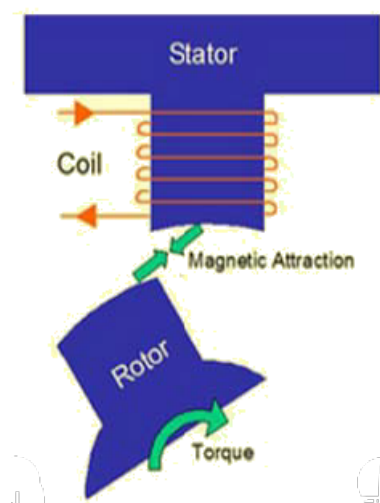


FIGURA 2.6: Esquema del *Reluctance torque* [7]

Aquests motors tenen una simplicitat mecànica que provoca que siguin els més simples des del caire constructiu, fet que implica que tinguin un cost baix. A part, tenen un alt rang de velocitats, estan commutats electrònicament i tenen la capacitat de tolerar fallades.

Per altra banda, el fet de tenir saliència produeix unes característiques magnè-tiques no lineals, que fan que siguin un tipus de motors difícils de controlar. A més a més, produeixen soroll i una ondulació de parell.



FIGURA 2.7: Estructura del motor de reluc-tància commutada [7]

c) **Induction Motor.** En els motors d'inducció<sup>5</sup> o asíncrons, els electroimants estan acoblats a l'estator, produint el camp magnètic. Dins de l'estator, hi ha un eix metàl·lic capaç de conduir electricitat. En comptes d'enviar la potència al rotor com en el cas dels motors de corrent continu, aquest tipus de motors envien el corrent a l'estator, on els bobinats s'exciten per parelles, de manera que es produeix un camp magnètic que rota als afores del motor.

Són un tipus de motors molt simples, ja que tan sols compten amb un element rotatiu, fet que augmenta la seva durabilitat i disminueix el seu cost. A més a més, en no tenir escombretes, no produeixen soroll.

D'altra banda, un inconvenient molt important és que no tenen la capacitat de rebre el corrent a partir de bateries o alguna altra font de corrent continu, com puguin ser unes plaques solars, sense fer ús d'un inversor, ja que necessiten un camp magnètic canviant per fer girar el rotor.

Segons la construcció del rotor, aquest pot rebre dos noms: *rotor de gàbia d'esquirol* o *rotor bobinat*. Ambdós es representen en la [Figura 2.8](#), on la figura a) correspon a un rotor bobinat, i la b) a un rotor de gàbia d'esquirol.

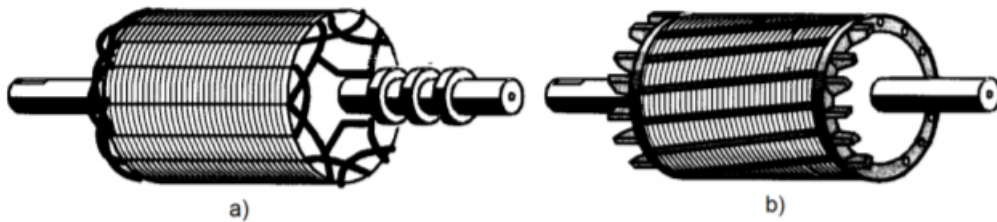


FIGURA 2.8: Tipus de rotors d'un motor asíncron [10]

---

<sup>5</sup>Informació extreta de [58].

A continuació, un cop finalitzat l'estudi de tots els tipus de motors elèctrics del mercat, es durà a terme la tria tenint en compte l'eficiència, l'experiència en electromobilitat, el pes, el cost i la simplicitat en la fabricació.

En primer lloc, com s'ha explicat anteriorment, els BLDC són eficients, duradors i produeixen poc soroll. No obstant, els PMSM ofereixen tots aquests avantatges afegint-hi una major eficiència i encara un nivell de soroll més baix.

D'altra banda, constructivament, els més simples són els SRM, fet que desembarcarà a que siguin també els més barats.

A continuació, agafant la informació extreta de [59] com a referència, s'analitzaran els motors des del punt de vista de les aplicacions que solen tenir en l'automoció.

Actualment, els motors de corrent continu amb escombretes tenen, en general, quatre aplicacions destacades.

- i) **Sistemes electrònics de direcció.** La seva durabilitat i la capacitat que té de treballar en un rang d'altres velocitats, fa que sigui el motor elegit pel control de la direcció. Un BLDC amb un sensor és capaç de detectar la posició del rotor i aplicar un parell per conduir la direcció de la roda.
- ii) **Sistemes de ventilació, calefacció i aire acondicionat.** En la majoria de casos, s'utilitza un BLDC controlat per un PWM, que el fa més fiable, eficient i respectuós amb el medi ambient.
- iii) **Tren de tracció dels vehicles elèctric-híbrids.** Un gran nombre de vehicles híbrids tenen integrats controladors amb motors de corrent continu amb escombretes per conduir el tren de tracció. El motiu més rellevant és el pic d'eficiència i la simplicitat del sistema de refrigeració del rotor.
- iv) **Frenada regenerativa.** Consisteix en carregar la bateria durant les frenades del vehicle. Els imants permanents i el parell extern treballen conjuntament com a generador per carregar la bateria.

Canviant als motors síncrons d'imants permanents, també tenint en consideració la informació extreta de [59], s'observen dues aplicacions principals:

- i) **Servomecanismes en automòbils.** Els servomecanismes consisteixen en un conjunt de motors i controladors que produeixen un moviment amplificat en referència a l'*input* que reben. Per exemple, amplifiquen la força de frenada que provoca que el conductor apliqui una força en el pedal del fre.
- ii) **Tren de tracció dels vehicles elèctrics.** Amb l'excepció d'alguns vehicles elèctrics que utilitzen BLDC, la majoria dels fabricants es decideixen a la utilització de motors de corrent altern per al tren de tracció de vehicles elèctrics. I l'opció preferida dels fabricants són els motors síncrons d'imants permanents.

D'altra banda, els motors de reluctància commutada, segons la informació extreta de [60] no han estat comercialitzats a gran escala per a la tracció automobilística, si bé ha aparegut algun excepció com pugui ser el disseny del *Ricardo RapidSR*, de 85 kW de potència. Per tant, que no hagin estat comercialitzats significa que la tecnologia no és suficient o que no aporten tants avantatges com els BLDC o els PMSM.

D'aquesta manera, queda clar que el motor síncron d'imants permanents aporta les mateixes característiques que el BLDC, que afegit al major rendiment, menor soroll i, sobretot, a l'experiència en vehicles elèctrics, fa que siguin els més adients per a complir les expectatives de la millor manera possible, tot i l'augment de cost que podria significar. En conclusió, **s'implementarà un motor síncron d'imants permanents.**

### 2.3.7 Tipus de tracció

Abans de continuar amb el dimensionat del motor, cal fer una distinció entre els tipus de tracció que hi ha per saber quina serà la que ajudarà a assolir els objectius marcats.

En primer lloc, hi ha la tracció 4x2, que es caracteritza perquè dues de les quatre rodes són motrius. Segons [61], aquest tipus de tracció és habitual en alguns vehicles *SUV* i *crossover*. Es divideixen en:

- a) **Tracció davantera.** En aquest cas, les dues rodes de davant són les motrius. Els principals avantatges són el fàcil control que proporciona i el menor manteniment que es requereix. També, poden fer que la cabina sigui més espaiosa, per la no necessitat d'un eix de transmissió. No obstant, les rodes de davant sofreixen un major desgast i es podria produir l'efecte de subviratge, però a causa de les baixes velocitats del rover, aquest inconvenient no es té en compte.
- b) **Tracció posterior.** Les rodes motrius són les posteriors. Aquesta configuració permet una major càrrega al darrere, ja que es reparteix el pes d'una manera més equitativa. No obstant, aquest tipus de tracció s'utilitza tan sols en vehicles esportius, en condicions d'operació òptimes, com puguin ser circuits de competició.

D'altra banda, existeix la **tracció 4x4**, o també anomenada **tracció total**. Aquesta es caracteritza per la motricitat de les quatre rodes, que fa que el vehicle sigui capaç de sortir de superfícies complicades o que presentin condicions d'adherència baixes.

Els vehicles amb aquest tipus de tracció constitueixen els vehicles més segurs i recomanables per al trànsit per vies no asfaltades o amb condicions meteorològiques adverses. A més a més, la seva robustesa és màxima. En canvi, alguns inconvenients són la menor eficiència durant la frenada que experimenten i el seu increment en el pes.

D'aquesta manera, un cop estudiats els tipus de tracció queda demostrat que **la millor opció per al rover és la tracció total**.

### 2.3.8 Dimensionat del motor

Un cop s'ha elegit el tipus de motor que s'implementarà i s'han presentat totes les forces que jugaran un paper dins el dimensionat del sistema propulsiu, es procedirà a estimar el motor síncron d'imants permanents que millor encaixi.

Primerament, es farà una estimació inicial de la potència del motor necessària, fent ús de la següent fórmula<sup>6</sup>:

---

<sup>6</sup>Fórmula extreta de [55]



$$P_{m-acc} = \frac{1.05 \cdot m}{2 \cdot t_a} (v_f^2 + v_b^2) + \frac{2}{3} \cdot \mu_f \cdot m \cdot g \cdot v_f + \frac{1}{5} \cdot \rho \cdot S \cdot C_d \cdot v_f^3 \quad (2.11)$$

On la velocitat final i la velocitat base, en aquest cas són la mateixa, amb un valor voltant els 15 km/h. El temps d'acceleració s'ha considerat de 10 segons, que és un temps bastant assumible per assolir la velocitat final establerta.

Substituint valors, s'obté una potència de 8580.90 W. Dividint entre l'eficiència del motor, que estarà entre el 90% i el 95%, s'aconsegueix un valor aproximat de **10 kW**.

A continuació, es procedirà de la mateixa manera que a [7], i s'intentarà resoldre l'equació de la força total, on la força produïda pel parell del motor haurà de superar la suma de les forces explicades anteriorment per aconseguir accelerar el vehicle.

$$\frac{T \cdot G \cdot \eta_g}{r_t} - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \psi - m \cdot g \cdot \sin \psi - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_d \cdot v^2 = 1.05 \cdot m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2.12)$$

El procés és iteratiu, per això es representarà l'equació (2.12) en un diagrama de blocs de *Simulink*, on el valor d'interès és l'acceleració.

Quan s'aïlla l'acceleració, s'obté el següent diagrama de blocs:

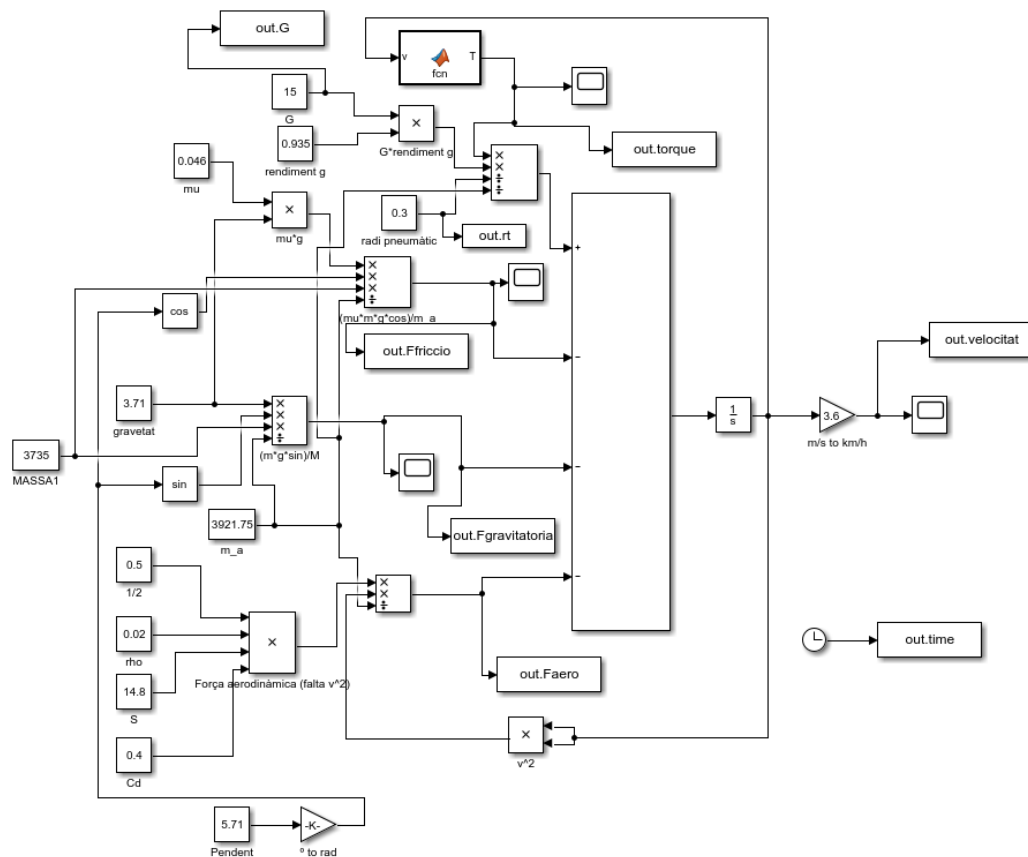


FIGURA 2.9: Diagrama de blocs de l'esforç tractor

La part central del diagrama correspon a un operador que emula l'equació de la dinàmica del vehicle, proporcionada per l'Equació 2.12. Té quatre entrades, la força del motor elèctric, la força de fricció, la força gravitatòria i la força aerodinàmica. Cal fer esment en què la força aerodinàmica té una realimentació de la velocitat, ja que, com que aquesta no és constant durant tot el moviment, la força aerodinàmica tampoc ho podrà ser. D'aquesta manera, s'anirà actualitzant i donant realisme a la fórmula.

En referència a la funció del parell amb la velocitat, cal destacar que es pot trobar a Apèndix A i té com a objectiu representar el parell que pot donar el motor abans i després d'assolir la velocitat base del vehicle.

D'altra banda, a la part inferior esquerra es troba el valor de l'angle de pendent màxim, estimat a la Subsecció 2.3.2.

Pel que fa als resultats, la corba característica de parell-velocitat d'aquests tipus de motors té la següent forma:

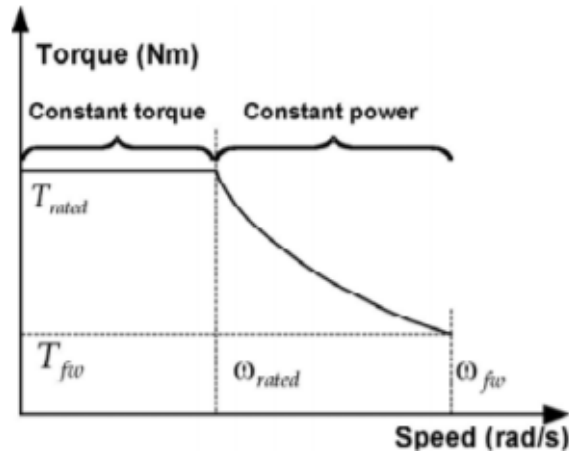


FIGURA 2.10: Representació teòrica de la corba parell-velocitat [11]

On existeix una diferència clara entre la regió de parell constant i la de potència constant. A més a més, el punt de transició entre ambdues regions correspon a la velocitat base del vehicle.

A continuació, s'ha de fer una cerca de motors síncrons d'imants permanents que tinguin com a objectiu la tracció de vehicles elèctrics, per tal que el resultat sigui el més exacte possible i l'estudi esdevingui precís. Després d'una exhaustiva cerca, [11] proveeix un motor que, a priori, encaixa en els requeriments desitjats.

Després d'iterar amb la relació de transmissió, s'ha trobat el valor ideal amb el qual la *performance* del rover és òptima. Aquest valor és  $G=15$ . Cal fer menció a que aquest elevat valor de la relació de transmissió és un valor lògic i coherent en el cas d'un motor elèctric, ja que aquests tipus de motors giren a moltes més revolucions que els motors convencionals de benzina o dièsel. Amb aquesta relació, la *performance* obtinguda és la següent:

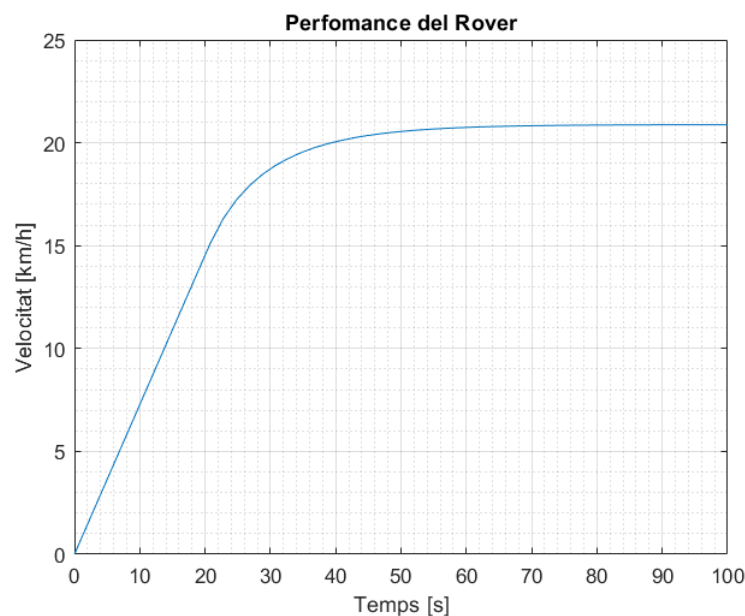


FIGURA 2.11: Representació de la velocitat en funció del temps del Rover

Com es pot observar en el gràfic, la velocitat final està per sobre dels 20 km/h, concretament amb un valor de 20.88 km/h. No obstant, amb aquesta relació de transmissió, el vehicle adquireix una velocitat aproximada de 7 km/h als 10 segons. Si es volgués canviar la velocitat màxima per tal de reduir-la dins els paràmetres fixats prèviament (al voltant dels 15 km/h), la velocitat augmentaria molt lentament i esdevindria un vehicle poc útil. D'aquesta manera s'ha aconseguit el balanç entre acceleració i velocitat màxima. A més, cal destacar que la velocitat màxima major que 15 km/h, implica que el vehicle podrà superar encara amb més facilitat els obstacles prevists inicialment i, fins i tot, superar-ne algun més.

D'altra banda, el gràfic del parell en funció de la velocitat és el següent:

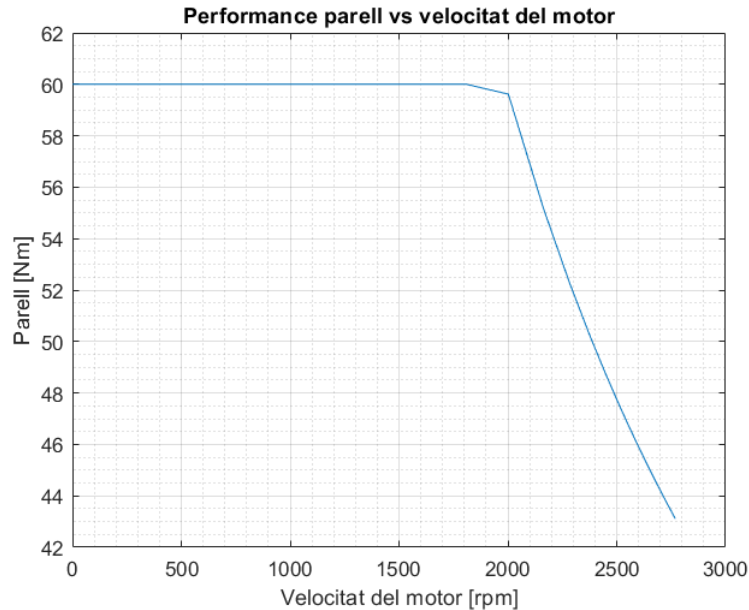


FIGURA 2.12: Representació del parell en funció de la velocitat angular del motor

Com s'observa en el gràfic, la corba obtinguda té la forma característica d'aquests tipus de motors, i que correspon clarament amb la [Figura 2.10](#).

A més a més, a la fitxa tècnica del motor s'observa que la velocitat de gir del mateix està sobre les 1500 revolucions per minut. Per tal de comprovar que la implementació del motor en el vehicle correspon a un correcte funcionament seu, es relacionarà la velocitat de gir del motor amb la velocitat del vehicle, fent ús de la següent fórmula:

$$n = v \cdot \frac{30}{\pi} \cdot \frac{G}{r_t} \quad (2.13)$$

Substituint els valors de la relació de transmissió i del radi de la roda, així com el de la velocitat del vehicle, s'obté una **velocitat de gir del motor de 1989 revolucions per minut**. Encara que aquest valor sigui lleugerament superior al proveït pel paper del motor (1500 rpm), la diferència no és molt significant, de manera que es considera que el motor encaixa en les prestacions del vehicle.

A més a més, el material del motor és acer elèctric processat i no orientat, en concret el **M800-65A**.

Finalment, s'adjunta una taula amb les principals característiques del motor elegit:

Característiques nominals	Valor
Parell [Nm]	60
Velocitat de gir [rpm]	1500
Voltatge [V]	48
CPSR	2.5 - 3

TAULA 2.2: Característiques nominals del motor escollit

Característiques geomètriques	Valor
Diàmetre exterior de l'estator [mm]	188
Diàmetre interior de l'estator [mm]	110
Nombre de ranures	36
Amplada de dents [mm]	4.8
Obertura de ranura [mm]	$2.75 \pm 0.01$
Dors d'estator [mm]	18.5
Altura de ranura [mm]	20.5
Àrea de ranura [mm <sup>2</sup> ]	106
Espessor de revestiment de ranura [mm]	0.3

TAULA 2.3: Característiques geomètriques del motor escollit

### 2.3.9 Estimació del pes del motor

Com que a [11] no es proveeix d'informació sobre el pes el motor, aquest serà estimat mitjançant la cerca i comparació d'altres motors síncrons d'imants permanents de característiques similars, ja siguin pensats per a la tracció de vehicles o no.

En primer lloc, a [62] l'empresa eslovena *Piktronik* té un motor síncron d'imants permanents de 10 kW de potència, que gira a 1200 revolucions per minut, amb un parell de 80 Nm i un voltatge de 30 V, que pesa 45 kg.

A continuació, l'empresa *Bonfiglioli* a [63] mostra un recull de tots els seus motors síncrons d'imants permanents. En concret el BMD 170 de 45 Nm, encara que la seva finalitat estaria lligada a l'ús industrial i no a la tracció de vehicles, és el que s'assembla més al motor elegit per al rover. Aquest motor té un voltatge molt elevat de 400 V, una velocitat de gir de 1600 revolucions per minut, i un pes de 30 kg.

Per tant, es pot concloure que el pes dels motors síncrons d'imants permanents estan dins aquest rang, de manera que es fa una estimació entre ambdós i **el pes del motor s'estima al voltant dels 37.5 kg.**

### 2.3.10 Dimensionat de les bateries

A continuació, un cop justificada la tria del motor, s'ha de fer una cerca de les bateries que es troben en el mercat que complementin de la millor manera possible el motor escollit i aportin la màxima autonomia possible al rover.

Primerament, s'han d'estudiar les característiques de cada un dels tipus de bateries existents. Les característiques principals de les bateries són les següents:

- a) **Densitat energètica.** Identifica l'energia que s'emmagatzema i subministra la bateria en kilowatts per hora. A major densitat, major autonomia.
- b) **Capacitat.** Correspon a la quantitat d'amperes per hora que pot subministrar o acceptar una bateria.
- c) **Potència.** És la capacitat de proporcionar potència en el procés de descàrrega. A major potència, majors prestacions del vehicle.
- d) **Eficiència.** Correspon a la relació entre l'energia emprada per a la càrrega de la bateria i l'energia realment emmagatzemada. A menor eficiència, major necessitat de panells per a realitzar la càrrega.
- e) **Cicle de vida.** Són els cicles complets de càrrega i descàrrega que suporta una bateria durant la seva vida útil. A major nombre de cicles, major durabilitat.

A continuació es recull la informació obtinguda de [64], que resumeix les prestacions de cada tipus de bateria:

	Avantatges	Desavantatges	Característiques
<b>Plom-àcid</b>	Baix cost Bona resposta en fred	Pes elevat Toxicitat del plom Capacitat de recàrrega lenta Manteniment periòdic	Cicle de vida entre 500-800 cicles Baixa densitat (30-40 Wh/kg)
<b>Níquel-Cadmi</b>	Major fiabilitat que Plom-àcid Reciclabilitat total	Elevat cost d'adquisició Efecte memòria Contaminant Envelliment prematur per calor	Cicle de vida entre 1500-2000 cicles Densitat mitjana (40-60 Wh/kg) Manteniment específic
<b>Níquel-Hidrur Metàl·lic</b>	Reducció efecte memòria Eliminació del cadmi	Menor fiabilitat que les Níquel-Cadmi No suporten fortes descàrregues Menor resistència a elevades temperatures Menor resistència a elevats corrents de càrrega Manteniment elevat	Cicle de vida entre 300-500 cicles Densitat entre 30-80 Wh/kg
<b>Ió-Liti</b>	Alta densitat energètica Menor tamany i pes lleuger Alta eficiència No tenen efecte memòria Manteniment nul	Elevat cost de producció Fragilitat Necessitat d'un circuit de seguretat Emmagatzematge amb cura	Cicle de vida entre 400-1200 cicles Elevada densitat (100-250 Wh/kg)
<b>Ió-Liti amb LiFePO<sub>4</sub></b>	Seguretat Estabilitat Potència Manteniment nul	Menor densitat energètica Major cost	Cicle de vida 2000 cicles Densitat (90-100 Wh/kg)
<b>Polímer de Liti</b>	Lleugeresa Eficiència elevada Manteniment nul	Elevat cost Cicle de vida curt	Cicle de vida per sota de 1000 cicles Densitat elevada (300 Wh/kg)

TAULA 2.4: Comparativa entre els diferents tipus de bateries

Tenint en compte les característiques de cada tipus de bateria i fent un balanç entre els seus avantatges i els seus inconvenients, el **tipus de bateries que s'implementaran són les de ió-liti**.

En aquest aspecte, les bateries seran les que determinin l'autonomia final del vehicle, de manera que abans de fixar una bateria s'haurà de fixar l'autonomia del vehicle. Tenint en compte que en cas d'emergència el rover ha de ser capaç d'arribar al laboratori fixe, **l'autonomia hauria de rondar les 3-4 hores**. D'aquesta manera, si hi ha algun contratemps, els astronautes es podran dirigir a la base per tal de resguardar-se i intentar solventar-lo.

En relació a la tria de bateries, primerament cal fer menció a les bateries que formen els *Mild Hybrid Vehicles*, o també anomenats vehicles híbrids suaus. Tal i com explica [65], aquests vehicles estan formats per un motor de combustió interna, que està ajudat per un motor elèctric alimentat per una bateria de 48 V, proporcionant així uns 12 kW més de potència al motor de combustió.



A més a més, en comparació amb els híbrids d'alt voltatge, els de 48 V resulten més senzills a nivell tècnic i de funcionament, fet que provoca que siguin més assequibles. D'altra banda, aquest sistema no requereix un aïllament elèctric tan complet com els híbrids d'alta tensió.

Encara que en aquests tipus de vehicles la bateria de 48 V tan sols serveix com un extra al motor de combustió i no té la capacitat de funcionar per ella tota sola a causa de l'elevada potència requerida, sí que es considera que es pot implementar per a funcionar de manera independent en el rover marcià, ja que la potència calculada del motor és de 10 kW. D'aquesta manera, **s'agafarà la bateria de 48 V de la marca Bosch**, composta per 12 cèl·lules de ió de liti.

Les dades tècniques de la bateria, proporcionades per [12], es resumeixen a la següent taula:

Característiques	Valor
Pes [kg]	6
Voltatge [V]	48
Capacitat [Ah]	8
Potència en càrrega [kW]	14
Potència en descàrrega [kW]	11
Altura [mm]	90

TAULA 2.5: Característiques de la bateria Bosch de 48 V

Tal com es presenta a la taula anterior, la bateria té una altura de tan sols 90 mm, fet que facilita molt la seva integració en els sistemes propulsius dels cotxes híbrids, com es pot comprovar a la següent imatge:

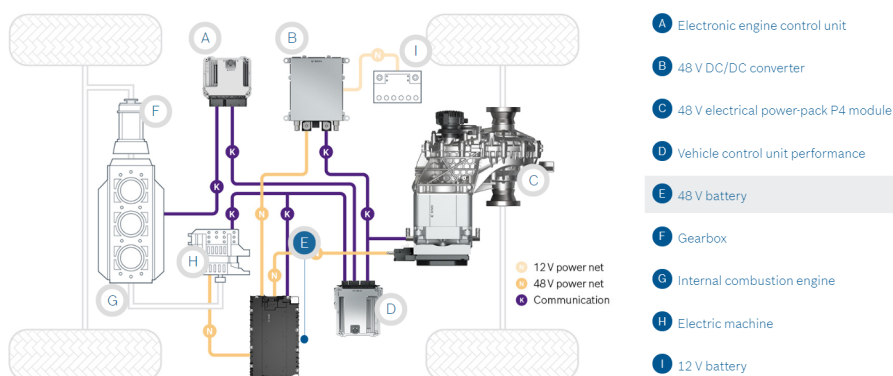


FIGURA 2.13: Esquema de la integració flexible de la bateria de 48 V [12]

Com es pot observar a l'esquema dels MHEV, hi ha un convertidor DC-DC, que s'encarrega de convertir el corrent continu de 48 V a 12 V i viceversa, per una banda per alimentar el motor i per altra alimentar el sistema elèctric del vehicle. També, les unitats de control es fan presents per controlar la *performance* del vehicle.

De manera anàloga a la [Figura 2.13](#), l'esquema del rover tindrà una bateria de 12 V que s'encarregarà d'alimentar el sistema elèctric, un convertidor DC-DC, el motor elèctric, la caixa d'engranatges amb la relació de transmissió calculada a la [Subsecció 2.3.8](#), juntament amb les dues unitats de control. A més a més, un inversor de corrent continu a corrent altern serà imprescindible, ja que el motor funciona amb corrent altern. Finalment, el convertidor també funcionaria per adaptar el corrent continu produït per les plaques solars.

### 2.3.11 Estimació del pes de les bateries

En aquest cas, com que el pes de la bateria que s'implementarà ve donat pel fabricant, no hi ha necessitat de fer cap estimació ni càlcul addicional. El que sí que cal destacar és el fet d'incorporar dues bateries de 48 V i dues de 12 V, per tal de si alguna de les dues es fa malbé, tenir una *back-up* per poder seguir navegant.

Per tant, les dues bateries de major voltatge tindrien un pes de 12 kg, i les bateries de 12 V convencionals tenen un pes voltant els 20 kg, que farien un **pes total de 52 kg**.

### 2.3.12 Càrrega mitjançant panells solars

Com a requeriment del projecte, està fixat que la càrrega de les bateries ha de dur-se a terme mitjançant l'ús de panells solars.

D'acord amb [\[66\]](#) ha dos tipus de panells solars:

- a) **Monocrystal·lins**, que proveeixen una alta eficiència, encara que el seu cost també és més elevat. També, ofereixen millor resposta davant elevades temperatures o en entorns amb menys lluminositat.

- b) **Policristal·lins**, que tenen una eficiència menor, juntament amb el cost i la resposta davant elevades temperatures.

Per aquests motius, **els panells que s'implementaran seran de tipus monocristal·lí**.

Un altre punt que s'ha de valorar és la ubicació d'aquests panells, ja que com s'ha observat al Lunar Rover de la JAXA, la malla solar és plegable i està situada a un lateral del rover. D'altra banda, el NMR de la NASA té les plaques situades entre el sostre i un lateral.

En aquest aspecte, el que es creu que serà més eficient és **la ubicació dels panells al sostre del rover**, de manera que no seran plegables com el rover lunar. La següent figura mostra de manera aproximada el que s'implementarà:



FIGURA 2.14: Representació de les plaques solars en el sostre del vehicle [13]

Finalment, el nombre de panells que s'han d'instal·lar depèn del tamany de les bateries. Com que el tamany d'aquestes no és excessivament elevat i la potència de càrrega és de 14 kW, es considera una opció viable.

## 2.4 Disseny de les rodes

### 2.4.1 Tipus de rodes

Pel que fa a les rodes i als pneumàtics, s'ha de fer una àmplia recerca entre els diferents tipus que existeixen en el mercat per així poder dur a terme una comparativa entre ells i, si cal, elaborar una matriu de decisió per elegir el tipus que

encaixi millor pel disseny del vehicle. Cal destacar que en un entorn com Mart, és de vital importància que la roda sigui molt resistent, si no indestructible, ja que no es podria enviar cap tipus de material en un període curt de temps i, en cas que s'hagués de reparar alguna cosa, ho haurien de fer els propis astronautes, per la qual cosa el material a utilitzar estaria limitat. En cas que no fos factible fer-la d'un material altament resistent, s'hauria de buscar algun tipus de roda que es pogués muntar per diferents seccions, ja que d'aquesta manera, si una secció es fa malbé, es podria reparar tan sols aquesta i no la roda íntegrament. A continuació, s'estudiaran els diferents tipus de rodes que hi ha actualment en el mercat, establint així els seus avantatges i desavantatges, i comparant-les entre elles per tal de trobar la millor solució en termes de resistència, adaptació al terreny i cost.

En primer lloc, les **rodes convencionals** estan formades per un pneumàtic amb una càmera d'aire ubicada en el seu interior. Una característica significativa d'aquests tipus de pneumàtics és el dibuix que hi apareix, que té diferents funcions. La primera consisteix en l'evacuació d'aigua en cas de pluja, per tal que el vehicle no pateixi *aquaplaning*, un fenomen produït per l'acumulació d'aigua de pluja, que fa que es perdi el control del vehicle. També, el dibuix dels pneumàtics serveix per adherir-se millor a la superfície en cas d'anar a altes velocitats. A part de la forma del dibuix, que pot ser simètrica, asimètrica o direccional, destaca la influència que té la profunditat del mateix en el comportament final del vehicle, ja que pot produir un desgast elevat si no s'utilitza un pneumàtic amb un dibuix concret en la seva situació ideal. Aquest tipus de roda comporta diversos desavantatges que farien impossible la seva utilització per al vehicle en un entorn com Mart, ja que, en tenir càmera d'aire, si pateix alguna mena de punxada, la reparació seria un procés poc factible per les raons que s'han exposat anteriorment. Per altra banda, el dibuix tampoc no podria desenvolupar les seves dues funcions principals. En el cas de l'evacuació d'aigua, el sòl marcià destaca principalment per ser un terra sec; i en el cas de l'adherència al terra a altes velocitats, el concepte del vehicle està pensat per anar a uns 15 km/h aproximadament.

Seguidament, les **rodes amb pneumàtics *tubeless*** es caracteritzen precisament per l'absència d'una càmera d'aire interior, per tant, la pressió depèn de l'estancament del sistema llanta-coberta. Aquesta característica provoca que sigui menys vulnerable a punxades, ja que redueix al màxim la probabilitat del pessig entre la

roda i la llanta, fet que provoca un gran percentatge de punxades en els pneumàtics convencionals. Un altre avantatge<sup>7</sup> d'aquest tipus de roda és la possibilitat que ofereix de poder ser utilitzada a una menor pressió que les convencionals, fet que seria molt útil en cas que el vehicle es quedàs estancat en una duna o en algun tipus de terreny arenós. Per poder sortir d'aquestes situacions, el que es fa es desinflar la roda per tal que augmenti la seva secció i la pressió que fa el vehicle sobre el terra es reparteix millor. A més a més, la utilització d'aquestes rodes faria possible l'ús de líquids segellants en cas de punxada. L'ús d'aquests líquids podria ser útil a curt termini en cas que el vehicle es trobàs lluny de la base, però finalment s'hauria de reemplaçar la roda. També, com que l'aire es troba directament dins el pneumàtic, es reparteix més uniformement, fet que aporta una major estabilitat en la conducció. Finalment, l'últim avantatge es correspon amb la reducció significativa del pes de la roda, causat per l'absència de càmera d'aire. Aquesta disminució de pes també comporta una disminució del fregament intern de la roda. Contràriament, cal destacar que aquest tipus de rodes són més difícils de reparar. Com que és un dels requeriments més importants, si no el que més, les rodes *tubeless* seran descartades.

A continuació, es troben les **rodes *run flat***<sup>8</sup> o **anti-punxades**, que estan formades per uns pneumàtics reforçats, que suporten el pes del vehicle en cas que estiguin danyats. Aquests pneumàtics permeten la circulació de fins a 80 km a una velocitat màxima de 80 km/h en cas de punxada, valors que són més que suficients per al cas del vehicle a Mart. A més a més, s'han de muntar en un vehicle equipat amb un sistema de control de la pressió dels pneumàtics, que complicaria una mica l'electrònica del vehicle. Aquest sistema a la Terra posa en alerta el conductor quan es pateix una avaria i aquest disminueix la velocitat del vehicle sense necessitat de canviar la roda. En el cas de la circulació per Mart, no s'hauria de disminuir la velocitat, ja que no s'assoleixen els 80 km/h, però sí que seria útil per poder arribar a la base. No obstant, la roda hauria de ser canviada. L'estructura d'aquestes rodes és la següent:

- Un suport interior o una carcassa més resistent que pugui recolzar-se a la banda de rodament quan el pneumàtic estigui falt de pressió.

---

<sup>7</sup>Informació extreta de [67].

<sup>8</sup>Informació extreta de [68].

- Uns flancs reforçats que limiten la deformació i mantenen la llanta protegida durant la pèrdua de pressió.
- Materials de reforç resistents a altes temperatures que generaran fricció a les gomes.
- Un anell de subjecció que farà que el pneumàtic no es desprengui de la llanta en cas de pèrdua de pressió.

En comparació a les rodes convencionals, ofereixen en general majors prestacions, però la duresa de les rodes *run flat* fa que els usuaris acusin més les vibracions, fet que esdevé un desavantatge per quan es circuli per terreny rocós. Un avantatge important, és la no necessitat de portar una roda de recanvi, fet que disminuiria mínimament el pes del vehicle i augmentaria l'espai disponible. No obstant, la necessitat de reparació d'aquestes rodes faria inviable la seva utilització.

A l'estudi també apareixen les rodes amb **pneumàtics recautxutats** o amb **pneumàtics ecològics**, però no s'obtidrien els beneficis suficients com per optar per ells com una opció real. Pel que fa als recautxutats, són una espècie de pneumàtic reciclats, on es canvia la banda de rodament desgastada per una nova de cautxú. Segons un estudi de la Universitat Miguel Hernández d'Elx, aquests pneumàtics comportarien una reducció dels costos, ja que són més econòmics que uns pneumàtics nous, i serien més respectuosos amb el medi ambient, tal i com es reflecteix a [69]. No obstant, no podrien suportar tanta càrrega com els pneumàtics convencionals i aguantarien menys quilometratge. En referència als ecològics, encara que suposarien un benefici pel medi ambient, aconseguit per la utilització de materials no derivats del petroli en la fabricació dels pneumàtics, es considera que no estan prou avançats com per fer-se'n ús actualment, ja que hi ha diversos estudis en marxa, com per exemple el de la utilització d'algues per a la fabricació de les cobertes, segons [70].

Un altre concepte interessant que mereix una menció especial són les rodes que ha dissenyat l'empresa *Goodyear*, anomenades **Goodyear recharge**. Aquestes estan formades per un tipus de pneumàtic que, amb unes càpsules que contenen un líquid regenerador, esdevindrien un pneumàtic molt durador. Tal i com es mostra en el vídeo extret de [14], aquestes càpsules, també tenen la capacitat de poder

adaptar el pneumàtic al tipus de terreny en què circulen sense la necessitat de baixar del vehicle i canviar la roda, fet que suposaria un gran avantatge a l'hora de canviar els terrenys rocosos per les dunes arenoses, o viceversa. El material d'aquests pneumàtics es basa en un dels materials naturals més resistents del món, que és la seda d'aranya. D'aquesta manera, conformen un element 100% biodegradable, robust i de fàcil manteniment. Contràriament, l'abastiment de càpsules en un entorn com Mart comportaria un inconvenient important, ja que s'haurien de portar des de la Terra, i en cas que s'acabassin la roda perdria la seva adaptabilitat. També, es tracta actualment d'un disseny i no ha estat testejat en vehicles terrestres.

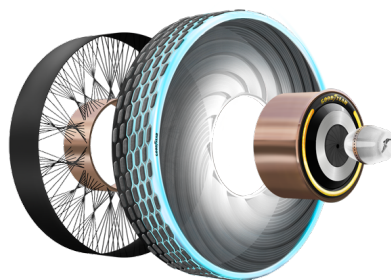


FIGURA 2.15: Esquema del pneumàtic Goodyear recharge [14]

La càpsula és l'element que es troba més a la dreta de la [Figura 2.15](#). Com es pot observar, és un component relativament petit en comparació a tota la roda, però essencial per les funcions especificades anteriorment. Encara que aquest concepte s'apropa a les característiques del tipus de roda que es vol implementar, l'inconvenient de l'abastiment de càpsules és suficientment gran com perquè hagin de ser descartades.

Els vehicles en general, tenen per objectiu optimitzar el pes per oferir una millor *performance*, però els vehicles elèctrics en particular, tenen aquest objectiu com un requeriment, per tal de poder oferir una major autonomia. És per aquest motiu, que actualment s'estan dedicant innumerables esforços en la recerca d'unes rodes sense aire o **rodes *airless***, que esdevindrien un canvi total del concepte de les rodes, i que ajudarien de manera significativa a la reducció de pes. També, la implementació d'aquest tipus de roda suposaria que no hi hagués punxades, pel que el manteniment seria mínim. A més a més, la no presència d'aire i la utilització de cautxú amb materials composts per resines i fibra de vidre, faria que

aquest tipus de rodes fossin ideals en terrenys irregulars com els de la superfície marciana. Actualment, hi ha moltes empreses de pneumàtics que tenen dissenys de rodes sense aire, com *Hankook* o *Michelin*.

Pel que fa a la companyia *Michelin*, la comercialització de les rodes Uptis està programada pel 2024. Per a la seva fabricació, segons informació extreta de la seva pàgina web, [15], l'empresa francesa fa ús de la tecnologia d'impressió 3D, per la qual cosa les rodes serien "recarregables" quan tinguessin algun desgast. Amb l'ús d'aquestes rodes es pretén reduir de manera significativa el manteniment periòdic, les revisions de pressió o també les revisions per danys. Uptis pretén ser la roda del futur, duradora i resistent, amb un disseny que s'adapta a tot tipus de superfície. A més a més, és biodegradable i, per tant, 100% sostenible.



FIGURA 2.16: Disseny de la roda sense aire Michelin Uptis [15]

En referència a la companyia *Hankook*, les característiques són similars a les de *Michelin*, però amb la diferència que està treballant amb quatre prototips, segons les necessitats de cada vehicle. El prototip que més s'apropa al concepte de vehicle que es vol fabricar, és l'anomenada *Hankook Exhilarating Adventure*<sup>9</sup>, una roda robusta, flexible i que funciona per blocs, depenent de la inclinació lateral i de la forma del terreny.

---

<sup>9</sup>Informació extreta de [16].





FIGURA 2.17: Disseny de la Hankook Exhilarating Adventure [16]

En canvi, la NASA està treballant en un concepte de rodes *airless*, però en comptes de fer ús de cautxú i materials composts, utilitzen un aliatge de níquel i titani com un material superelàstic, conegut com Nitinol. La superelasticitat és un concepte que descriu el grau d'elasticitat extrema que pot assolir. Aquest concepte de rodes s'anomena "rodes ressort", per la seva similitud a aquests elements. Segons es reporta a [71], el Nitinol és un material amb una gran memòria de forma, flexibilitat i durabilitat, i es considera un dels components fonamentals per a la implementació de les rodes flexibles i adaptables al terreny de tipus ressort, que seran utilitzades per a la futura exploració espacial. Els prototips originals de rodes ressort, tenen una vida útil relativament curta, però amb l'addició del Nitinol es millora significativament aquest inconvenient, fent que siguin una possibilitat real per a la construcció del *buggy* elèctric. Segons investigacions de la NASA<sup>10</sup>, aquest material pot "sofrir una tensió reversible significativa (de fins a un 10%), que permet que el pneumàtic resisteixi un ordre de magnitud de deformació més que les rodes no-pneumàtiques, abans de sotmetre's a deformació permanent". Això conclou en un avantatge sobre les rodes pneumàtiques sense aire explicades anteriorment. Un altre aspecte fonamental és la durabilitat. Tal i com es produeix en les rodes pneumàtiques *airless*, a mesura que es viatja sobre roques o alguns elements afilats, la roda és capaç de patir una deformació que evita danys permanents en ella. Per tant, aquesta manca de reparacions incrementa el seu cicle de vida i fa que sigui un material durador, fins i tot en un entorn agressiu com Mart. A més a més, en termes de sostenibilitat, la llarga duració del material comporta un menor

---

<sup>10</sup>Informació extreta de [17].

nivell de residus de Nitinol. Addicionalment, cal destacar que el potencial flexible d'aquest aliatge és regulable, si es canvia la seva forma i composició. Això permet les rodes deflactar-se més o menys, resultant en una major tracció depenent del terreny en què es troben. No obstant, el principal desavantatge que troba aquest material és el preu, causat per la complexitat en la fabricació.



FIGURA 2.18: Disseny de les rodes sense aire de la NASA [17]

Per altra banda, existeix un tipus de rodes capaces de moure's en qualsevol direcció, anomenades **rodes omnimove**. D'acord amb la informació obtinguda de [72], estan formades per rodets que es poden moure de manera independent, oferint així la possibilitat de poder pivotar 360°. Actualment, s'utilitzen en vehicles de càrrega, pel que poden suportar una gran quantitat de pes a sobre, oferint una gran precisió i són controlades remotament. Pel contrari, com que tan sols han estat utilitzades en un entorn ideal com el paviment interior de les fàbriques, és difícil pensar que podrien servir per circular per una superfície com la marciana, on els rodets perdrien la seva funcionalitat en no poder lliscar de la mateixa manera sobre roques o arena. Per tant, aquestes rodes queden descartades.

Finalment, el darrer tipus de rodes estudiades són les **rodes eruga**, que conformen els tancs de combat terrestres. La seva adaptabilitat a qualsevol terreny és innegable, ja que reparteixen el pes de tot el vehicle al llarg de tota la cinta, de manera que no s'enfonsen en terreny arenosos. No obstant, aquesta idea ha de ser descartada com a conseqüència del constant manteniment que han de tenir les cadenes, fent inviable la seva implementació en un vehicle operatiu a Mart. En addició, suposarien també un augment significatiu del pes del vehicle, quan precisament l'objectiu és reduir-lo.

## 2.4.2 Elecció de les rodes

Un cop exposats tots els tipus de rodes que hi ha en el mercat actual, el següent pas és triar les millors des del punt de vista de l'adaptabilitat, la resistència, la durabilitat, el cost i la sostenibilitat, així com també l'eficàcia en la reparació en cas que es produeixi algun dany.

Com s'ha explicat a la [Subsecció 2.4.1](#), tots els tipus de rodes amb aire, les *Goodyear recharge*, les rodes eruga i les rodes omnimove han estat descartades per les raons esmentades, de manera que el vehicle tindrà incorporades de manera definitiva **rodes sense aire**. Ara la qüestió resideix en si aquestes rodes han de ser pneumàtiques, com les fabricades per les companyies Hankook i Michelin, o de tipus ressort, com les implementades per la NASA.

Per dur a terme aquesta tria, es realitzarà una matriu de decisió, la qual mostrarà la millor opció en relació als criteris establerts prèviament. El pes de cada criteri està ponderat sobre 10, essent l'adaptabilitat el criteri amb més pes. En canvi, la puntuació màxima que es pot obtenir a cada criteri està ponderat sobre 5.

Cal destacar que els tres candidats a roda són encara prototips i per tant, la informació que hi ha al respecte pot variar fins que es treguin els models definitius. És per això que la OWA s'ha fet de manera més aproximada que si es disposés de les dades numèriques, encara que s'ha intentat seguir un criteri de precisió. A més a més, el cost no ha estat fixat per cap dels fabricants, de manera que se sap que en el model de Nitinol de la NASA aquest serà més elevat, però no se sap la relació que tindrà amb els altres dos models, de manera que no s'ha tingut en compte a l'hora de fer la matriu de decisió.

CRITERIS	Pes	Michelin Uptis		Hankook Exhilarating Adventure		NASA Nitinol	
		P	P*G	P	P*G	P	P*G
Adaptabilitat	10	4	40	4	40	5	50
Resistència	9	4.09	36.82	4.09	36.82	4.5	40.5
Durabilitat	9	3.5	31.5	3.5	31.5	4.75	42.75
Sostenibilitat	7	5	35	4	28	3	21
Reparació eficaç	7	2.5	17.5	3.75	26.25	1.25	8.75
SUM (P*G)	42	160.818		162.568		163.000	
<b>OWA</b>		<b>1.276</b>		<b>1.290</b>		<b>1.294</b>	

TAULA 2.6: Matriu de decisió per a la selecció del tipus de roda

Primerament, les rodes de la NASA obtenen la major puntuació en l'apartat d'adaptabilitat, ja que han estat testejades en un entorn marcià artificial. No obstant, les altres dues obtenen també una puntuació alta com a conseqüència de la seva gran flexibilitat i capacitat per treballar sobre qualsevol superfície.

Seguidament, com es veu a la figura [Taula 2.6](#), les rodes construïdes amb Nitinol proporcionen un 10% més de resistència que les altres. En addició, aquestes rodes són gairebé indestructibles, per la qual cosa obtenen un valor tan elevat en l'apartat de resistència i durabilitat.

També, l'apartat de sostenibilitat reflecteix que el material utilitzat per les *Michelin Uptis* és 100% biodegradable, obtenint així la puntuació màxima. Pel que fa a les *Hankook Exhilarating Adventure*, estan compostes de poliuretà, un material amb poc impacte ambiental. Les de la NASA estan fetes d'un aliatge de níquel i titani, on l'impacte ambiental és lleugerament major, encara que la seva alta durabilitat disminueix els residus de nitinol.

Finalment, cal fer menció que en l'apartat de reparació eficaç es considera la pròpia reparació i també els materials que caldrien per dur-la a terme. En el cas de les *Michelin Uptis*, com que estan fabricades amb tecnologia d'impressió 3D, la reparació pròpiament dita és molt senzilla perquè tan sols caldria imprimir la part danyada, però no obstant no és factible dur una impressora 3D a Mart, pel seu volum i la seva fragilitat a l'hora del transport. No obstant, les de l'empresa *Hankook* es poden reparar per blocs, de manera que tan sols es substituirien els blocs danyats i tan sols caldria tenir blocs separats, que ocuparien poc espai i serien

fàcilment transportables. Les de la NASA, com que no s'espera que pateixin cap tipus de trencament, són difícilment reparables.

Per tant, un cop feta la OWA s'obté que la millor opció en quant a rodes són les **rodes de Nitinol de la NASA**.

Finalment, cal destacar que el vehicle implementarà **quatre rodes** d'aquest tipus, tenint-ne una de recanvi per a possibles emergències.

## 2.5 Disseny de les suspensions

Un cop feta la tria de les rodes i sabent que aquestes s'adapten a la perfecció a qualsevol tipus de terreny, cal estudiar el sistema de suspensions, per tal que el vehicle esdevingui còmode, operable i més estable, i que no es faci malbé en passar per un terreny irregular.

Per això, s'estudiaran els diferents tipus de suspensions que existeixen, tenint en compte els seus avantatges i valorant els seus possibles inconvenients, per tal de fer una tria el més acurada possible de les suspensions que millor encaixin en el rover.

Per a dur a terme aquest estudi es tractarà la informació obtinguda de [19] i de [18].

### 2.5.1 Tipus de suspensions

Les suspensions tenen dos components principals: un ressort i un amortidor. El ressort, com a norma general, sol ser una fulla, una bobina o una barra de torsió i té com a funcions establir l'altura de maneig, suportar el pes del vehicle i absorbir el xoc quan el vehicle es troba en un terreny irregular o quan hi ha canvi de pes provocat per les diferents actuacions del mateix.

En primer lloc, es troben les **suspensions rígides**. Aquestes, són un dels tipus més antics que existeixen. El seu funcionament és el següent: es componen d'uns amortidors que van cargolats directament a la barra transversal del pont, que és

la que rep les modificacions de les suspensions provocades per les irregularitats del terreny. Actualment el seu ús està reservat per vehicles que operen en condicions *off-road*, ja que aquest tipus de suspensions eleva molt el vehicle i protegeix el xassís del terra en pujades pronunciades. També, destaca per la seva simplicitat. No obstant, també s'han de considerar els inconvenients que suposa, ja que no aporten un nivell alt d'estabilitat. A més a més, com que les suspensions són rígides, el vehicle s'inclina de la mateixa manera que ho fa el terreny, el que a la llarga pot suposar un potencial accident. Finalment, resulta perillós en vehicles terrestres de gran potència, a l'hora de girar, ja que es produeix sobre-viratge. No obstant, aquest inconvenient no afecta al rover, tenint en compte les seves baixes velocitats d'operació.

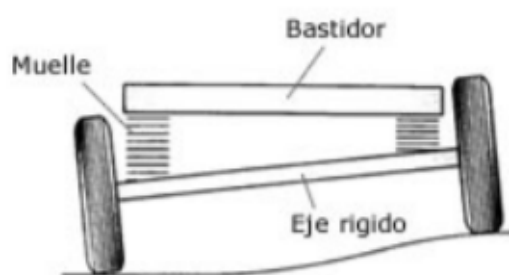


FIGURA 2.19: Funcionament d'un sistema de suspensions rígid [18]



FIGURA 2.20: Il·lustració del sistema de suspensions rígid [19]

Una variant de les anteriors són les **suspensions semirígides**, que incorporen un braç addicional, que permet reduir les vibracions i inclinacions que rep el vehicle.

La seva composició es pot reduir a dues molles ancorades a uns suports articulats, que van cargolats al diferencial i a una barra que creua tota la zona del pont, limitant d'aquesta manera la seva independència. Aquest sistema està incorporat a molts de cotxes que operen en carretera.

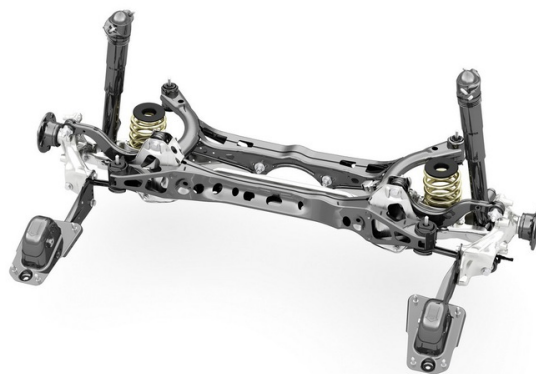


FIGURA 2.21: Representació del sistema de suspensions semirígides [19]

A continuació, un concepte totalment diferent és el representat per les **suspensions independents**, que permeten el moviment vertical d'una de les rodes sense afectar a la posició de la resta de rodes que es trobin en el mateix tren, com il·lustra la següent imatge:

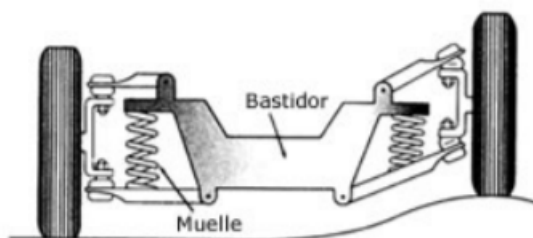


FIGURA 2.22: Funcionament d'un sistema de suspensions independent [18]

És per això, que són el sistema de suspensions que més abunda en el mercat. Dins d'aquest grup es troben diferents tipus, que s'enumeren a continuació:

- a) **Suspensió d'eix oscil·lant.** És un sistema bàsic, habitualment emprat en vehicles de carretera. Consta de dues molles en unes articulacions cargolades al pont posterior. No té braços de torsió, tan sols un connectat al pont i

l'amortidor al xassís. Tot i la seva simplicitat, nous desenvolupaments han conferit a aquests tipus de suspensions d'una major estabilitat.



FIGURA 2.23: Representació del sistema de suspensions d'eix oscil·lant [19]

- b) **Suspensió de braços tirats.** Correspon a un sistema molt similar al semirígid. Les molles van instal·lades a la part baixa en els braços del pont posterior. No obstant, aquest sistema té una separació en els braços en què les molles s'allotgen. D'aquesta manera, en anar els braços per separat, l'amortiment s'aconsegueix de manera independent. Els principals avantatges s'obtenen quan es circula en terreny urbà, ja que per altra banda, quan es circula per terreny irregular la gestió de les vibracions no és del tot eficient, arribant a ser inestable en cas de necessitar-ne un ús més profund. Per tot això, aquest sistema queda descartat.

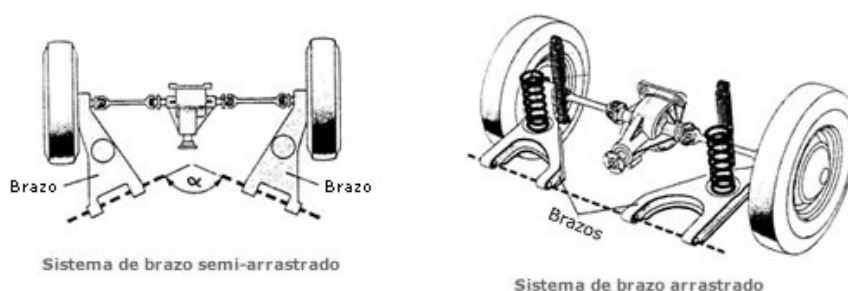


FIGURA 2.24: Representació del sistema de suspensions de braços tirats [20]

- c) **Suspensió Mc-Pherson.** És un dels sistemes més utilitzats, sobretot en la majoria de vehicles modestos, com a conseqüència de la seva senzillesa a l'hora de la fabricació i pel seu manteniment fàcil i econòmic, a banda del baix cost de producció i el poc espai que ocupa. De manera general, s'implementa en el tren davanter, encara que també és possible instal·lar-lo en el tren posterior. Una característica destacable d'aquest tipus de sistema de suspensions és que va connectat directament al xassís, i per tant, aquests punts han d'oferir una



elevada rigidesa, amb l'objectiu d'absorbir els esforços transmesos per la pròpia suspensió i per evitar els possibles trencaments. Així, pot transmetre les vibracions d'una manera correcta, efectiva i segura. No obstant, cal destacar que quan es fa un ús més exigent del component, la rigidesa es suporta fins un cert punt, de manera que pot necessitar d'algun reforç.

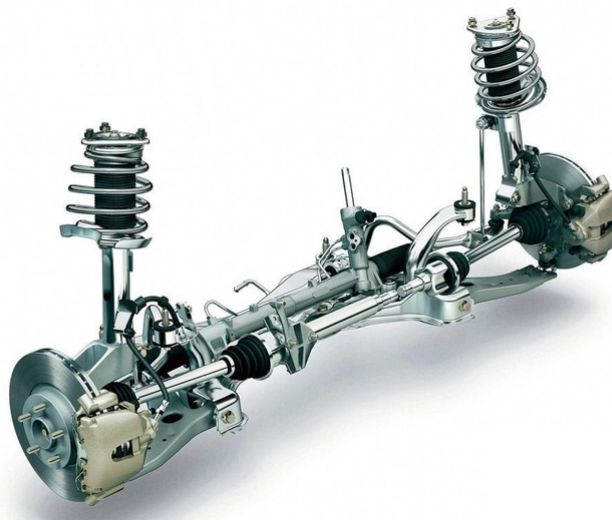


FIGURA 2.25: Representació del sistema de suspensions McPherson [19]

- d) **Suspensió de triangles superposats.** Aquest sistema constitueix un dels més sofisticats, ja que incorpora braços i articulacions superiors. Primerament, tant els braços superiors com els inferiors estan col·locats de manera paral·lela, però quan actua l'amortidor es deformen segons les actuacions del mateix. Com a conseqüència d'aquest funcionament també reben el nom de **suspensió de paral·lelogram deformable**. Les suspensions s'ubiquen de manera centralitzada i el seu ús està quasi restringit a competició, per la seva elevada rigidesa i per l'elevada capacitat d'inclinació de la suspensió que ofereix, de manera que es refusa aquest tipus de suspensió.

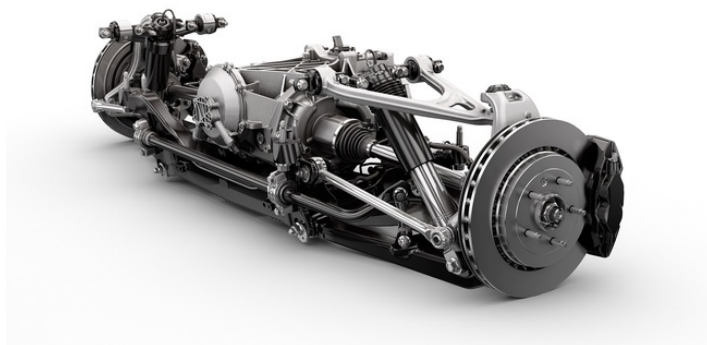


FIGURA 2.26: Representació del sistema de suspensions de triangles superposats [19]

- e) **Suspensió multi-braç o *Multilink***. Aquest sistema de suspensions està basat en el sistema explicat anteriorment, el de triangles superposats, amb la diferència que en el multi-braç les suspensions superiors s'ancoren a la torreta del xassís. Igualment com l'anterior, està format per diversos braços que faciliten la distribució de la torsió en tots els punts. Aquesta suspensió ofereix molts d'avantatges, com la possibilitat de modificar els paràmetres fonamentals de la roda, la regulació de l'angle de caiguda de les mateixes, per afavorir l'estabilitat en les distintes situacions d'ús. Això significa que tant les dinàmiques longitudinals com transversals es poden configurar de forma precisa i independent entre si, i que es pot assolir un grau màxim d'estabilitat direccional i de confort. No obstant, els inconvenients estan lligats amb l'ús que es fa normalment d'aquestes suspensions, ja que estan pensades per a vehicles de carrer o fins i tot vehicles esportius.

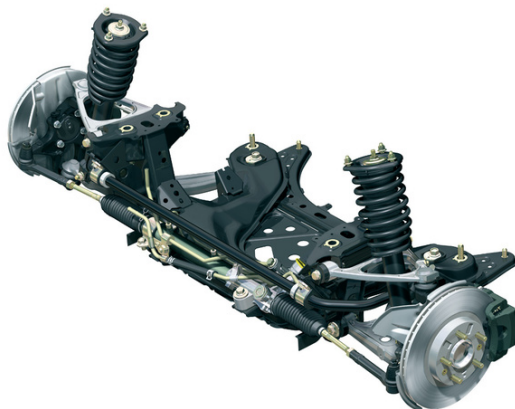


FIGURA 2.27: Representació del sistema de suspensions *Multilink* [19]

## 2.5.2 Elecció de les suspensions

Pel que fa a la tria del sistema de suspensions que s'implementarà en el rover tripulat, cal destacar l'únic sistema estudiat capaç d'operar en condicions *off-road* és el compost per les suspensions rígides, encara que el sistema McPherson també compliria amb les expectatives, en cas d'incorporar un reforç.

Per decidir quin sistema s'implementarà, es tindrà en compte la tendència dels principals constructors de vehicles tot terreny. En el cas de l'eix davanter, la majoria opta per la suspensió independent, com Chevrolet, Ford, Hummer, Mitsubishi, Opel, Toyota i Nissan, entre d'altres. En canvi, per a l'eix posterior, l'opció majoritària esdevé la suspensió d'eix rígid. D'aquesta manera, amb les últimes s'aconsegueix l'elevació del vehicle desitjada, que suposa una protecció extra del xassís, i amb les suspensions independents s'incrementa l'adaptabilitat sobre el terreny.

No obstant, com que els fabricants no especifiquen quin tipus de suspensió independent incorporen, s'elegeix el sistema McPherson, ja que segons s'explica a la [Subsecció 2.5.1](#) és el que, amb ajuda d'un reforç, s'adapta millor a les condicions de fora de carretera.

En conclusió, se seguiran els criteris de les principals empreses del sector, implementant així un **sistema de suspensions rígides per a l'eix posterior**, i un **sistema de suspensions independents del tipus McPherson per a l'eix davanter**.

## 2.6 Disseny del xassís

Un cop feta la tria de les rodes i les suspensions que s'utilitzaran, el següent pas és l'elecció del tipus de xassís que es farà servir. Per això, es farà un estudi dels tipus de configuracions que existeixen, destacant els avantatges i els inconvenients que aporten. També, s'estudiaran els materials que es fan servir típicament en la indústria automobilística, així com també els materials que destaquen entre els vehicles elèctrics, i es triarà el que es consideri que encaixi més en el rover tripulat que es vol dissenyar, tenint en compte els criteris de càrrega estipulats anteriorment en la [Subsecció 2.1.3](#) i tenint en compte la *performance* del vehicle.

### 2.6.1 Estructura del xassís

El xassís és la plataforma sobre la qual es sustenten tots els components del vehicle, i és l'encarregat de proporcionar rigidesa i donar-li forma. Generalment està compost de ferro, d'aliatges d'acer o algun metall amb bones prestacions en termes de duresa i que sigui capaç d'integrar tots els components mecànics del vehicle, des dels eixos i les suspensions, a les rodes, el motor i la carrosseria.

En matèria de seguretat, també és una part essencial del vehicle, ja que té la funció de suportar i absorbir els impactes que es puguin produir sense patir deformació. D'aquesta manera, segons [73], com més rígida i resistent sigui, més seguretat proporcionarà i menys possibilitats de catàstrofe en cas d'accident.

En el mercat actual existeixen diferents tipus de xassissos, segons la seva configuració. Hi ha la possibilitat que el xassís i la carrosseria esdevinguin dos components independents. En aquest cas, s'anomena **xassís independent**, i inclou els següents tipus:

- a) **Xassís d'escala** o *ladder chassis*. És el primer que es va començar a construir i està format per dues bigues de secció tubular configurades longitudinalment, que aporten una gran resistència a la torsió i que estan unides per diferents suports transversals. D'acord amb l'enginyer de disseny industrial

David Artés i la seva informació obtinguda de [74], els seus principals avantatges apareixen quan s'opera en condicions *off-road* o quan es porten elevades càrregues. Un dels principals avantatges és el blindatge que ofereix de la part inferior del vehicle davant forts cops, com a conseqüència de la gran duresa de les bigues que el componen. A més a més, l'estructura és senzilla, per la qual cosa la seva reparació en cas d'accident no suposaria un problema, com en el cas d'altres xassissos, com per exemple el monocasc, que requereix d'una maquinària molt complexa per recuperar la seva forma original, en cas de perdre-la. També, destaquen la seva alta durabilitat i l'elevada accessibilitat als components mecànics. En canvi, el seu principal desavantatge és l'elevat pes que té i el menor espai interior que ofereix, en comparació a altres xassissos. A més a més, aquest tipus de xassís destaca per la seva elevada rigidesa, per la qual cosa en el cas que es frenés molt bruscament, els passatgers podrien resultar ferits si es circulés a elevades velocitats. No obstant, no es contempla aquesta possibilitat, ja que les velocitats operatives del vehicle són menors de 20 km/h.

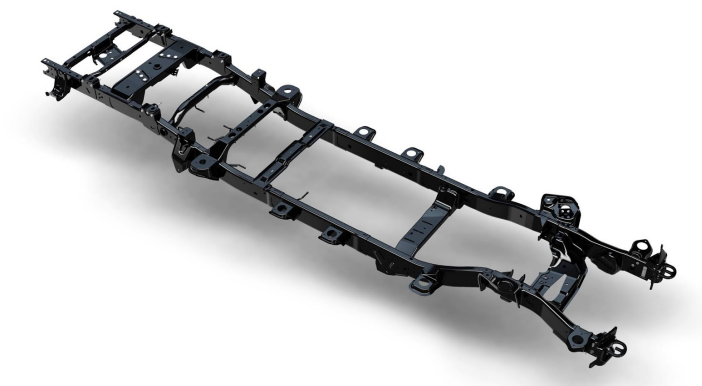


FIGURA 2.28: Representació d'un xassís d'escala [21]

- b) **Xassís d'espina dorsal** o *backbone chassis*, que consisteix en un tub rectangular que constitueix la columna vertebral del vehicle, unint l'eix davanter i l'eix posterior i proveint així tota la major part de la força mecànica necessària. Fent ús d'aquest xassís, els dos semieixos tenen un major contacte amb el terra quan s'opera en condicions *off-road*, fet que suposaria un avantatge en el cas del rover marcià. Altres avantatges són la seva facilitat de producció i

el seu preu. Els desavantatges principals són que generalment, aquest xassís és utilitzat en automòbils esportius de tamany reduït, fet que s'allunya totalment del concepte pel qual es vol fer servir; i no aporta cap mena de protecció contra cops laterals, per la qual cosa aquesta configuració es descarta.



FIGURA 2.29: Representació d'un xassís d'espina dorsal [22]

- c) **Xassís en X**, que consisteix en dues bigues entrelaçades, o convergents en el centre del vehicle, fent que el vehicle assoleixi major rigidesa davant una torsió elevada. També, el travesser de davant és molt robust per tal de permetre la fixació dels anclatges de les suspensions. No obstant no aporta uns avantatges essencials per a les condicions en les que hauria d'operar. Per aquest motiu, aquesta configuració queda rebutjada.

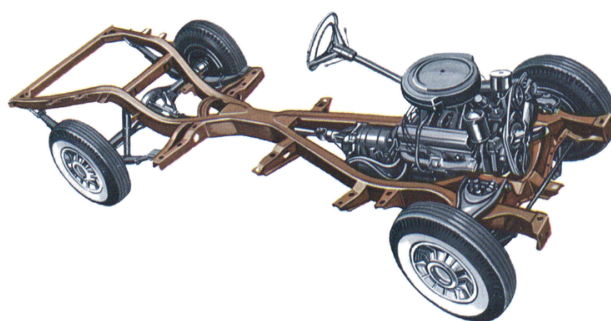


FIGURA 2.30: Representació d'un xassís en X [23]

- d) **Xassís de plataforma**. Està constituït per la unió de diverses xapes soldades, formant una base amb la suficient rigidesa per a suportar els òrgans mecànics i la carrosseria del vehicle. Es pot unir mitjançant unions cargolades o mitjançant la soldadura per punts. El seu alt nivell de rigidesa proporciona la possibilitat

de reduir la rigidesa de la carrosseria. També, pot estar composta de múltiples elements desmuntables que facilitarien una reparació en cas que es produís algun desperfecte.



FIGURA 2.31: Representació d'un xassís de plataforma [24]

- e) **Xassís perimetral.** En aquest tipus de xassís, els travessers suporten la carrosseria del vehicle a la part més ampla, conferint així una major protecció en cas d'impacte lateral. Aquest augment d'amplada també resulta en un augment d'estabilitat. A més a més, permet absorbir una gran quantitat d'energia en cas d'impacte frontal. És utilitzat de manera general en alguns models d'automòbils i algunes camionetes, ja que té la capacitat de suportar una carrosseria més voluminosa.

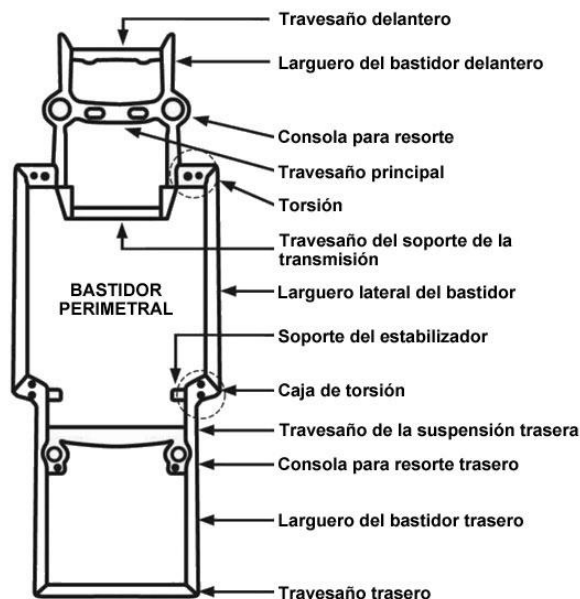


FIGURA 2.32: Representació d'un xassís perimetral [22]

Per altra banda, en el **xassís monocasc** no existeix diferència entre xassís i carrosseria, ja que ambdós formen un únic cos, donant forma al vehicle. Proporciona una major lleugeresa i un major aprofitament de l'espai interior que el xassís d'escala, encara que la majoria d'avantatges s'obtenen quan es fa ús en un terreny asfaltat i en condicions favorables, per la qual cosa no pot ser considerat una opció real per al rover marcià.

S'utilitza generalment en la construcció de turismes i vehicles industrials lleugers i té dos aspectes diferenciadors:

- Els elements mecànics del vehicle no estan acoblats al xassís, sinó que hi estan integrats directament.
- Els elements principals de l'estructura de la carrosseria formen part del xassís.

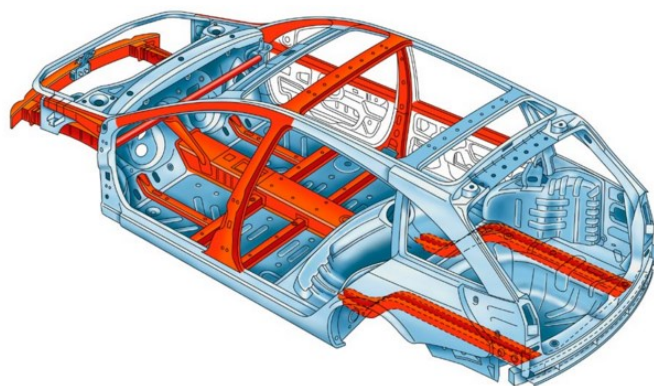


FIGURA 2.33: Representació d'un xassís monocasc [25]

Seguidament, encara que no sigui molt habitual en automoció, existeix el **xassís semi-monocasc**, un híbrid entre el xassís monocasc i el de travessers. Consisteix en un xassís autoportant com és el monocasc i, en alguna part en concret, com pugui ser la part davantera pel motor, s'afegeix un semi-bastidor de travessers, per tal d'afegir un major suport.

Un altre tipus de xassís és l'**espacial tubular**, o també anomenat **superlleuger**, que consisteix en una estructura tridimensional formada a base d'addició de dissenys de tubs, amb la finalitat d'obtenir una major lleugeresa i esveltesa. El seu ús



està limitat als cotxes de competició, i la seva funció principal és la de protegir el pilot en cas de col·lisió, per tant queda directament descartat.

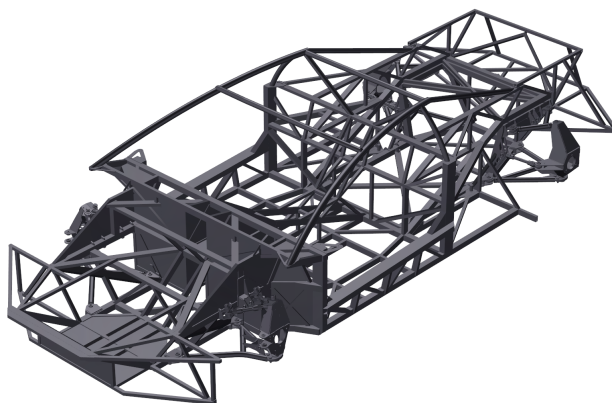


FIGURA 2.34: Representació d'un xassís espacial tubular [22]

Després d'haver estudiat els diferents tipus de xassissos, el tipus més ben situat segons les seves característiques és el xassís independent. No obstant, per a dur a terme la tria dels diferents tipus de xassissos independents que s'han estudiat, primerament es farà un estudi anàleg de les carrosseries.

### 2.6.2 Materials del xassís

Com s'ha comentat anteriorment, el xassís és l'encarregat de suportar tots els elements mecànics del vehicle. No obstant, a l'hora de triar materials per a la seva construcció, els criteris són els establits a [75]:

Primerament, es considera la **lleugeresa** dels materials, que faci que siguin capaçs de reduir el pes del vehicle, proporcionant així un major rendiment del grup propulsor. Aquesta reducció de pes es pot dur a terme de tres maneres diferents. La primera és substituint els materials més pesats per altres de característiques similars en durabilitat i rigidesa, però amb una densitat menor, com per exemple substituir l'acer per alumini, magnesi o materials composts. Una altra possibilitat és l'optimització del disseny dels elements de càrrega per reduir el pes sense perdre rigidesa ni funcionalitat. Finalment, l'última opció consistiria en la optimització del procés de producció, la qual no es podria dur a terme ja que no es pretén fer una fabricació en línia d'aquest rover.

A continuació, es té en compte el **preu** dels materials, que considera el cost de la matèria primera, el tractament i la fabricació i, finalment, el cost del disseny. En aquest cas, l'alumini i els aliatges de magnesi són més costosos que l'acer i el ferro. D'aquesta manera, des del punta de vista econòmic, l'elecció d'aquests tipus de materials, així com també dels materials composts per davant dels acers i ferros s'ha de justificar amb un augment significatiu de la funcionalitat.

En tercer lloc, la **seguretat**, que és un dels factors més importants en la indústria automobilística, i ho és també en el concepte del rover marcià. Aquesta inclou la fiabilitat i la resistència a la penetració en cas d'accident, que inclou l'absorció de l'energia sense arribar a ruptura provocada per l'impacte sense que s'arribi a ruptura o fragmentació del xassís.

Finalment, un altre factor important per a la indústria automotriu, és la **reciclabilitat**. No obstant, aquest factor no jugarà un paper tan important com la seguretat o la reducció de pes en el *buggy* que es vol implementar.

Tenint en compte aquests aspectes, dos dels materials que podrien complir amb les funcions especificades són l'**acer d'alta resistència** i l'**alumini**. Per una banda, l'acer és adequat com a material de xassís gràcies a l'alta fiabilitat que té. A més a més, és un material que proporciona la rigidesa necessitada en un xassís, per la qual cosa es compleix el factor de la seguretat.

Per altra banda, l'alumini és un material aproximadament tres vegades més lleuger que l'acer, però amb una rigidesa també al voltant d'un terç del mateix. Cal destacar que no és viable la utilització d'alumini pur, a causa de la seva baixa rigidesa, de manera que sempre que es parli d'alumini es refereix a un aliatge del mateix. El preu de l'alumini és superior, encara que no és un preu desorbitat. També, té una elevada resistència a la corrosió i una elevada maniobrabilitat. Per la part negativa, es considera que si s'usés solament alumini, aquest no proporcionaria la suficient seguretat en un element tan important com el xassís d'un vehicle.

És per això, que s'optarà per un **xassís mixt d'acer i d'alumini**, on la majoria de l'estructura estarà composta per l'element més rígid, aportant la seguretat necessària, i en les parts on no és necessari un nivell tan alt de rigidesa, es substituirà l'acer per l'alumini, possibilitant així la indispensable reducció de pes.

## 2.7 Disseny de la carrosseria

Un cop analitzats els tipus de xassissos que hi ha actualment en el mercat, s'ha arribat a la conclusió que no es pot triar un tipus de xassís sense tenir en compte la carrosseria. No obstant, abans de fer l'estudi dels tipus de carrosseria que existeixen en el mercat, primer s'ha de triar si el vehicle ha de ser obert o tancat. Pel que fa a l'estat de l'art, tal i com s'ha fet esment a la secció [Secció 1.1](#), tant el NMR la NASA, com el Tesla Cybertruck i el Lunar Rover japonès són vehicles tancats i, per tant, estan pressuritzats. Tan sols el SEV de la NASA té una part sense pressuritzar, però almenys la meitat de tot el vehicle sí que hi està, de manera que es pot considerar que tots els vehicles, encara que en major o menor part, són pressuritzats. A continuació s'analitzaran els avantatges i desavantatges d'aquesta configuració, a més de fer la respectiva comparació amb un vehicle obert.

En primer lloc, el que s'ha d'analitzar és el fi del disseny del rover marcjà, és a dir, si es vol utilitzar simplement com a un mitjà de transport de la base a alguns llocs específics, que estiguin situats a distàncies relativament curtes; o si, al contrari, es vol implementar un vehicle capaç de recórrer grans distàncies i capaç d'assumir les funcions de base mòbil, en cas que així es requereixi. D'acord amb [76], les missions que tinguin un veïnatge immediat a la base requereixen de poc temps i de distàncies curtes, i poden ser dutes a terme mitjançant un vehicle primitiu no pressuritzat. No obstant, altres missions implicaran la inversió d'un temps elevat i el recorregut d'unes distàncies molt majors. Aquestes missions requeriran un vehicle pressuritzat, que servirà d'escut als tripulants i els permetrà dur a terme una gran varietat de tasques. També, segons conclou el mateix informe, el vehicle pressuritzat haurà d'assumir tant les funcions de casa mòbil com les de laboratori portàtil, esdevenint un vehicle versàtil, flexible i fiable.

D'altra banda, segons [1], un vehicle pressuritzat proveeix una seguretat extra enfront d'un vehicle no pressuritzat, ja que en cas de tempestes, la carrosseria actua com un escut protegint els tripulants. A més a més, el cos del vehicle també ofereix una important protecció contra la radiació. També, en el cas de situacions extremes com el trencament d'un vestit espacial, tenir un rover pressuritzat permetria als astronautes tornar a la base de manera segura i dur a terme el seu reemplaçament.

Finalment, el concepte de vehicle pressuritzat ofereix un confort addicional als astronautes, alleugerant així la feina de dins el vehicle, i augmentant la maniobrabilitat a l'interior del mateix. Addicionalment, el no haver de treballar amb el vestit espacial posat fa que l'espai interior sigui més aprofitable i, per tant, que el vehicle sigui més rendible.

D'aquesta manera, tenint en compte tots els avantatges exposats i tenint en compte la finalitat que es vol donar al vehicle, s'ha arribat a la conclusió que **el vehicle serà tancat**, i per tant pressuritzat.

### 2.7.1 Tipus de carrosseria

Un cop clara la configuració que s'implementarà, el següent pas és la tria del tipus de carrosseria que s'implementarà. Per això, primer s'estudiaran els diferents tipus existents en el mercat, i s'analitzaran els models que s'han emprat com a referència durant tot l'estudi.

Les carrosseries tenen diversos tipus de classificacions, segons la seva construcció, per tipus de forma o per número de volums. En aquest estudi, la part interessant és la relacionada amb la seva construcció, de manera que serà la que s'estudiarà.

Primerament, hi ha la **carrosseria amb xassís independent**, típicament utilitzada en els vehicle tot-terreny, camions i autobusos. Aquesta configuració, tal i com s'ha explicat a la [Subsecció 2.6.1](#), consta de dues peces bàsiques: el xassís i la carrosseria. En aquest tipus de configuració, és el xassís el que suporta totes les forces, tant del motor, com de la transmissió, així com el pes del vehicle. D'aquesta manera, la carrosseria té poca o cap tipus de funció estructural.

A continuació, es troba la **carrosseria autoportant** o **monocasc**, que correspon a una tècnica de construcció de xassís en què la xapa externa del vehicle suporta gran part de la càrrega del mateix. Es compon de xassís i carrosseria units entre si amb reblons o soldadures, que comporten una estructura única i completa. Actualment, és la més utilitzada en automobilisme.

Finalment, hi ha la **carrosseria tubular**, composta per una malla de tubs metàl·lics soldats i amb un recobriment de làmines metàl·liques. Aquesta tècnica

confereix a la carrosseria una gran rigidesa i un pes baix, de manera que usualment es fa servir en vehicles de competició, fet que s'allunya molt del concepte de vehicle que es vol implementar i, per tant, queda descartada.

D'aquesta manera, i sense tenir en compte encara els tipus de configuració que ofereixen els vehicles de referència, queda clar que la carrosseria serà o de xassís independent o autoportant, és a dir, monocasc.

En referència a l'estat de l'art dels vehicles de referència, el Cybertruck de Tesla està format per una estructura monocasc, anomenada exosquelet, en el que el cos, els elements de protecció i el suport estructural del xassís i la carrosseria es lliguen, solden, modelen i s'uneixen d'alguna manera en un sol element estructural. D'aquesta manera, s'aconsegueix un major lleugeresa i durabilitat, aportant una major protecció als ocupants.

Per altra banda, el SEV de la NASA consisteix en un xassís mòbil i una petita cabina pressuritzada. Aquests dos components, poden ser entregats a la superfície de manera pre-integrada o com a dos elements completament separats, fent que els astronautes puguin moure la plataforma del xassís sense moure la cabina pressuritzada.

En canvi, dels prototips de la JAXA i el NMR de la NASA, no hi ha especificacions en relació al tipus de xassís o carrosseria que porten. No obstant, pareix que el Lunar Rover de la JAXA té un xassís independent, i que el NMR està format per una estructura monocasc, per la qual cosa l'estat de l'art no és conclouent per a poder dur a terme la tria.

Tot i que en un principi s'ha considerat l'exemple monocasc del Tesla Cybertruck, que podria aportar avantatges com el major aprofitament de l'espai o la capacitat de la carrosseria de suportar gran part de la càrrega total del vehicle, es considera que aquest tipus d'estructura no pot ser implementada a causa del seu mal funcionament en condicions desfavorables d'operació. Per tant, **la carrosseria elegida és la de xassís independent**. També, un dels motius principals d'aquesta elecció és la dilatada experiència que tenen aquests tipus de xassissos i carrosseries en vehicles tot-terreny. De totes maneres, s'intentarà proveir la carrosseria d'una rigidesa extra per tal que no sigui tan sols el xassís qui suporti tota la força del vehicle, considerant que és un vehicle amb un pes significant.

Un cop elegit el tipus de configuració del rover, tan sols falta elegir el tipus de xassís independent dels que hi resten. Aquests, segons les explicacions fetes a la [Subsecció 2.6.1](#), són el xassís d'escala, el xassís perimetral i el xassís de plataforma.

Pel que fa al xassís, cal destacar que la gran majoria de vehicles elèctrics mostren una tendència cap a la utilització de xassissos plataforma, com a conseqüència dels avantatges que aporta, com el major aprofitament de l'espai, entre d'altres. No obstant, a continuació s'analitzaran els tres tipus de xassís per tal de concloure quin d'ells és l'òptim per a complir la missió de suportar un vehicle elèctric del pes del que es vol implementar per la superfície de Mart.

Tenint en compte les característiques esmentades anteriorment i considerant la informació extreta de [\[26\]](#), els criteris de tria són els següents:

- a) **Rigidesa.** Ha de ser la màxima en termes de flexió i de torsió, per tal que les deformacions elàstiques no esdevinguin elevades i puguin provocar un col·lapse de l'estructura.

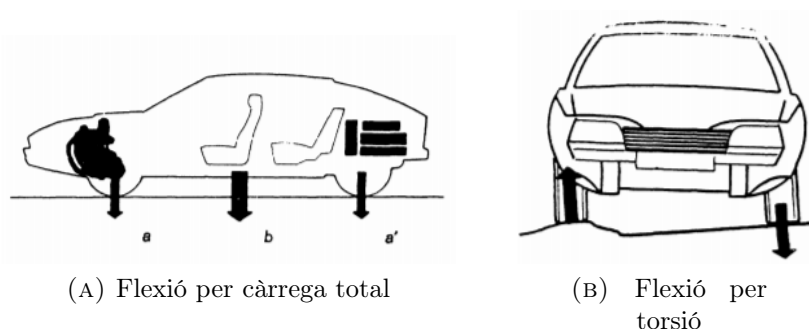


FIGURA 2.35: Diferents forces de flexió experimentades pel vehicle [\[26\]](#)

En aquest aspecte, els xassissos d'escala i de plataforma són els més ben ubicats, ja que ofereixen un alt nivell de rigidesa, en comparació al xassís perimetral. No obstant, aquest elevat nivell de rigidesa comporta un elevat pes, que en ocasions podria resultar en un inconvenient.

- b) **Característiques vibratòries.** Les vibracions d'alguns components com les rodes, les suspensions o el motor poden perjudicar notablement la comoditat del viatge, de manera que és un factor important a tenir en consideració. En aquest punt, el xassís perimetral és el que ofereix millors prestacions en no ser

tan rígid com els altres dos, de manera que pot absorbir millor les vibracions provocades pel terreny.

- c) **Resistència en servei i durabilitat.** Els esforços a què està sotmesa la carrosseria amb el vehicle en funcionament poden provocar esquerdes o danys en els punts de soldadura. Les zones especialment amenaçades són els punts de suport del tren de rodatge, la direcció i el conjunt de tracció, per la qual cosa és un factor molt important a considerar. D'altra banda, el xassís ha de tenir una durabilitat elevada. L'alta rigidesa del xassís d'escala va associada amb una alta durabilitat, per la qual cosa és el més ubicat dels tres en qüestió.
- d) **Protecció en cas d'accident.** Encara que aquest factor no és tan important com els altres a causa de les baixes velocitats d'operació, el xassís ha de tenir la capacitat d'absorbir una gran quantitat d'energia en cas d'impacte o d'accident sense que es pateixi una gran deformació. Com s'ha comentat amb anterioritat, el xassís d'escala i la seva elevada rigidesa fa que sigui perillós en cas d'accident, però aquest efecte es redueix considerablement tenint en compte les velocitats d'operació del vehicle. En canvi, el xassís perimetral és el que proporciona més seguretat en cas d'impacte, ja que a la seguretat dels altres dos s'afegeix una major protecció contra impactes laterals. També, cal destacar la major estabilitat que confereix el xassís perimetral.
- e) **Facilitat de reparació.** En un entorn tan agressiu i inhòspit com Mart, és de vital importància que el xassís sigui fàcil de reparar. Encara que no es pugui reparar completament, sí que hauria de ser accessible als cargols, als punts d'unió i a les zones més exposades, per tal de poder fer una reparació que permeti, si més no, arribar a la base. En aquest cas, els tres xassissos són fàcils de reparar, ja que o bé són desmuntables, com és el cas del xassís de plataforma, o bé ofereixen una gran accessibilitat als components que s'hagin de reparar, com els d'escala i el perimetral.
- f) **Capacitat de càrrega.** Considerant el pes estipulat del propi vehicle i la possible càrrega que pugui incorporar, el xassís ha d'estar preparat per poder suportar tot aquest pes, afegint-hi també el dels components mecànics i el dels tripulants. Considerant la capacitat que puguin tenir per carregar una major *payload* o un major nombre de tripulants, el perimetral és el que ofereix les majors prestacions.

g) **Capacitat d'aprofitament de l'espai.** Tenint en compte que el vehicle ha de ser al mateix temps un laboratori mòbil, l'aprofitament de l'espai interior esdevé un factor important, ja que afecta directament a la missió a realitzar, així com també a la comoditat dels tripulants. També, com que les bateries dels vehicles elèctrics són de dimensions considerables, serà de vital importància que el xassís ofereixi la possibilitat d'ubicar-les consumint el mínim lloc tant de la cabina com del laboratori. En aquest aspecte, el més ben situat és el de plataforma, ja que la seva característica principal és la possibilitat d'aprofitar l'espai del vehicle al màxim. No obstant, aquest tipus de xassís pot esdevenir un problema alhora de circular per terrenys irregulars. En canvi, un dels principals inconvenients del xassís d'escala és la reducció que provoca de l'espai interior, fent així que sigui el pitjor dels tres en aquest aspecte.

Com a conclusió i tenint en compte els aspectes anteriors, es considera que l'opció que més es pot adaptar és el **xassís perimetral**. L'opció del xassís d'escala no ofereix un gran espai interior, que és un factor vital des del punt de vista d'operabilitat, de manera que queda finalment descartat. D'altra banda, el xassís de plataforma, encara que és la tendència actual que adopten la gran majoria de vehicles elèctrics, no estaria preparat per circular per sobre del terreny marcià, que és un factor imprescindible, de manera que també ha quedat finalment refusat.

### 2.7.2 Materials de la carrosseria

Un cop feta la tria del conjunt xassís-carrosseria, es determinaran els diferents materials que en formaran part. Aquests, es triaran tenint en compte els criteris de la [Subsecció 2.6.2](#).

Actualment, l'alumini i els composts de fibra de carboni són els materials que més s'utilitzen en les carrosseries, encara que els aliatges de magnesi amb el propi alumini i amb zinc, estan agafant pes i es consideren els materials de les carrosseries del futur, principalment per la seva lleugeresa.

En un vehicle elèctric, és molt important la utilització d'un material que ofereixi una alta capacitat de reducció de pes, que es tradueix en la disminució del nombre de bateries, que a la vegada comporta un decrement del cost total del vehicle, ja



que les bateries en suposen una gran part. A més a més, els materials lleugers ofereixen un gran potencial en l'increment de l'eficiència del vehicle. D'acord amb [77], "el reemplaçament del ferro fos per materials lleugers com l'acer d'alta resistència, els aliatges de magnesi, els aliatges d'alumini, les fibres de carboni o els composts polimèrics poden reduir el pes del cos i del xassís del vehicle en un 50%."

També, fent ús de materials estructurals lleugers, els vehicles poden suportar sistemes de controls avançats, aparells de seguretat i poden integrar sistemes electrònics sense que es produeixi un increment del pes total del vehicle.

A més a més, com afirma la mateixa font "mentre que qualsevol vehicle pot utilitzar materials lleugers, aquests esdevenen especialment importants en vehicles híbrids, endollables i elèctrics, ja que la utilització d'aquest tipus de materials pot compensar tant el pes dels components electrònics com el del motor i de les bateries, millorant l'eficiència i incrementant el seu rang." Alternativament, l'ús dels materials lleugers pot resultar en la necessitat d'una bateria menor i més econòmica mentre es manté el rang del vehicle.

A continuació, es representarà la reducció de pes que ofereix cada material, segons el Departament d'Energia dels Estats Units:

Material lleuger	Reducció de massa
Magnesi	30-70%
Composts de fibra de carboni	50-70%
Alumini i composts d'alumini	30-60%
Titani	40-55%
Composts de fibra de vidre	25-35%
Acer avançat d'alta resistència	15-25%
Acer d'alta resistència	10-28%

TAULA 2.7: Representació de la reducció de pes dels materials lleugers

Tenint aquestes dades en consideració, i sabent que els aliatges de magnesi es troben encara en vies de desenvolupament, els materials elegits per a la carrosseria del vehicle seran els composts de fibra de carboni i els aliatges d'alumini.

En un primer moment, la fibra de carboni estava reservada per als cotxes de competició i als cotxes esportius. No obstant, de mica en mica aquest material

s'ha anat obrint pas en la indústria automotriu, fent que no tan sols s'utilitzi en aquests tipus de vehicles, sinó en vehicles d'altres prestacions. Un dels principals promotors d'aquest fet és l'empresa alemanya *BMW*, que ha anat incorporant en els seus models parts fetes amb aquest material, fins arribar a la construcció del *BMW i3*, un vehicle elèctric amb la carrosseria de fibra de carboni.

D'aquesta manera, l'empresa alemanya ha demostrat que la possibilitat d'implementar un vehicle elèctric amb la carrosseria de fibra de carboni, en aquest cas reforçada amb polímers.

Altres empreses el que fan és anar incorporant elements de fibra de carboni a la carrosseria d'alumini, com el capó o el sostre. En aquest cas, es mantindria la rigidesa proporcionada per l'alumini i es reduiria el pes en diverses zones on es fes ús de la fibra de carboni.

A més, les característiques principals dels materials composts reforçats amb fibra de carboni són els següents<sup>11</sup>:

- Alta resistència mecànica.
- Lleugeresa.
- Excel·lent tenacitat.
- Resistència a l'envelliment i a la corrosió.
- Bones propietats antiestàtiques.
- Alta resistència a l'impacte.
- Bones propietats dielèctriques.
- Alt mòdul d'elasticitat.
- Bones propietats ignífugues.
- Alta resistència als àcids, alcalins i a alguns dissolvents.
- Resistència a la fatiga.
- Gran flexibilitat.

Per altra banda, un desavantatge de la fibra de carboni és la baixa resistència a esforços de cisalla. Generalment, les fibres s'orienten en la direcció on es preveu que patiran els majors esforços, ja que és un material molt resistent a tracció. D'aquesta forma, però, si l'esforç no s'aplica en la direcció prevista, el material és poc resistent i esdevindria un material poc útil.

---

<sup>11</sup>Dades extretes de [78].

Per a superar aquest gran inconvenient, el que es farà serà orientar les fibres en diferents direccions, per tal que no tan sols sigui resistent als esforços en la direcció principal, sinó que també sigui capaç de suportar altres esforços que provinguin d'altres direccions. També, s'ha de considerar que els CFRP tenen un procés de fabricació més complex i amb un cost major que els d'aliatges d'alumini o acer. No obstant, segons [79], la fibra de carboni és un material més fort que l'acer i més resistent que l'alumini, fets que tenen una importància major que el preu i la complexitat que puguin suposar la seva fabricació.

Per tant, tenint en compte la situació actual dels diferents materials en el mercat, les prestacions que han de tenir en el vehicle marcià i el que s'ha especificat a [Subsecció 2.7.1](#) relacionat amb l'addició d'una major rigidesa a la carrosseria perquè tot el pes del vehicle no recaigui en el xassís, **s'optarà per una carrosseria de materials composts reforçats amb fibra de carboni**, que aportaran totes les característiques esmentades anteriorment, a banda d'una major resistència que no l'alumini i finalment, ajudaran a la reducció del pes de la carrosseria.

### 2.7.3 Materials del revestiment i pintura

Finalment, per acabar l'estudi del disseny de la carrosseria, és necessari fer menció als materials del revestiment, així com també a la pintura que s'utilitzarà.

Primerament, tal i com s'indica a [27], els CFRP no tenen de resistència a altes temperatures i al desgast abrasiu, per la qual cosa necessiten d'un **revestiment tèrmic** per evitar la fallada del material davant l'exposició a aquests tipus d'ambients. Encara que els revestiments sobre els materials composts reforçats amb fibra de carboni no estan molt avançats, a causa de la seva complexitat, segons la Universitat de Stuttgart, una de les maneres més prometedores d'aplicar de forma fiable tant recobriments metàl·lics com ceràmics de qualitat és l'ús de processos de polvorització tèrmica.

Per tant, encara que és un procés complicat i comporta un cost elevat, es duria a terme per afavorir l'operativitat del vehicle, que és l'objectiu de l'estudi.

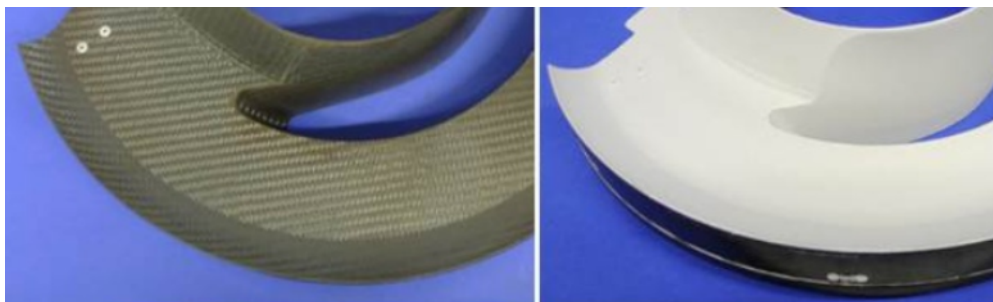


FIGURA 2.36: Representació del revestiment tèrmic ceràmic en una peça de fibra de carboni [27]

D'altra banda, hi ha diferents processos de revestiment depenent del material emprat. No obstant, els revestiments que s'utilitzen per millorar les prestacions de, per exemple, l'acer, no sempre són necessaris per als CFRP, ja que la definició dels mateixos ja comporten aquestes prestacions, com és el cas del revestiment anticorrosiu. Com s'ha explicat a la [Subsecció 2.7.2](#), la fibra de carboni ja té una alta resistència a la corrosió, per la qual cosa el revestiment anticorrosiu aplicat a l'acer no és necessari. En canvi, un revestiment que sí que es considera important, és el **segellat**, sobretot tenint en compte que el xassís i la carrosseria no formen un únic cos, sinó que són independents. Aquesta tècnica aporta l'estanquitat necessària en un entorn tan agressiu com Mart, ja que si el vehicle no fos estanc, perdria la seva operativitat i no es podria anar sense el vestit espacial.

També, un revestiment molt important és l'anomenat **aparell**, que consisteix en una pintura de fons que té com a funció principal segellar el conjunt i constituir una bona base per a la pintura d'acabat.

Finalment, s'aplicarà una **pintura d'acabat**, que en el cas dels CFRP no és un procés fàcil ni assequible, ja que la falta d'adherència juga un paper molt important. Per això, el procediment que es seguirà és el següent<sup>12</sup>:

- 1) **Llimar la superfície**, per aconseguir un cert grau d'uniformitat.
- 2) **Aplicar una imprimació**, procés que bàsicament consisteix en la preparació adequada d'allò que es tractarà posteriorment.
- 3) **Deixar assecar** un temps aproximat de 24 hores.

<sup>12</sup>Procediment explicat a [80].

- 4) **Aplicar la pintura.**
- 5) **Aplicar una laca plastificant**, per fixar la pintura a la superfície i aconseguir així un fixació total del procés.
- 6) **Deixar assecar** un altre cop un temps aproximat de 24 hores.

A més a més, cal destacar que la pintura aplicada no pot ser negra, ja que el vehicle no ha d'absorbir la radiació, sinó que l'ha de reflectir. D'aquesta manera, la pintura seleccionada seria de color blanc, seguint el model del Lunar Rover de la JAXA i del SEV de la NASA.

## 2.8 Sistemes i sensors

Per últim, s'estudiaran els diferents sistemes que podran ésser instal·lats en el *buggy*, i que tindran com a objectiu millorar la comoditat dels astronautes, establir un sistema de comunicacions, ja sigui amb el laboratori fixe o amb els astronautes durant una missió. També, serà imprescindible la implementació d'un sistema de vigilància per tal de dur a terme la captació d'imatges del planeta roig i del seu entorn, així com incorporar un sistema de localització, per dur a terme en tot moment el *tracking* del vehicle i saber la seva situació en cada instant.

### 2.8.1 Sensors analitzadors de l'aire

A l'apartat de sensors tèrmics i referents a l'estudi de l'aire, és ineludible la menció als sensors MEDA, un conjunt de sensors ambientals dissenyats per a enregistrar propietats òptiques de la pols de Mart, a banda d'altres sis paràmetres atmosfèrics.

Cal destacar que aquests sensors estan instal·lats al rover *Perseverance*, encarregat de la missió Mars 2020 de la NASA, fet que els col·loca al capdavant de l'exploració de Mart en un futur pròxim. És per això, que s'ha optat per la seva implementació.

Tal com afirma la NASA a [28]: "la mesura sistemàtica és el principal motor per a les operacions MEDA. Durant tota la vida de la missió, amb una cadència i una

freqüència configurades d'acord amb la disponibilitat de recursos, MEDA enregistra dades de tots els sensors. La implementació d'aquesta estratègia es basa en un alt grau d'autonomia en les operacions MEDA. L'analitzador es desperta cada hora i després d'enregistrar i emmagatzemar dades, va a dormir independentment de les operacions de rover. Enregistra dades independentment de si el rover està actiu o no, i tant de dia com de nit.”

Aquesta autonomia proveirà l'equip d'una major llibertat de moviments, ja que, si bé hauran de comprovar que el sistema funciona correctament, no hauran d'estar pendents d'analitzar la superfície ni prendre mesures, sinó que fins i tot mentre descansin el sistema prendrà les mesures per ells.

A continuació, s'exposaran els paràmetres ambientals estudiats amb els MEDA, i la localització dels diferents dispositius destinats a aquest estudi en el Rover *Perseverance*:

a) **Velocitat i direcció del vent.** Dos sensors de vent estan situats al RSM, o també anomenat màstil de teledetecció, des del qual s'encarreguen de la mesura de la direcció i de la velocitat del vent. Aquestes magnituds es deriven en funció de la informació proporcionada per sis detectors bidimensionals, que es troben en sis juntes a  $60^\circ$  de diferència a l'entorn de l'eix de dues botavares<sup>13</sup>. D'aquesta manera, cadascun enregistra la velocitat i la direcció locals en el pla de la placa. La combinació de les sis juntes per a cada botavara serveix per determinar la velocitat del vent, així com també l'angle de capcineig i el de guinyada de cada botavara respecte la direcció del flux.

El requisit és determinar la velocitat horitzontal del vent amb una precisió de 2 m/s amb una resolució de 0.5 m/s, en el rang de 0 m a 40 m. Per a vent vertical, el rang va des de 0 m fins a 10 m; i els altres valors no varien respecte del vent horitzontal.

La funció de les botavares és la de mantenir els detectors fora de la capa límit tèrmica del RSM, per així minimitzar la pertorbació del flux de vent per part del RSM a la punta de la botavara, on es situen aquests detectors. A part, les dues botavares estan separades, per tal de garantir que almenys una d'elles

---

<sup>13</sup>Una botavara és un pal horitzontal que en aquest cas serveix per a la subjecció dels detectors bidimensionals.

enregistrarà les dades del vent correctament quan l'altre es trobi a l'estela del rover.

- b) **Pressió.** El sensor de pressió està situat dins del cos del rover, i roman connectat amb l'atmosfera exterior amb un tub. El tub connecta amb l'exterior a través d'una petita obertura existent en el cos del rover, que consta d'una protecció contra la pols. El rang de mesures va des d'1 Pa fins a 1150 Pa, amb una precisió de 20 Pa i una resolució de 0.5 Pa. Finalment, com que el sensor de pressió està en contacte amb l'atmosfera marciana, s'instal·la un filtre HEPA<sup>14</sup> a l'entrada del tub per evitar així la contaminació de l'ambient de Mart.
- c) **Humitat relativa.** Està situat dins un cilindre protector, en el màstil de teledetecció. El sensor d'humitat mesura la humitat relativa amb una precisió del 10% en el rang de 200 K a 323 K, amb una resolució d'1 K. Com en el cas del PS, el cilindre està protegit per un filtre de pols que l'envolta, per tal d'evitar l'acumulació de pols en el sensor.
- d) **Temperatura de l'aire.** En total hi ha cinc sensors encarregats de la mesura de la temperatura de l'aire marcià, tres dels quals es situen al RSM. Els altres dos estan situats al cos del rover per assegurar així que almenys un es troba en contra del vent. Situats a sobre de petites forquilles d'inèrcia tèrmica i fora de la capa límit del rover, aquests cinc conjunts de tres termoparells mesuren la temperatura atmosfèrica. El rang de la mesura va dels 150 K fins als 300 K, amb una resolució de 0.1 K i una precisió requerida de 5 K.
- e) **Temperatura del sòl.** Acoblat al RSM i apuntant a la part davantera del rover, el TIRS mesura la xarxa de radiació tèrmica infraroja, situada prop de la superfície de Mart, amb l'ajuda d'un conjunt de cinc termopiles:
- Tres termopiles que apunten cap baix, amb bandes de 16-20, 6.5 de tall i de 8  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$ .
  - Dues termopiles que apunten cap dalt, amb bandes de 6.5 de tall i de 14.5  $\mu\text{m}$  a 15.5  $\mu\text{m}$ .

- f) **Radiació.** El RDS està compost per vuit fotodíodes orientats cap dalt, abastant així les diferents bandes d'absorció de l'ozó, la radiació ultraviolada, el

---

<sup>14</sup>Els filtres HEPA són un tipus de filtre d'aire d'alta eficiència, que redueixen la propagació d'agents patògens a través d'aire re-circulat.

rang visible i l'infraroig de l'espectre; així com també la cal·libració de les diferents càmeres que porta instal·lades, que es comentaran posteriorment. També, dins d'aquests vuit fotodíodes es troba un filtre pancromàtic, amb una precisió superior al 8% del rang total per a cada canal, calculat en funció dels nivells de radiació de Mart i de la mínima opacitat de pols.

Cal mencionar que tots els sensors tenen un camp de visió de 30°, a excepció del pancromàtic, que té un camp de visió de 180°.

D'altra banda, existeix una segona matriu de fotodíodes, aquests orientats de manera lateral, que s'encarreguen de caracteritzar l'angle de dispersió de la llum a diferents angles.

El conjunt dels fotodíodes i la càmera està ubicat a la coberta del rover, sense cap tipus de protecció contra la pols. Per poder mitigar la degradació provocada per la pols, es col·loquen anells magnètics al voltant de cada fotodíode, per maximitzar així el seu temps operacional. No obstant, per controlar la deposició de pols a sobre dels sensors, periòdicament es prenen imatges dels mateixos amb l'ajuda d'una càmera, anomenada MastCam-Z. Finalment, una comparació entre les diferències dels MEDA i de la MastCam-Z permeten l'avaluació del nivell de deposició de pols.

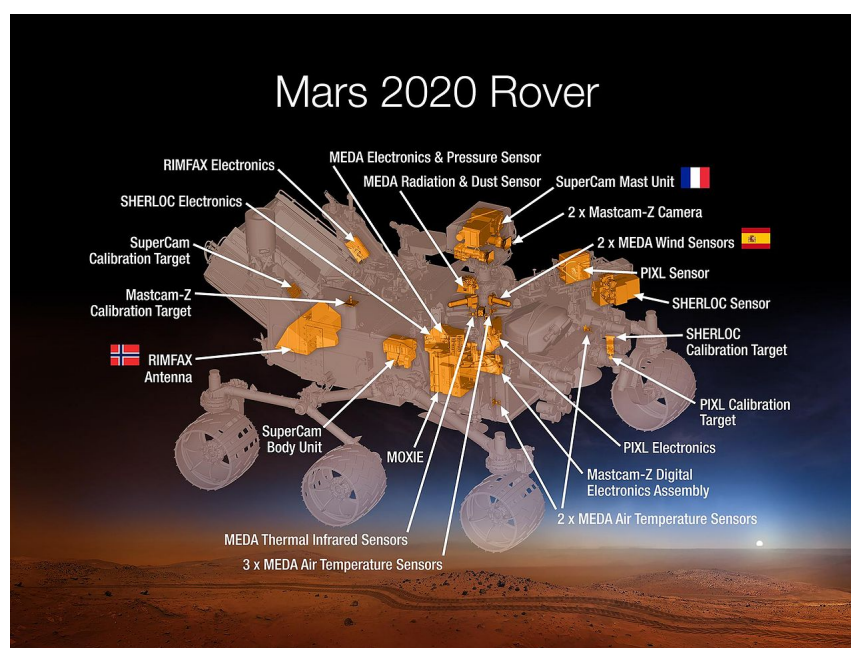


FIGURA 2.37: Representació del Rover *Perseverance* i ubicació de tots els sensor i càmeres que porta incorporats [28]



A mode de resum i d'una manera general, el MEDA té cinc funcions:

1. **Estudiar l'ambient polsós.** La pols comana a Mart. Processos químics són posats en marxa per a l'anàlisi tant de la superfície com de l'atmosfera.
2. **Ajudar a predir el temps atmosfèric.** Ajuda als astronautes a preveure les condicions atmosfèriques a les que hauran de fer front. La seva seguretat depèn de la precisió del temps.
3. **Mesurar la radiació.** La radiació provinent del Sol i de l'espai pot alterar les traces de qualsevol vida passada de les roques de Mart. El MEDA ajuda als científics a entendre aquests canvis i ajudar a saber el que s'està buscant.
4. **Mesurar el vapor d'aigua.** Els sensors d'humitat donen una explicació de com el vapor d'aigua s'intercanvia des del sòl cap a l'atmosfera de Mart.
5. **Mostrar l'impacte del temps atmosfèric.** El MEDA mostra com la pols i els temps atmosfèric afecta a la *performance*, en aquest cas de la Missió Mars 2020.

Considerant que la missió del *Perseverance* està programada pel 2020, es dona per suposat que els sensor que aquest incorpori, seran els més avançats en el moment del llançament.

Si bé l'objectiu d'aquest projecte es centra en la implementació d'un vehicle de molt major tamany que el *Perseverance*, més similar a un cotxe i amb molta major capacitat de càrrega; s'intentaran incorporar tots els seus sensors. També, encara que alguns sensors no podran estar ubicats de la mateixa manera que en el Rover *Perseverance*, en la mesura que sigui possible, s'intentarà mantenir l'estructura dels mateixos, per aconseguir així que siguin de la mateixa utilitat que en el rover no tripulat. Per exemple, en el cas del conjunt dels fotodíodes i la càmera, si no es poden ubicar a la coberta del *buggy*, s'ubicaran a una altra zona, prèviament estudiada, també la MastCam-Z canviarà la seva ubicació per a poder mantenir intacta la seva funció.

A banda dels sensors MEDA, la missió Mars 2020 incorpora una sèrie de sistemes molt interessants des del punt de vista de l'anàlisi de la superfície marciana, que suposa un dels principals objectius del projecte actual.

Un dels sistemes en qüestió és l'anomenat **MOXIE**, que malgrat estigui encara en vies de desenvolupament, s'espera que esdevingui una font d'oxigen en el planeta roig. La seva funció principal és la de convertir el diòxid de carboni en oxigen, i que aquest pugui ser emprat com a combustible o per a la respiració dels astronautes. Per ara, té el tamany d'una bateria d'automòbil, i la capacitat de produir 10 grams d'oxigen per hora.

Un altre sistema és el **PIXL**, que ajuda a l'estudi dels microbis que hagi pogut tenir Mart en el passat. Consta d'un espectròmetre de rajos X que identifica elements químics a petita escala. També, incorpora una càmera capaç d'estudiar les textures de les roques i del terra marcià i analitzar característiques del tamany d'un gra de sal.

A continuació, uns dels sistemes més útils és el **RIMFAX**, ja que permet observar el subsòl de Mart amb l'ajuda d'un radar, de manera que no són necessàries les perforacions. Consta d'un radar molt potent capaç de penetrar l'escorça del planeta roig i poder analitzar el que hi ha a sota. També és molt útil per a la detecció d'aigua o gel, així com també per a l'anàlisi del passat de Mart, quan diferents roques i fluids es van establir en capes que ara es troben enterrades.

Per últim, el sistema **SHERLOC** és l'encarregat de la detecció a gran escala de minerals, molècules orgàniques i potencials bio-signatures. Fa ús de làsers i càmeres per a la cerca d'organismes i minerals que hagin estat alterats per ambients aquàtics i que puguin ser signes de vida microbiana passada. Aquest sistema opera durant el dia i durant la nit i porta petites traces dels vestits espacials, per a veure la seva degradació i estudiar el seu manteniment en el dur entorn marcià.

## 2.8.2 Càmeres

Un cop analitzats tots els sistemes i sensors que porta el Rover *Perseverance*, i que també s'implementaran en el rover tripulat, a continuació s'estudiaran les càmeres i els sistemes de vigilància de l'entorn.

A l'apartat anterior s'ha mencionat la **MastCam-Z**, que a banda de les funcions especificades de la detecció de la pols acumulada sobre els fotodíodes del MEDA, té la funció de fotografiar imatges panoràmiques i en tres dimensions, així com també

filmant objectes que es troben a una gran distància a una alta definició, mentre el vehicle circula a gran velocitat. D'aquesta manera, serà possible analitzar objectes llunyans i elegir quines roques podrien preservar signes passats de vida a Mart, sense la necessitat d'acostar-s'hi.

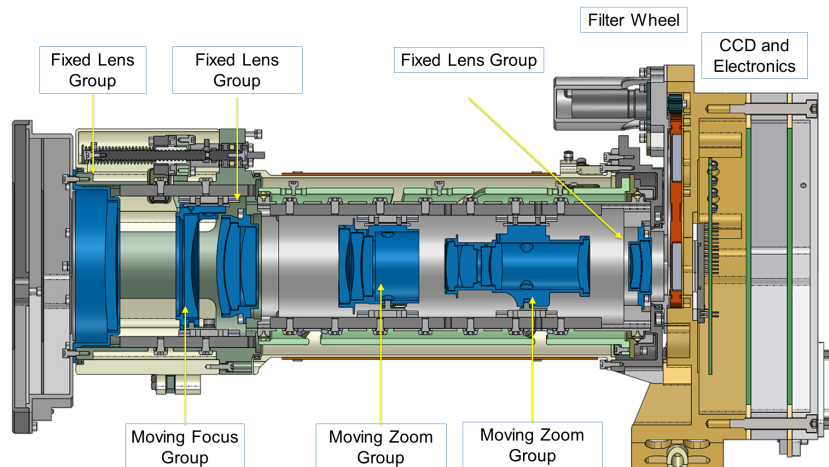


FIGURA 2.38: Esquema de la MastCam-Z [29]

D'altra banda, existeix una altra càmera anomenada **SuperCam**. Aquesta té un funcionament similar al sistema SHERLOC, ja que també fa ús de làsers i càmeres per a examinar roques i el sòl amb l'objectiu de trobar composts orgànics que podrien estar relacionats amb la vida passada a Mart. A més a més, és capaç d'identificar la composició química i mineral d'objectius tan petits com la punta d'un llapis des d'una distància de 7 metres. A part, la SuperCam treballa conjuntament amb el MEDA en l'anàlisi de l'aire i en la predicció del temps atmosfèric. Finalment, la SuperCam mesura el perill de la pols, identificant els elements de la pols de Mart poden ser perjudicials pels humans.

### 2.8.3 Sistemes de comunicació

Deixant de banda els sistemes de vigilància i d'anàlisi tant de la superfície com de l'atmosfera, els següents sistemes que s'implementaran seran els de comunicació. Aquests esdevenen de gran importància, ja que és essencial per al vehicle estar comunicat amb la Terra i amb el laboratori fixe que es tingui a Mart.

Per a la comunicació amb la Terra, d'acord amb [30], hi ha dues maneres de dur-se a terme. Primerament, fent ús de la DSN de la NASA, un sistema de comunicacions entre la Terra i Mart. La *Deep Space Network* consisteix en tres instal·lacions de comunicacions en espais profunds situades a  $120^\circ$  al voltant de la Terra, concretament una està ubicada a Madrid, una a Canberra i l'altra al desert del Mojave, a Califòrnia. Aquests emplaçaments estratègics permeten una observació constant a mesura que la Terra rota sobre el seu propi eix.

Tal com indica [81], la DSN es comunica amb gairebé tots els objectes volants, ja siguin satèl·lits, naus espacials... d'arreu de tot el sistema solar, estiguin enfocats a l'estudi de Mart, de Saturn, de Júpiter, simplement navegant, observant el Sol o els cometes i asteroides. Les antenes de la DSN estan molt ocupades intentant fer el *tracking* de totes les missions espacials a la vegada. És per això que és molt important que les antenes tinguin un sistema per evitar els senyals ocupats. Aquest és un sistema de planificació extremadament sofisticat amb equips de centenars de negociadors arreu del món que donen prioritat a les diferents missions.

Durant els processos crítics de les missions, com puguin ser l'aterratge sobre Mart, múltiples antenes de la Terra i del *Mars Reconnaissance Orbiter*<sup>15</sup> realitzen el seguiment dels senyals de la nau espacial per tal de minimitzar el risc de la pèrdua de comunicació. Després, durant les operacions a terra, el MSL utilitza una funció de la DSN, que permet a una simple antena obtenir enllaços descendents de quatre missions alhora, a banda de la utilització dels enllaços de comunicació amb la *Mars Odyssey* i el MRO.

Cal destacar que els enllaços descendents són els que proveeixen la informació des de Mart cap a la Terra i tarden al voltant dels 15 minuts; i que la funció de la DSN permet tan sols una nau espacial tenir l'enllaç ascendent en cada moment, de manera que es dona prioritat en cada moment a una missió diferent.

L'altra via de comunicació amb el planeta roig és mitjançant enllaços de comunicacions proporcionats per satèl·lits que estiguin en l'òrbita de Mart, com es representa en la imatge següent:

---

<sup>15</sup>El Mars Reconnaissance Orbiter és un satèl·lit que ha estudiat l'atmosfera i el terreny de Mart des del 2006.

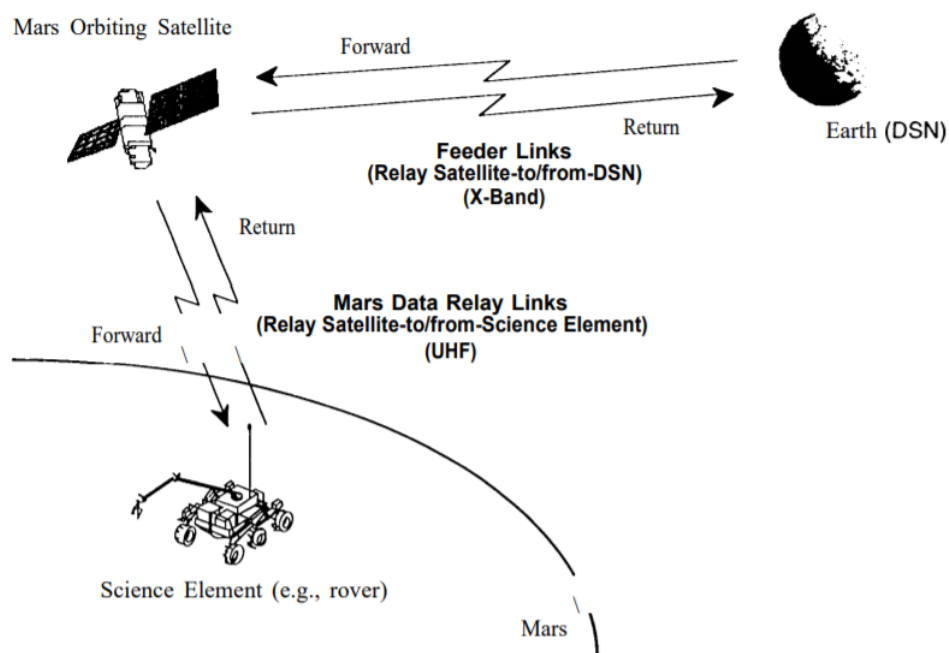


FIGURA 2.39: Representació del funcionament de la comunicació per enllaços [30]

Aquests enllaços proporcionen una millora extraordinària del rendiment en la comunicació, comparat amb la comunicació d'enllaç directe a la Terra. No obstant, malgrat aquesta significativa millora, els rovers i altres aterradors encara necessiten d'un disseny minuciós del sistema de telecomunicacions per assegurar les rutes de dades i telemetria. Alguns factors que afecten el disseny de la missió són la regularitat, la durada del contacte que es té amb el satèl·lit i la potència de transmissió de dades. Altres com la disponibilitat, el cost i la massa dels equips de comunicació també condicionen el seu disseny.

Els factors que afecten a la pròpia comunicació són, entre d'altres, l'altitud de les òrbites que tengui el satèl·lit enllaç, essent les de major altitud les que generalment aporten un major temps de comunicació. Alguns dels futurs rovers solars, tan sols es podran comunicar amb la Terra quan la matriu solar rebi la llum del sol des d'un angle d'elevació per sobre d'un valor especificat, com és el cas de la següent figura:

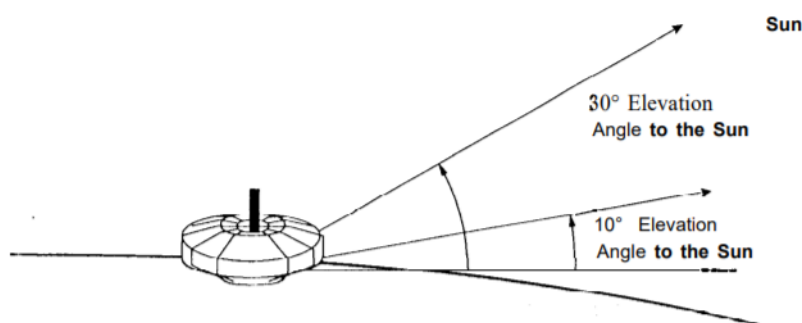


FIGURA 2.40: Representació de l'angle d'elevació a partir del qual es pot rebre el senyal [30]

Això, juntament amb la rotació de Mart al voltant del Sol, suposa el rang total de comunicacions Mart-Terra fent ús d'aquest sistema de comunicació.

Per tant, s'implementaria una combinació dels dos sistemes de comunicació. En primer lloc, s'utilitzaria la DSN per a l'aterratge i per a les operacions més complicades. A continuació, es faria ús de la comunicació per enllaços, utilitzant els satèl·lits que orbiten Mart sempre que fos possible, i en cas de no rebre la suficient energia solar per poder a dur a terme les comunicacions, es tornaria a fer ús de la DSN.

No obstant, un estudi de la ESA afirma que la interposició del Sol entre la posició de la Terra i de Mart no suposaria un problema amb el seu nou descobriment, que seria el de mantenir els satèl·lits enllaç en una "òrbita B", que contràriament a les "òrbites A" no segueixen les lleis de les òrbites Keplerianes. Per mantenir-los en òrbita, segons explica [31], s'haurien de propulsar amb xenó.

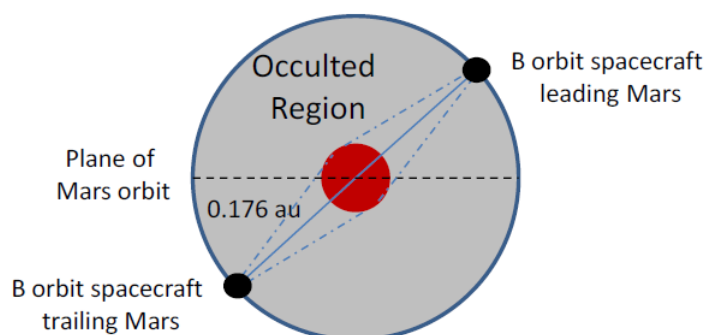


FIGURA 2.41: Representació de les "òrbites B" [31]

Per tant, si finalment aquest descobriment és viable i es pot dur a terme, el **sistema de comunicació elegit seria el dels satèl·lits enllaç**.

#### 2.8.4 Sistemes de localització

Pel que fa a la navegació, les antenes de la DSN recullen senyals de les aeronaus que els ajuden a ubicar-les. Encara que mitjançant aquest recurs, els enginyers no són capaços de veure l'aeronau físicament, sí que es té constància de la seva situació en cada moment. La DSN escolta els senyals provinents de l'espai exterior i pot detectar on és la nau espacial, en aquest cas el rover, depenent d'on proveniguin aquests senyals. Aquest sistema de seguiment s'anomena *tracking coverage* i inclou les *Doppler Data*, el *Ranging* i la *Delta Dor*, que s'explicaran a continuació:

- a) **Doppler Data.** Per al càlcul de la velocitat de l'aeronau, els enginyers utilitzen les dades Doppler per traçar la velocitat al llarg de la línia de visió entre la Terra i l'aeronau. Aquest sistema està basat en l'efecte Doppler, és a dir, en la variació de freqüència d'un objecte en moviment en relació a la seva posició respecte del receptor. Els astrònoms habitualment utilitzen els termes "desplaçament blau", on la llum d'un objecte que s'acosta es desplaça l'extrem blau de l'espectre (freqüències més altes); i "desplaçament vermell", on la llum d'un objecte que s'allunya es desplaça a l'extrem vermell de l'espectre (freqüències més baixes). La nau MSL es comunica amb els controladors de terra mitjançant senyals de ràdio. Els controladors saben la freqüència del senyal que s'emet des de l'aeronau, però com que aquesta es desplaça, es produeix l'efecte Doppler, de manera que els enginyers comparen la freqüència rebuda amb l'emesa per trobar el desplaçament de Doppler. Finalment, gràcies a això es troba la velocitat a la que navega l'aeronau.
- b) **Ranging.** S'envia un codi a la nau espacial, fent que el rebí i immediatament el retorni a l'antena de la pròpia nau espacial. Posteriorment, s'envia de tornada a la Terra. El temps que tarda en enviar i rebre el codi, menys el retard que suposa el rebot del senyal a la nau espacial és dues vegades el temps llum fins a la nau espacial. Un cop obtingut aquest temps, es divideix entre dos i es multiplica per la velocitat de la llum i s'obté la distància que hi ha des de la

DSN fins a la nau espacial. Encara que pugui semblar un procés molt simple, dóna una gran precisió, on l'error màxim es troba entre cinc i deu metres.

- c) **Delta Dor.** Aquest sistema és similar a l'anterior, amb la diferència que també requereix d'un tercer senyal d'una font de ràdio natural que apareix a l'espai, com un quàsar, que ajuda als enginyers i als científics a obtenir una ubicació més precisa. Els quàsars són posicions conegudes a l'espai i s'utilitzen com a mètode de cal·libració per a mesures realitzades en qüestió de minuts. El fet de poder dur a terme la localització per *ranging* i per quàsar alhora i restar les diferències, redueix significativament l'error en la precisió.

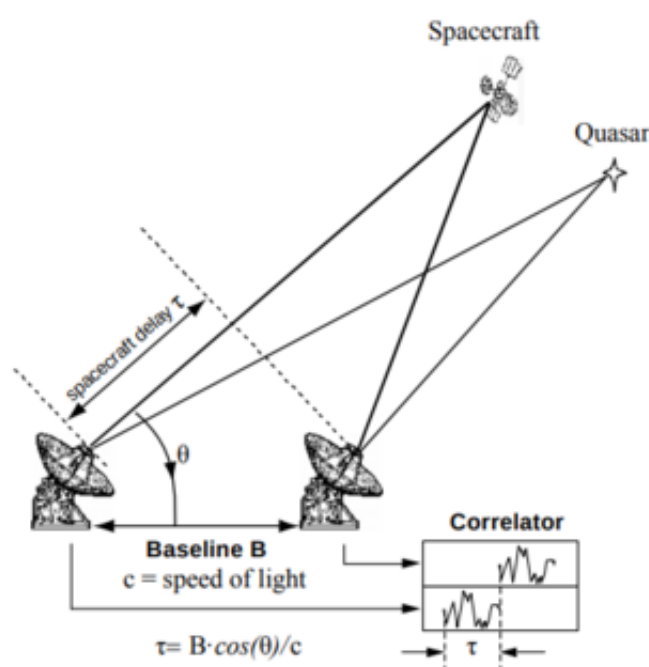


FIGURA 2.42: Sistema de localització Delta Dor [32]

Un altre mètode seria la **navegació inercial**, on ordenadors conjuntament amb acceleròmetres i giroscopis contínuament determinen la posició i l'orientació del vehicle. Encara que aquest sistema té diferents fonts d'error integrades, pot proveir informació correctament i a una alta freqüència (normalment d'uns 100 Hz a 200 Hz), però tan sols a curt termini. En canvi, el sistema de posicionament global (GPS) pot proporcionar informació de velocitat i posició a freqüències baixes (normalment d'1 Hz a 4 Hz).



Per tant, segons [33], la integració d'ambdós sistemes pot generar un sistema de navegació capaç d'explotar els avantatges que tenen cada un per separat, així com limitar els seus inconvenients. Així, un INS assistit per GPS pot produir estimacions de l'estat complet del vehicle, tant a alta freqüència com a lliure de deriva.

La integració dels sensors inercials amb el GPS es pot classificar de tres maneres:

1. **Sistema dèbilment acoblat.** Les dades del GPS es fusionen explícitament amb les dades del INS. Aquests tipus de sistemes són molt dependents de la disponibilitat de les dades del GPS.
2. **Sistema ben acoblat.** Les mesures primàries del GPS es fusionen directament amb les dades del INS. El principal avantatge d'aquest tipus de mètode és que el sistema pot suportar les mesures del GPS sense actualitzacions, fins i tot quan hi ha menys de quatre satèl·lits disponibles. El desavantatge és l'increment de complexitat respecte al sistema anterior.

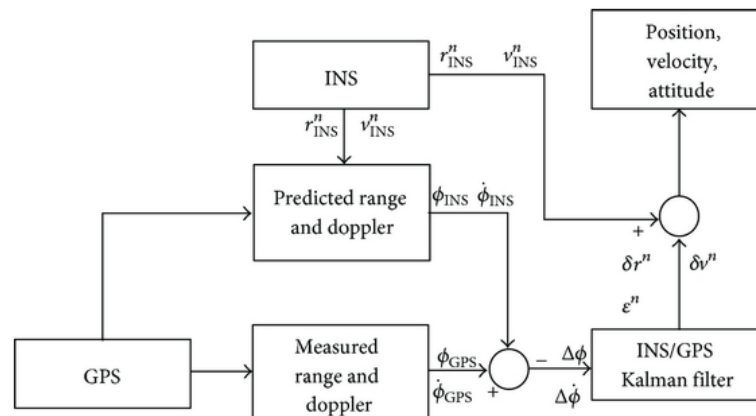


FIGURA 2.43: Esquema del sistema ben acoblat de INS assistit per GPS [33]

3. **Sistema ultra acoblat.** El senyal de sortida del INS és emprat com a una entrada externa del receptor de GPS. La sortida del INS ajuda a una adquisició de senyal més ràpida i al rebuig d'interferències durant el seguiment del senyal. No obstant, la implementació d'aquests tipus de sistemes és complicada perquè es requereix accés al microprogramari (*firmware*) del GPS.

L'arquitectura del sistema està basada en el típic bucle de predicció-actualització, com es mostra a la següent figura:

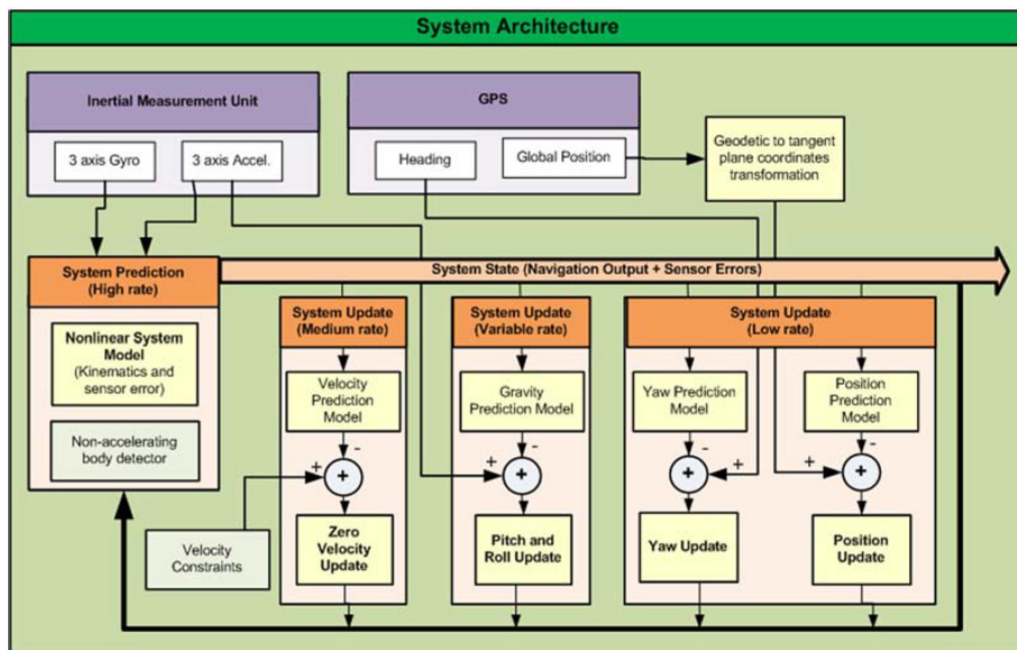


FIGURA 2.44: Esquema de l'arquitectura del sistema de navegació inercial assistida per GPS [33]

El funcionament és el següent:

Primerament, les equacions del sistema predictiu propaguen l'estimació de l'estat del sistema en el temps, amb l'ajuda de les mesures dels acceleròmetres i dels giroscopis. Les equacions predictives ofereixen una correcta estimació a altes freqüències, però tan sols a curt termini.

A continuació, es produeixen les actualitzacions del sistema, per corregir i limitar la deriva en les estimacions de l'estat del sistema, la informació de referència global juntament amb els supòsits a priori sobre la dinàmica dels sistemes, es fusionen en el sistema mitjançant les equacions d'actualització. Es consideren tres tipus d'actualitzacions del sistema:

- Actualitzacions mitjançant restriccions dinàmiques: El coneixement a priori de la dinàmica del vehicle s'incorpora al sistema a un ritme mitjà.
- Actualitzacions utilitzant l'observació del vector de la gravetat: La informació sobre l'actitud del vehicle s'incorpora al sistema a un ritme variable.

- Actualitzacions per mitjà de les mesures del GPS: La informació sobre la posició i el rumb del vehicle són incorporats al sistema a un ritme baix.

Com s'ha comentat a la [Subsecció 2.8.3](#), per al sistema de comunicació s'utilitzarà en part el DSN, de manera que es podrà aprofitar la relació ja existent amb aquest centre per dur a terme el seguiment de la navegació, mitjançant els tres sistemes comentats anteriorment. No obstant, es considera que la navegació inercial assistida pel sistema GPS és una altra opció viable, de manera que en aquest cas, per afavorir la precisió de la localització del vehicle espacial, s'instal·larien els acceleròmetres i giroscopis necessaris per a dur a terme el navegació inercial i obtenir així la informació el més precisa possible en tot moment.

### 2.8.5 Altres sistemes

En darrera instància, en aquest apartat es recolliran alguns sistemes que es puguin implementar que no encaixin en la descripció dels explicats anteriorment.

En aquest cas, es vol fer menció a un sistema en particular, que es troba en el SEV de la NASA i que ajudaria als astronautes a mantenir l'habitacle del rover net dels agents climatològics de Mart, a banda d'ajudar-los a maximitzar l'espai interior del mateix. Aquest dispositiu és un **suitport**, que consisteix en un petit habitacle condicionat perquè els astronautes no hagin d'entrar amb el vestit espacial dins del vehicle, sinó que el puguin depositar allà abans d'entrar en ell. D'aquesta manera, els vestits espacials sempre romandrien a fora i no ocuparien un espai útil dins de l'habitacle del vehicle espacial. L'esquema del *suitport* acoblat al vehicle seria anàlog al del SEV de la NASA, representat en la següent figura:

FIGURA 2.45: *Suitport* acoblat al SEV de la NASA [1]

No obstant, aquest concepte de *suitport* no formaria part del vehicle d'una manera permanent, sinó que seria un habitacle portàtil, que es podria llevar i posar tantes vegades com calgués. D'aquesta forma, estaria acoblat o no al vehicle principal baix demanda dels astronautes, de manera que se'n faria un ús adequat i solament quan es necessités.

Un altre sistema imprescindible el conformen els **compartiments d'oxigen d'emergència**. Aquests han d'estar ubicats dins de l'habitacle del rover, i han de contenir l'oxigen suficient per recórrer la distància que separi el vehicle del laboratori fixe. D'aquesta manera, els compartiments limitaran en part la distància teòrica fins a la que es pot allunyar el vehicle del laboratori durant una missió.

Finalment, un sistema essencial que no s'ha mencionat a la [Subsecció 2.7.1](#) és la **porta de càrrega**. Aquesta anirà ubicada a la part posterior del vehicle i en formarà part de la carrosseria. La funció principal de la porta és proveir la facilitat tant de càrrega com de descàrrega de materials que no puguin ésser analitzats amb els sensors incorporats i que necessitin el seu transport per a una anàlisi més exhaustiu en el laboratori, com per exemple algunes roques específiques, etc.

# Capítol 3

## Conclusions

En aquest punt de l'estudi, gairebé tots els paràmetres imposats prèviament han estat definits. Una primera estimació dels pesos ha estat elaborada, considerant els rovers tripulats existents a l'actualitat i els projectes que s'espera que es duguin a terme en el futur immediat; deixant el pes del vehicle en 3735 kg.

També, juntament amb l'estudi de les condicions operatives de Mart, una primera aproximació de les forces que actuaran sobre el vehicle ha estat duta a terme, amb l'objectiu de poder simular el comportament del rover amb l'ajuda del programa *Matlab*. La [Figura 2.11](#) mostra la *performance* del rover on és capaç d'assolir una velocitat màxima de 20.88 km/h, i que la velocitat de creuer, uns 15 km/h, s'assoleixen en aproximadament 20 segons.

A més a més, després de realitzar l'estudi de les bateries, s'ha optat per la implementació de les bateries de 48 V, que típicament s'utilitzen en vehicles híbrids suaus. Tal i com s'afirma a la [Subsecció 2.3.10](#), són les que més s'adeqüen als requeriments del motor, i la seva baixa potència en relació als vehicles convencionals faria funcionar el sistema propulsiu sense cap inconvenient.

D'altra banda, la càrrega de les bateries mitjançant plaques solars ha estat estudiada, ubicant finalment els panells al sostre del vehicle. Com que la potència de càrrega de les bateries és de 14 kW, els panells es poden adaptar a la superfície del rover per tal de dur a terme la seva funció ocupant tan sols el sostre, que és on inicialment s'havia previst que s'ubiquessin.

Des del punt de vista de la realització del treball, el fet de no tenir referències sobre aquests tipus de vehicles ha provocat una certa incertesa, sobretot en el dimensionat del motor i de les bateries, que tot i que teòricament compleixen amb els requeriments establerts, no es pot comprovar amb el que seria un cotxe elèctric terrestre, ja que les velocitats d'actuació del rover són molt inferiors.

A part, un estudi exhaustiu dels possibles tipus de rodes que es poden implementar en un entorn com Mart ha resultat en l'elaboració d'una matriu de decisió, proporcionada a la [Taula 2.6](#), que ha acabat en la tria de les rodes de Nitinol de la NASA, que són les que han estat testejades específicament en un entorn marcià artificial i es poden deformar un 10% més abans d'arribar a ruptura que les rodes no-pneumàtiques.

A més a més, un estudi sobre les suspensions ha resultat en la implementació de les tipus McPherson per a la part davantera i les rígides per a la part posterior, conferint així al rover la millor adaptació possible al terreny irregular de Mart.

La carrosseria, el xassís i el revestiment han estat un altre punt important del treball, ja que la reducció del pes en aquests fa possible l'abaratiment del vehicle, com a conseqüència de la necessitat de menys bateries. Finalment, s'ha optat per un xassís perimetral molt resistent d'acer i alumini, amb carrosseria de fibra de carboni, que comportarà la reducció en el pes esmentada.

Un dels aspectes més rellevants del vehicle és la seva estructura, ja que les seves prestacions com a laboratori mòbil feien impossible la implementació del rover obert. L'estructura tancada, juntament amb la pressurització suposen un increment en la seguretat i en la comoditat pels astronautes. A la part posterior està ubicada una porta de càrrega, juntament amb un *suitport* portàtil, que permet als astronautes guardar els vestits espacials fora del vehicle, evitant-ne així la seva contaminació.

Per concloure, un cop acabat el dimensionat inicial i la tria dels aspectes que s'han considerat més importants del vehicle i que estan presents en aquesta memòria, es pot començar a modelar amb l'ajuda d'un programa de CAD, com pugui ser *Solidworks*, amb l'objectiu de testejar-lo i determinar-ne així la viabilitat en la seva construcció.

## 3.1 Recomanacions de continuïtat

Com ja s'ha comentat anteriorment, la següent passa per seguir amb aquest projecte és la construcció i el posterior testejat del model tridimensional, per tal de verificar la resistència de l'estructura.

D'altra banda, com que aquest projecte és de caràcter teòric, caldria comprovar amb especialistes en el sector la viabilitat dels materials emprats, fent referència als materials del conjunt xassís-carrosseria i al que componen les rodes.

Un cop fet i testejat el model tridimensional, en cas que fos viable, es passaria a la seva construcció i al nou testejat en un terreny marcià artificial.

Finalment, en cas que totes les proves resultin en un prototip viable, es podria incorporar ja a una missió espacial per a realitzar l'objectiu pel qual ha estat elaborat.





# Apèndix A

## Pressupost

El pressupost total de l'estudi és de **27.000 €**.

El pressupost total de la fabricació és de **135.508.100 €**.

Per tant, el cost total del projecte és de **135.535.100 €**.

Els detalls es troben al document adjunt: **Estudi d'un buggy elèctric pel transport d'astronautes a la superfície de Mart - Pressupost**



# Apèndix B

## Diagrama de blocs Simulink

### B.1 Velocitat en funció del parell

```
function T = fcn(v)
```

```
    if v < 15/3.6
```

```
        T=60;
```

```
    else
```

```
        T=(60)*(15/3.6)/(v);
```

```
    end
```

```
end
```



# Bibliografia

- [1] Nasa, “The Space Exploration Vehicle Characteristics (Surface Concept),” tech. rep., NASA, 2011.
- [2] CBS, “NASA’s rover concept vehicle merges science and science fiction - CBS News,” 2017. <https://www.cbsnews.com/news/new-nasa-mars-rover-concept-vehicle/>. [Accedit dia 19/03/2020].
- [3] Motors, T., “Cybertruck | Tesla,” 2020. [https://www.tesla.com/es\\_ES/cybertruck](https://www.tesla.com/es_ES/cybertruck). [Accedit dia 20/03/2020].
- [4] Wall, M., “Toyota, JAXA Aim to Launch Crewed Moon Rover in 2029,” 2019. <https://www.space.com/toyota-japan-moon-rover-2029-timeline.html>. [Accedit dia 19/03/2020].
- [5] Ming, D. W. and Morris, R. V., “Chemical, mineralogical and physical properties of martian dust and soil,” tech. rep., Astromaterials Research and Exploration Science Division, NASA Johnson Space, Houston, Texas, 2017.
- [6] Schweber, B., “Don’t Ignore the Humble Brushed DC Motor.” = <https://www.mouser.es/applications/dont-ignore-the-brushed-dc-motor/>. [Accedit dia 24/04/2020].
- [7] Riba, J. R., “Electromobility and electrical aircraft systems,” tech. rep., Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Superior d’Enginyeries Industrial, Audiovisual i Aeroespacial de Terrassa (ESEIAAT), Terrassa, Barcelona, 2020.
- [8] GalcoTV, “Advantages and Disadvantages of Brushed and Brushless Motors,” 2015. = <https://www.youtube.com/watch?v=Y7nQI2xM2as>. [Accedit dia 24/04/2020].

- [9] Jaszczolt, C., “Understanding permanent magnet motors,” 2017. = <https://www.controleng.com/articles/understanding-permanent-magnet-motors/>. [Accedit dia 24/04/2020].
- [10] Manso, N., “Motores eléctricos,” 2014. <https://sites.google.com/site/fpbnereamanso2014/2o-fpb-15-16/modulos-profesionales/equipos-electricos-y-electronicos/08-motores-y-otros-actuadores-electrodomesticos/02-motores-electricos>. [Accedit dia 25/04/2020].
- [11] Chin, Y. k., “A permanent magnet synchronous motor for an electric vehicle - Design Analysis,” tech. rep., Electrical machines and power electronics Department of Electrical Engineering Royal Institute of Technology, Stockholm, 2004.
- [12] Bosch, “48 V battery for MHEV.” <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/electric-drive/48v-battery/>. [Accedit dia 25/06/2020].
- [13] Campos, G., “Panasonic quiere paneles solares en los coches eléctricos,” 2017. <https://www.electrocoches.eu/noticias/panasonic-quiere-paneles-solares-en-los-coches-electricos/>. [Accedit dia 26/06/2020].
- [14] Goodyear, “Goodyear reCharge Concept – Making Tire Changing Easy with Customized Capsules that Renew your Tires,” 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=6YzUy1SXoaw>. [Accedit dia 04/05/2020].
- [15] Michelin, “Michelin Vision Concept Tire,” 2017. <https://michelinmedia.com/michelin-vision-concept-tire/>. [Accedit dia 05/05/2020].
- [16] Hankook, “Hankook Design Project,” 2012. <https://www.hankooktire.com/mea-en/about-hankook-tire/technology/design-innovation/design-project/2012.html>. [Accedit dia 05/05/2020].
- [17] NASA, “Superelastic Tire.”

- 
- [18] Oliva, R., “Suspensiones vehiculares,” tech. rep., 2011.
- [19] Moya, B., “Tipos de suspensiones: ventajas y desventajas,” 2014. <https://noticias.coches.com/consejos/tipos-de-suspensiones-ventajas-y-desventajas/154515>. [Accedit dia 30/05/2020].
- [20] Multiservicio Automotriz, “Suspensión de brazos tirados o arrastrados,” 2011. <http://multiservicioautomotriz3h.blogspot.com/2011/03/suspension-de-brazos-tirados-o.html>. [Accedit dia 30/05/2020].
- [21] Shaikh, I., “What are the Types of Automobile Chassis ?,” 2020. <https://autoexplor.blogspot.com/2020/04/what-are-types-of-automobile-chassis.html>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [22] Buezo, S., “Estructuras y carrocerías de los vehículos,” 2015. <http://eayfnesergiobuezofragueiro.blogspot.com/2015/12/estructuras-y-carrocerias-de-los.html>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [23] MotorGIGA, “Bastidor en X, características.” <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/x-bastidor-en-definicion-significado/gmx-niv15-con195990.htm>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [24] Saiz, A., “Elementos amovibles y fijos no estructurales,” 2016. <http://alonsosaiz-sergioamov2016.blogspot.com/2016/12/carrocerias-de-vehiculos.html>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [25] Talleres y Repuestos, “Ventajas y desventajas de la carrocería monocasco.” <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/carroceria-y-chassis/627-ventajas-y-desventajas-de-la-carroceria-monocasco>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [26] CEDE, “Mantenimiento de vehículos centro documentación de estudios y oposiciones,” tech. rep., Madrid.
- [27] University of Stuttgart, “Thermal sprayed coatings for Carbon Fiber Reinforced Plastics.” <https://www.ifkb.uni-stuttgart.de/en/research/coating/coatingcfrp/>. [Accedit dia 27/05/2020].

- [28] NASA, “MEDA - NASA Mars 2020 Mission Perseverance Rover.” <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/instruments/meda/for-scientists/>. [Accedit dia 02/06/2020].
- [29] The Planetary Society, “Mastcam-Z design as of Critical Design Review,” 2017. <https://www.planetary.org/explore/projects/mars-2020/images/mastcam-z-design-as-of-cdr.html>. [Accedit dia 02/06/2020].
- [30] Home, W. D., Hastrup, R., and Cesarone, R., “Telecommunications for Mars Rovers and Robotic Missions,” tech. rep.
- [31] McKay, R., Macdonald, M., Bosquillon de Frescheville, F., Vasile, M., McInnes, C., and Biggs, J., “Non-Keplerian Orbits Using Low Thrust, High ISP Propulsion Systems,” tech. rep., European Space Operations Centre, ESA, Darmstadt, Germany; Advanced Space Concepts Laboratory, University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom; Space Advanced Research Team, University of Glasgow, Glasgow, United Kingdom.
- [32] Manikantan, R., Aravind, B., Dai, B. K., Mishra, P. D., Sonnada, M., and Srinivasan, R., “Delta-Dor correlator development at ISTRAC/ISRO,” *2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, AP-RASC 2019*, no. March, p. 2020, 2019.
- [33] Munguía, R., “A GPS-aided inertial navigation system in direct configuration,” *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 12, pp. 803–814, aug 2014.
- [34] Mars, K., “50 Years Ago: Mariner 6 and 7 off to Mars,” 2019.
- [35] Williams, D. D. R., “Soviet Missions to the Moon,” 2005. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/lunarussr.html>. [Accedit dia 16/03/2020].
- [36] NASA, “Viking 1 & 2 | Missions – NASA’s Mars Exploration Program.” <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/viking-1-2/>. [Accedit dia 16/03/2020].



- 
- [37] NASA, “NASA’s First Rover on the Red Planet | NASA,” 2019. <https://www.nasa.gov/image-feature/nasas-first-rover-on-the-red-planet>. [Accedit dia 17/03/2020].
- [38] NASA, “The Apollo Missions | NASA,” 2019. <https://www.nasa.gov/mission{ }pages/apollo/missions/index.html>. [Accedit dia 17/03/2020].
- [39] “EVSpecifications - Electric vehicle specifications, electric car news, EV comparisons,” 2020. <https://www.evspecifications.com/>. [Accedit dia 21/02/2020].
- [40] Vázquez Martínez, L., “La gran aventura de la exploración de Marte,” Tech. Rep. 1, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2008.
- [41] “ESA - Northern rim of Hellas basin,” 2004. <https://www.esa.int/Science{ }Exploration/Space{ }Science/Mars{ }Express/Northern{ }rim{ }of{ }Hellas{ }basin>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [42] “ESA - The Solar System’s grandest canyon,” 2012. <https://www.esa.int/Science{ }Exploration/Space{ }Science/The{ }Solar{ }System{ }s{ }grandest{ }canyon>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [43] “ESA Science & Technology - Tharsis Montes trio and Olympus Mons,” 2019. <https://sci.esa.int/web/mars-express/-/50297-tharsis-montes-trio-and-olympus-mons>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [44] “ESA - Robotic Exploration of Mars - Ascraeus Mons - digital terrain model,” 2019. <https://exploration.esa.int/web/mars/-/61212-ascraeus-mons--digital-terrain-model>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [45] Greicius, T. and Jackson, R., “Space Images | Investigating Mars: Pavonis Mons,” 2017. <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA22026>. [Accedit dia 26/03/2020].

- [46] Greicius, T. and Jackson, R., “Space Images | Investigating Mars: Arsia Mons,” 2018. <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA22158>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [47] Redd, N. T., “Olympus Mons: Giant Mountain of Mars | Space,” 2017. <https://www.space.com/20133-olympus-mons-giant-mountain-of-mars.html>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [48] Greicius, T. and Jackson, R., “Space Images | Elysium,” 1998. <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA00412>. [Accedit dia 26/03/2020].
- [49] Sharp, T., “What is Mars Made Of? | Composition of Planet Mars | Space,” 2017. <https://www.space.com/16895-what-is-mars-made-of.html>. [Accedit dia 25/03/2020].
- [50] “Marte.” <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0114-01/Marte.HTM>. [Accedit dia 25/03/2020].
- [51] Williams, D. D. R., “Mars’ Fact Sheet,” 2018. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>. [Accedit dia 24/03/2020].
- [52] Prange, L. J., *Vehicle Dynamics Modeling for Electric Vehicle*. PhD thesis, University of Washington, 2017.
- [53] “Engineering ToolBox. Rolling Resistance,” 2008. [https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d\\_{\\_}1303.html](https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_{_}1303.html). [Accedit dia 28/03/2020].
- [54] “Oleohidráulica Verion - Tablas de conversión y fórmulas. Cálculo para vehículos.” [http://www.verion.com.ar/images/productos/tablas-de-conversion-y-formulas/aplicaciones\\_{\\_}para\\_{\\_}motores\\_{\\_}hidraulicos.pdf](http://www.verion.com.ar/images/productos/tablas-de-conversion-y-formulas/aplicaciones_{_}para_{_}motores_{_}hidraulicos.pdf). [Accedit dia 28/03/2020].
- [55] Garcia, A., “Plug-in hyb. electr. vehicles des. & proj.,” tech. rep., Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Superior d’Enginyeries Industrial, Audiovisual i Aeroespacial de Terrassa (ESEIAAT), Terrassa, Barcelona, 2020.

- 
- [56] Electrical4U, “DC Motor or Direct Current Motor | Electrical4U,” 2019. <https://www.electrical4u.com/dc-motor-or-direct-current-motor/>. [Accedit dia 24/04/2020].
- [57] Electrical4U, “Brushless DC Motors (BLDC): What Are They & How Do They Work?,” 2019. <https://www.electrical4u.com/brushless-dc-motors/>. [Accedit dia 24/04/2020].
- [58] Woodford, C., “AC induction motors | How AC motors work - Explain that Stuff,” 2020. <https://www.explainthatstuff.com/induction-motors.html>. [Accedit dia 25/04/2020].
- [59] Embitel, “Motor Control Solutions: Brushless DC vs PMSM Motor Controller | Embitel,” 2019. <https://www.embitel.com/blog/embedded-blog/brushless-dc-motor-vs-pmsm-how-these-motors-and-motor-control-solutions-work/>. [Accedit dia 29/04/2020].
- [60] Ban, B., Stipetic, S., and Klanac, M., “Synchronous Reluctance Machines: Theory, Design and the Potential Use in Traction Applications.” 2019.
- [61] CanalMOTOR, “¿Qué es la tracción de un coche y cómo elegirla?,” 2019. <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/traccion-de-un-coche-elegirla/>. [Accedit dia 30/04/2020].
- [62] Piktronik, “PMSM Motors.” <https://www.piktronik.com/index.php/en-products-motors>. [Accedit dia 22/06/2020].
- [63] Bonfiglioli, “Motores Síncronos de Imanes Permanentes,” tech. rep.
- [64] RACE, “¿Cómo son las baterías de los coches eléctricos?,” 2019. <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos>. [Accedit dia 23/06/2020].
- [65] Hyundai, “Motor híbrido 48V ¿Cómo funciona?,” 2020. <https://www.hyundai.com/es/zonaeco/eco-drive/tecnologia/que-es-hibrido-48-v>. [Accedit dia 25/06/2020].

- [66] Ost, I., “How much Energy does a Solar Panel Produce?,” 2018. <https://www.solar.com/learn/how-much-energy-does-a-solar-panel-produce/>. [Accedit dia 25/06/2020].
- [67] Apollo Tyres, “Tubeless Tyre - Benefits of Having Tubeless Tyres in Your Car.” <https://www.apollotyres.com/en-in/car-suv-van/know-your-tyre/tyre-guides/the-benefits-of-having-tubeless-tyres-in-your-car-or-suv/>. [Accedit dia 01/05/2020].
- [68] Reyes, L., “Neumático Run Flat: ventajas y desventajas.” 2014. <https://www.autonocion.com/neumaticos-run-flat-son-todo-ventajas-o-tambien-hay-inconvenientes/>. [Accedit dia 01/05/2020].
- [69] Sánchez, M. and Guzmán, M., *Análisis de la Eficiencia Medioambiental del Recauchutado de Neumáticos*. Universidad de Elche, 2013.
- [70] Ortega, S., “Qué son los neumáticos ecológicos y cuáles son sus ventajas,” 2016. <https://www.leaseplango.es/blog/conduccion-eficiente/neumaticos-ecologicos-ventajas/>. [Accedit dia 04/05/2020].
- [71] Mamoozadeh, A. and Fratto, N., “The aerospace applications of Nickel-Titanium as a superelastic material,” tech. rep., Swanson School of Engineering, University of Pittsburg, 2018.
- [72] Kuka, “KUKA OmniMove,” 2020. <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/movilidad/plataformas-móviles/kuka-omnimove>. [Accedit dia 05/05/2020].
- [73] AutoScout24, “Qué es el chasis,” 2018. <https://www.autoscout24.es/informacion/asesor/tecnologia-del-automovil/funcion-chasis/>. [Accedit dia 09/05/2020].
- [74] Artés, D. G., “Técnica 4x4: chasis de largueros vs chasis monocasco, ventajas e inconvenientes,” 2020. <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/>

- [chasis-largueros-monocasco-ventajas-inconvenientes-video/](#). [Accedit dia 09/05/2020].
- [75] Technology, A., “Materials Used in Chassis and Body Components of the Vehicle.” <https://www.automotive-technology.com/articles/materials-used-in-chassis-and-body-components-of-the-vehicle>. [Accedit dia 25/05/2020].
- [76] Creel, K., Frampton, J., Honaker, D., McClure, K., and Zeinali, M., “Senior Design Project USRA/NASA/VPI PRESSURIZED LUNAR ROVER,” tech. rep., Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, United States of America, 1992.
- [77] Department of Energy, U., “Lightweight Materials for Cars and Trucks.” <https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks>. [Accedit dia 25/05/2020].
- [78] Aguilar, J. M., “La fibra de carbono en las carrocerías modernas,” 2018. <https://www.autobodymagazine.com.mx/2018/02/01/la-fibra-de-carbono1/>. [Accedit dia 25/05/2020].
- [79] Nogales, M., “Fibra de carbono y su aplicación en el automóvil,” 2017. <https://noticias.coches.com/noticias-motor/fibra-de-carbono-aplicacion-en-automovil/267594>. [Accedit dia 25/05/2020].
- [80] Kitfibradecarbono, “Pintura para Fibra de Carbono e Hidrografismo.” <https://www.kitfibradecarbono.com/pintura/>. [Accedit dia 28/05/2020].
- [81] NASA, “Communications with Earth – NASA’s Mars Exploration Program.” <https://mars.nasa.gov/msl/mission/communications/>. [Accedit dia 08/06/2020].