



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

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

ESTUDIO DE UN ROVER CON SUSPENSIÓN ROCKER-BOGIE PARA MISIONES EN MARTE

Document:

Memòria

Autor:

Hernán Martín Varela

Director /Co-director:

Carlos Gustavo Díaz González

Titulació:

Grau en Vehícles Aeroespacials

Convocatòria:

Primavera, 2021

TREBALL FINAL D'ESTUDIS

Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	V
Índice de cuadros	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
Objetivos	XV
Requerimientos	XVII
Alcance	XIX
Agradecimientos	XXI
Declaración de honor	XXIII
1 Introducción	1
1.1 Marco histórico	1
1.2 Estado del arte	5
1.2.1 Definición de un robot móvil	5
1.2.2 Locomoción	5
1.2.3 Historia de los rovers	6
1.3 Alcance y estudio de posibilidades	11
1.4 Esquema de la memoria	12
2 Marte	15
2.1 Nuestro viejo desconocido	15

2.2	Descubrimientos	17
2.3	Superficie marciana	20
2.3.1	Relieve	20
2.3.2	Geología	21
2.3.2.1	Cuevas	21
2.3.3	Topografía	23
2.3.4	Atmósfera	24
2.4	Zonas climáticas y estaciones	25
2.5	Zonas de exploración	27
2.6	Lugares más interesantes para visitar	30
3	Sistema de suspensión del r�ver	33
3.1	Suspensión de resorte independiente	34
3.2	Suspensión de cuerpo articulado	35
3.3	Suspensión rocker-bogie	37
3.3.1	Diseño	38
3.4	Suspensión de patas y oruga	39
3.5	Requisitos del diseño de la suspensión para misiones en Marte . . .	40
3.5.1	Terreno y ambiente	41
4	Características de la misión	43
4.1	Lugar de exploración	43
4.1.1	Por qué Argyre Planitia	43
4.2	Prediseño del r�ver	46
5	Diseño del r�ver	47
5.1	Objetivo del diseño	47
5.2	Diseño geométrico	48
5.2.1	Ruedas	48
5.2.2	Estructura	50
5.2.2.1	Limitaciones estructurales y de diseño	54
5.2.3	Chasis	57
5.2.4	Diferencial	58
5.2.4.1	Caja de engranajes diferenciales	59
5.2.4.2	Barra diferencial	59
5.2.5	Diseño del diferencial	60

5.2.5.1	Rediseño del tren diferencial	62
6	Materiales	67
6.1	Ruedas	67
6.1.1	Carcasa exterior	68
6.1.2	Llanta	68
6.2	Chasis	69
6.3	Sistema de suspensión rocker-bogie	71
6.4	Otras alternativas	72
6.5	Resumen de los materiales escogidos	72
6.5.1	Costes	73
7	Presupuesto	77
8	Análisis del impacto medioambiental	79
9	Prototipo final	81
9.1	Resumen	81
9.2	Futuros pasos del estudio	83
10	Conclusiones	85
A	Pruebas estructurales	87
	Referencias	91

Índice de figuras

1	Rover Perseverance en Marte	XV
2	Suspensión rocker-bogie en el Perseverance 2020	XV
3	Rover Perseverance realizando excavaciones en Marte	XVIII
1.1	Ilustración de la carrera espacial	2
1.2	Imagen de Yuri Gagarin	2
1.3	Fotografía de Armstrong en la Luna	3
1.4	Lunar Roving Vehicle	4
1.5	Mars 2 & 3	6
1.6	Mapa de las ubicaciones en las que aterrizaron todas las otras misiones exitosas de la NASA en Marte.	7
1.7	Sojourner en Marte	8
1.8	Imagen del Opportunity, gemelo del rover Spirit	8
1.9	Brazo del Curiosity	9
1.10	Vista del helicóptero Ingenuity con el rover Perseve- rance de fondo	10
1.11	Rover Perseverance en Marte	10
1.12	Suspensión rocker-bogie en el Perseverance 2020	10
1.13	Comparativa de distancias recorridas por diversos vehícu- los en la superficie de la luna, la Tierra y Marte	11
2.1	Comparativa de órbita y duración entre Marte y la Tierra alrededor del sol	16
2.2	Montañas más altas de la Tierra comparadas con el Monte Olimpo	17
2.3	Comparación entre la dos lunas de Marte, Fobos y Dei- mos	18
2.4	Comparación de Marte con tormentas de polvo globales	19

2.5	Relieve de Marte	20
2.6	Relieve de Marte con el modelo del Monte Olimpo . . .	21
2.7	Proyecto de establecimiento humano en una cueva en Marte	22
2.8	Mapa geológico de Marte	22
2.9	Casquete polar en Marte	23
2.10	Vista perspectiva de Reull Vallis	24
2.11	Estaciones, inclinación y giro de Marte	26
2.12	Zonas climáticas de Marte	26
2.13	Ubicación de las diferentes misiones en Marte	27
2.14	Casquete polar sur en el año 2000 en Marte	28
2.15	Vista satelital del Valles Marineris	29
2.16	La región de Tharsis	30
3.1	Suspensión tipo rocker-bogie en un r�ver	34
3.2	Ruedas y sistema de suspensiones de un Lunokhod . . .	35
3.3	Imagen del Roving Vehicle Lunar en la misión Apollo 15 en 1971	36
3.4	R�ver Masokhod en un campo de prueba en 1999 . . .	36
3.5	Ilustración de las piezas rocker y bogie	38
3.6	Ilustración del diferencial que une la suspensión con el chasis	38
3.7	Robot de cuatro patas	39
3.8	Suspensión y rueda en forma de oruga	40
3.9	Pruebas de superación de obstáculos	42
4.1	Borde sur de la cuenca de Argyre, formada por los Charitum Monts	44
4.2	Mapa del cráter Hooke, en el interior de la cuenca de Argyre	45
4.3	Boceto de la aproximación de resultados que se quiere conseguir con el presente estudio	46
5.1	Rueda del Curiosity con los agujeros que indican el JPL en código Morse	49
5.2	Detalle la llanta del Perseverance	49

5.3	Dimensiones de la rueda	50
5.4	Diferentes diseños de la rueda del rover	50
5.5	Sistema geométrico de la estructura del rover	51
5.6	Geometría y medidas del rocker	52
5.7	Medidas del bogie	52
5.8	Sistema geométrico de la estructura del rover rediseñado	53
5.9	Diseño del rocker	53
5.10	Diseño del bogie	53
5.11	Estructura del rocker-bogie deseada	54
5.12	Estructura del rocker-bogie final	54
5.13	Peligros en el cráter Jezero	55
5.14	Obstáculo tipo pendiente	56
5.15	Obstáculo tipo pendiente	56
5.16	Obstáculo tipo pendiente	57
5.17	Diseño del chasis del rover	57
5.18	Dimensiones del chasis	58
5.19	Diferencial de tres engranajes	59
5.20	Barra diferencial	60
5.21	Vista previa de el ensamblaje que se requiere	60
5.22	Diferentes engranajes	61
5.23	Vista previa de el ensamblaje que se requiere	62
5.24	Esquema de un engranaje diferencial	63
5.25	Nuevo engranaje	64
5.26	Ensamblaje del diferencial con el chasis los rockers	64
5.27	Render del rover en la superficie marciana	65
6.1	Rueda de Curiosity (sin agujeros en código Morse y sin el anodizado negro) comparadas con la de los MER	67
6.2	Acero	70
6.3	Aluminio	70
6.4	Suspensión rocker-bogie compuesta en Titanio	72
6.5	Acero	74
9.1	Prototipo final con los materiales añadidos	82
9.2	Estructura y unión del tren diferencial con el chasis y el rocker	83

9.3	Render simulando el recorrido del r�ver por un río seco en Argyre Planitia	83
9.4	Simulación de superación de obstáculos por parte del r�ver	84
A.1	Diagrama de tensiones en el bogie	88
A.2	Diagrama de deformaciones en el bogie, rocker y ruedas	88
A.3	Diagrama de deformaciones en el bogie, rocker y ruedas	89
A.4	Ilustración de la carrera espacial	89

Índice de cuadros

2.1	Composición de la atmósfera de Marte [1]	25
2.2	Leyenda de la Figura 2.12	27
2.3	Leyenda de la Figura 2.16	30
5.1	Leyenda de la Figura 5.20	51
5.2	Leyenda de la Figura 5.13	55
6.1	Cuadro comparativo Acero-Aluminio [2]	70
6.2	Cuadro del titanio grupo 5 [3]	71
6.3	Recopilación de los materiales	73
6.4	Densidad de los materiales	73
6.5	Área, volumen y masa de cada componente	74
6.6	Precios [4]	75
7.1	Presupuesto global de materiales, montajes y licencias	77
9.1	Recopilación de los materiales del prototipo final	82

Resumen

En el presente Trabajo de Fin de Grado se expone el estudio de un r ver con suspensión rocker-bogie para misiones en Marte.

Pero, y por qué Marte? Primero, porque es el planeta más cercano a la Tierra y guardan infinitas coincidencias, hasta el punto de que se piensa que Marte pudo tener océanos y vida como en el planeta azul. Y segundo, porque tiene una serie de paisajes, relieves e incluso volcanes y cráteres que lo hacen especial y que llama la atención para poder ser estudiados. He aquí donde sale la curiosidad de este estudio, conocer Marte y conocer cómo este se puede estudiar de primera mano, es decir, desde la propia superficie.

De esta manera, se pretende estudiar no solo Marte y su superficie, sino también las diferentes posibilidades de suspensiones que se pueden albergar en un r ver, sus componentes esenciales con sus respectivos materiales para poder entender el mecanismo de funcionamiento y qué le hace especial al tipo rocker-bogie frente a los demás, además de diseñarlo en función de la región del planeta elegido en este estudio, para que sea capaz de adaptarse al terreno y superar los obstáculos de la mejor manera.

Finalmente, se crea un prototipo final de manera virtual del r ver para poder mostrar el resultado y objetivo del estudio, a parte de intentar inspirar a la sociedad y a la próxima generación de jóvenes estudiantes de desarrollar la exploración espacial y de intentar, por qué no, en unos años, el primer asentamiento humano en Marte.

Palabras clave: *Marte, r ver, rocker-bogie, suspensión, exploración espacial*

Abstract

In this Final Degree Project, the study of a rover with a rocker-bogie suspension for missions on Mars is exposed.

But why Mars? First, because it is the closest planet to Earth and they have infinite coincidences, to the point that it is thought that Mars could have oceans and life as on the blue planet. And second, because it has a series of landscapes, reliefs and even volcanoes and craters that make it special and that attracts attention to be studied. This is where the curiosity of this study comes out, knowing Mars and knowing how it can be studied first-hand, that is, from the surface itself.

In this way, it is intended to study not only Mars and its surface, but also the different possibilities of suspensions that can be housed in a rover, its essential components with their respective materials in order to understand the operating mechanism and what makes the type special. rocker-bogie in front of the others, in addition to designing it according to the region of the planet chosen in this study, so that it is able to adapt to the terrain and overcome obstacles in the best way.

Finally, a final prototype of the rover is created in a virtual way to be able to show the result and objective of the study, apart from trying to inspire society and the next generation of young students to develop space exploration and to try, why not, in a few years, the first human settlement on Mars.

Keywords: *Mars, rover, rocker-bogie, suspension, space exploration*

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar un estudio de un r ver con suspensión rocker-bogie para misiones en suelo marciano, eligiendo una parte concreta del planeta, para poder realizar el diseño adecuándolo al relieve, clima y geografía necesaria.

Para poder llevar a cabo este estudio con éxito, será necesario centrarse en el tren motriz del r ver como objetivo principal y, a partir de aquí, desarrollar y diseñar según sean los requerimientos imprescindibles para resolver con éxito cualquier conflicto encontrado.

Cabe destacar que este estudio parte de la ambición, ganas y futuro por conocer nuestro planeta vecino (Marte) y, qu n sabe, que sea posible la colonización humana en un futuro no muy lejano.



FIGURA 1: Rover Perseverance en Marte

[5]



FIGURA 2: Suspensión rocker-bogie en el Perseverance 2020

[6]

Requerimientos

Algunas de las especificaciones y requerimientos necesarios para la correcta elaboración del estudio serán las siguientes:

- **Características del planeta:**

Es necesario estudiar la condiciones atmosféricas, topográficas, órbita, rotación de Marte con respecto de la Tierra y del Sol. Una vez realizado este estudio, se escogerá una región del planeta en donde sea posible estudiar su suelo y subsuelo, en búsqueda de una posible vida extraterrestre, como pueden ser los cráteres formados hace millones de años, que pueden ser nichos de vida en Marte.

- **Emplazamiento de exploración en Marte:**

Como se avanzó en el apartado anterior, el emplazamiento de la superficie de Marte donde se vaya a realizar la exploración tiene que tener una serie de características e intereses que lo hagan tan relevante cómo para enviar un róver. Por estos motivos, el estudio previo consiste en encontrar posibles indicios de sedimentos subacuáticos, que representan una prueba de que el agua líquida existió durante largos periodos de tiempo, rocas magnéticas de origen volcánico, valles sinuosos y cuevas. Sin duda, a parte de todas estos intereses, debe dar una zona abierta para el correcto aterrizaje del róver en la superficie marciana.

- **Diseño:**

El diseño del prototipo se debe realizar con un software de diseño en 3D como el SolidWorks. Se hará un estudio de un róver con suspensión rocker-bogie de

6 ruedas, que provoca tener un peso relativamente constante en cada rueda y disminuye la inclinación del rover según el relieve por dónde esté. [7]

- **Materiales:**

Los materiales a utilizar en el rover deben pasar por grandes pruebas ya que estará expuesto por mucho tiempo a una radiación constante, tormentas de polvo y cambios bruscos de temperatura. Si a esto le añadimos las tormentas que se puedan generar y un relieve irregular, los materiales deben tener una alta resistencia, gran capacidad de aislamiento al exterior y de rotura. Por esto, se emplean las pruebas más exigentes para comprobar y evitar cualquier tipo de imprevisto en Marte. [8]



FIGURA 3: Rover Perseverance realizando excavaciones en Marte [9]

Alcance

Una vez definido el objetivo del proyecto, el estudio se centrará en el diseño del rover con suspensión rocker-bogie teniendo en cuenta una serie de limitaciones o de simplificaciones que harán posible este estudio.

A lo largo de este proyecto, se desarrollará y centrará en conocer las diferentes misiones en Marte, parámetros físicos, preguntas cómo por qué se cree que existe vida en Marte, para, más tarde, definir las características básicas del diseño del rover, como la geometría y la configuración específica para la misión a realizar.

Este trabajo no pretende diseñar el rover en su integridad, de manera que no se hará un estudio exhaustivo de todos los componentes que forman parte. Dicho de otro modo, no se explicará de manera detallada la electrónica, sistemas de comunicaciones, instrumentos científicos, sino que se tratará todos estos temas de una forma superficial, para dar importancia y orientar el estudio en el diseño del tren motriz del rover.

Por lo tanto, se tratarán los temas que se exponen a continuación a lo largo del proyecto:

- Identificar las características más distintivas de las diferentes misiones en Marte a base de investigar y comparar con las anteriores.
- Estudiar y evaluar la geografía, clima y relieve de Marte.
- Enfocar el estudio en una región de Marte donde no se haya ido con anterioridad y explicar por qué ahí, lugares de interés como el cráter Argyre planita, donde se cree que pueda haber vida.

- Una vez evaluado el relieve que nos encontraremos, estudio de los elementos mecánicos del rover, centrándonos en el mecanismo de suspensión y avance del rover.
- Prediseño de la suspensión rocker-bogie del rover.

Los temas que no se desarrollaran durante el proyecto son los siguientes:

- No se hará un estudio detallado de los componentes eléctricos y electrónicos del rover. Si bien es posible que en algún momento se haga referencia a algunos de estos componentes y se hable sobre las características de los sistemas eléctricos y electrónicos, no se desarrollará ningún estudio detallado relacionado con la electrónica, sistemas de comunicaciones...
- No se estudiará en detalle todos los componentes del rover sino los relacionados con el sistema de suspensiones y todo lo que esté relacionado con el movimiento.
- No se estudiará ni se tendrá en cuenta problemas meteorológicos que hagan imposible el movimiento ni la estabilización del rover.
- No se diseñará por completo el rover sino las partes necesarias para el estudio de la suspensión rocker-bogie de un rover de 6 ruedas.
- No se estudiará la manera en la que el rover ha llegado a marte, se parte de la base que el rover está situado sobre la superficie marciana que queremos estudiar.
- En general y tal como se ha explicado anteriormente, no se hará un análisis detallado ni particularizado para ningún aspecto específico del diseño total del rover.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres por haberme dado una formación académica y unos valores ejemplares, siempre pensando que podía hacerlo y animándome a perseguir mis sueños. También, a mi hermano Rubén, apoyándome en los momentos más importantes y haciéndonos mejores mutuamente.

También, a mis tíos Pilar y Jordi, que sin ellos nada de esto hubiera sido posible. Gracias por tanto, por todo y por hacerme sentir como un hijo más durante estos 4 años de carrera.

No podría olvidarme de mis compañeros, sobretodo de Aeroliats y Zumex, ya amigos para siempre, que sin ellos seguramente no estaría escribiendo estas palabras. Por todos los laboratorios, proyectos, entregas y exámenes, pero también por todos los buenos momentos de celebración y viajes.

Antes de acabar, agradecer a mi tutor Carlos Gustavo Díaz el haber aceptado mi propuesta de TFG y poderla hacerla realidad.

Por último, al resto de mi familia y amigos, incluso acompañándome y apoyándome día a día, para llevar el curso de la mejor manera y también, haciendo planes para poder compaginar la carrera con la vida más personal.

Gracias.

Declaración de honor

Yo declaro que,

el trabajo en esta Tesis de Final de Grado es completamente mi propio trabajo,
ninguna parte de esta Tesis de Final de Grado se toma del trabajo de otras personas
sin darles crédito,

todas las referencias se han citado claramente.

Entiendo que una infracción a esta declaración me deja sujeto a las acciones disciplinarias previstas por la Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Hernán Martín Varela

Nombre del estudiante



Firma

22 de junio de 2021

Fecha

Título de la Tesis: *Estudio de un róver con suspensión rocker-bogie para misiones en Marte*

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo de la memoria se realiza una explicación a lo largo de la historia de las diferentes misiones en Marte y el por qué de estas, además de hacer un estudio del estado del arte de los diferentes rovers y misiones que han o no han tenido éxito, centrándonos en la más actual. Finalmente, es necesaria la realización de un estudio de posibilidades para acotar este estudio.

1.1. Marco histórico

El interés por el estudio del universo surgió desde la creación del ser humano, gracias al interés y a la capacidad de intentar comprender lo que le rodea. No obstante, en el Siglo XX sucedió un hito por intentar llegar al espacio, la conquista del espacio exterior también llamada como carrera espacial entre las dos grandes potencias del mundo por aquel entonces, Estados Unidos y la Unión Soviética.

Esto supuso un período que abarcó desde el 1957 y se alargó hasta finales del 1969, donde ambos países compitieron por enviar seres humanos al espacio, poner en órbita satélites orbitales y, sobre todo, pisar la superficie lunar. [10]



FIGURA 1.1: Ilustración de la carrera espacial
[11]

Se considera como inicio de la carrera espacial el lanzamiento del satélite artificial soviético Sputnik 1, logrando ponerlo con éxito en órbita el 4 de octubre de 1957. Más tarde, el 3 de noviembre de 1957, a bordo del Sputnik 2, la perra Laika fue el primer ser vivo en orbitar la Tierra. Un año más tarde, Estados Unidos consiguió poner en órbita el primer satélite de comunicaciones, el Score. Más tarde, el 12 de abril de 1961, el astronauta soviético Yuri Gagarin orbitó la Tierra siendo el primer ser humano que vio el planeta desde el espacio exterior.



FIGURA 1.2: Imagen de Yuri Gagarin
[12]

Como es conocido, la década de los 60 fue un boom en la carrera espacial, donde ambas potencias competían por innovar y tener más éxito que la otra, pero no fue hasta 1969 cuando 3 estadounidenses (Neil Armstrong, Edwin Aldrin y Michael Collins), a bordo del Apolo 11, amerizaron y lograron pisar la superficie lunar con éxito, dando por terminada la carrera espacial.

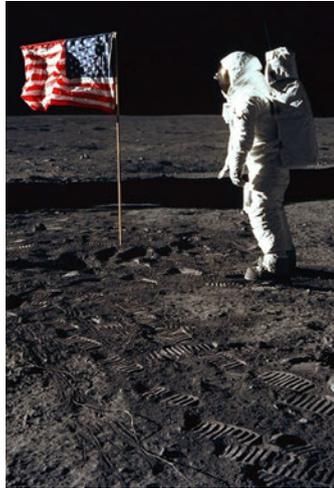


FIGURA 1.3: Fotografía de Armstrong en la Luna
[13]

En la década del 70, ambas potencias iniciaron un proyecto conjunto, que logró el acoplamiento en el espacio de una nave estadounidense y una soviética. Por otra parte, y en relación al objetivo propuesto en este estudio, tanto EEUU como la Unión soviética comenzaron a desarrollar vehículos capaces de moverse por la superficie de la Luna.

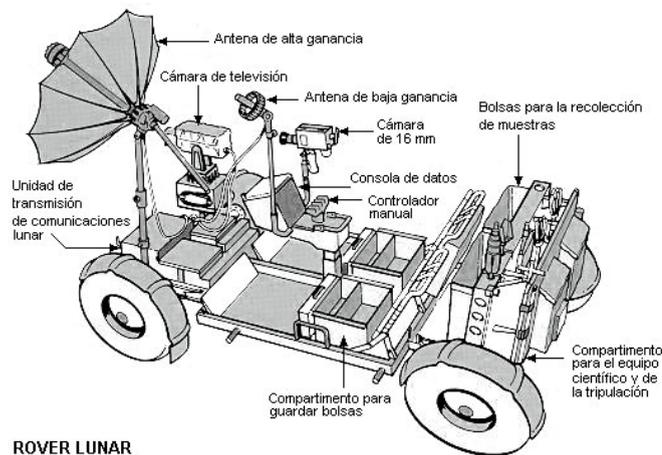
Los Lunojod 1 y 2 fueron dos astromóviles soviéticos no tripulados que alunizaron en 1970 y 1973, respectivamente. El objetivo primordial de estas misiones consistía en explorar la superficie lunar y captar imágenes de su superficie. Además, estos dos vehículos han sido los dos únicos laboratorios móviles automáticos que han estado en la Luna guiados bajo control remoto durante 40 años, hasta que la sonda Chang'e 3, enviada por China en 2013.[14]

La importancia del estudio y del interés por conocer la historia de el Lunojod 1 y 2 parte de la base que serán los cimientos de los próximos vehículos diseñados con la finalidad de la exploración espacial.

El Lunojod 1 llegó a la Luna un 17 de noviembre de 1970. Tenía ocho ruedas, una longitud de 2,22 m y 1,60 m de ancho y un peso de 756 kg. Su cualidad era podía ser teledirigido desde la Tierra, llegando a recorrer unos 10 km de recorrido. Fue el primer vehículo laboratorio, incorporando diferentes instrumentos para analizar la superficie de la Luna como, por ejemplo, un reflector láser, un espectrómetro de rayos X, diferentes cámaras y una antena direccional.

El Lunojod 2 llegó con la intención de mejorar las prestaciones de su predecesor con novedades como la observación en alta resolución de las radiaciones X solares, la obtención de datos del campo magnético lunar y emisiones interplanetarias y galácticas durante las noches lunares y estudio de los componentes de la superficie lunar.

Por otro lado, y en paralelo, la Nasa también diseñó los Lunar Roving Vehicle (LRV), capaces de transportar a los astronautas por la superficie lunar. Además de transportar a dos astronautas por la Luna, también llevaba aparatos para el estudio de la Luna como repetidores de las comunicaciones radio en directo con la Tierra, tomavistas de 16 milímetros con sus respectivos cargadores, perforadora del suelo, pinzas para recoger muestras...



ROVER LUNAR

FIGURA 1.4: Lunar Roving Vehicle

[15]

A partir de conocer la historia de la carrera espacial y los diferentes descubrimientos e inventos que se fueron creando en el desarrollo de la tecnología del espacio, se entiende cómo la Nasa a partir del LRV, empezó a crear róvers con el fin de estudiar otros planetas, en este caso, Marte.

A partir de aquí, el estudio se centra en hacer un análisis del estudio del arte sobre las diferentes misiones y róvers en Marte a lo largo del tiempo para poder llegar a comprender cómo es que se llegó a utilizar la suspensión rocker-bogie y la utilización de 6 ruedas, además de explicar la misión actual del rover Perseverance.

1.2. Estado del arte

1.2.1. Definición de un robot móvil

Un robot móvil es un sistema autónomo capaz de atravesar un terreno con obstáculos naturales o artificiales. Su chasis está equipado con ruedas o cualquier tipo de elemento que le permita trasladarse. Si la interacción humana es limitada como ocurre con los rovers en Marte, moviéndose de manera casi autónoma, estos robots se pueden clasificar según las propiedades que lo definan, como por ejemplo:

- Locomoción (ruedas, extremidades, etc).
- Suspensión (Rocker-bogie, independiente, blanda, etc).
- Dirección (Skid, Ackerman, etc).
- Algoritmo de control (completamente autónomo, semiautónomo).
- Área de uso (terreno accidentado como en Marte, superficie uniforme, etc.)
- Orientación y navegación (campo de estrellas o detección solar, GPS, basado en sensores).

Los robots móviles se pueden utilizar en diversas aplicaciones y tienen un sin fin de aplicaciones en la actualidad, pero en este estudio le damos la importancia porque es la base de cualquier rover y es imprescindible conocer el concepto de robot móvil.

1.2.2. Locomoción

La locomoción es el proceso por el cual un cuerpo rígido se mueve sobre una superficie. que mueve un cuerpo rígido. No hay duda de que la parte más importante de un robot móvil es su sistema de locomoción, ya que determina la estabilidad y la capacidad de atravesar un terreno irregular.

Al diseñar un robot, se tiene que tener en cuenta los criterios de estabilidad, la altura de los obstáculos y la fricción de la superficie. Los robots móviles con ruedas

para terrenos difíciles se denominan r6ver. No todo es locomoci3n por ruedas, ya que como demuestra la naturaleza, un gusano o una serpiente se puede trasladar por una superficie irregular, pero s3 que es verdad que la locomoci3n con ruedas tiene varias ventajas, entre ellas que los r6vers pueden llegar a soportar m1s peso y trasladarlo a una velocidad m1s alta, adem1s de poder controlar la orientaci3n, estabilidad y control del robot.

De este concepto de robot m3vil y locomoci3n surgen los denominados r6vers. A partir de aqu3, cabe destacar los diferentes r6vers enviados a Marte y sus principales objetivos de la misi3n, as3 como el tipo de suspensi3n y ruedas utilizadas.

1.2.3. Historia de los r6vers

No todo es 3xito en el sector del espacio, por eso se destaca algunas misiones que, o no llegaron a Marte o lo hicieron defectuosamente.

- **Mars 2 & 3:**

La Mars 2, construida por los sovi3ticos, fue la primera misi3n en llegar a la superficie marciana pero sin tener 3xito en el aterrizaje, puesto que se estrell3. La Mars 3 s3 que se consigui3 posar suavemente el 2 de diciembre de 1971, pero dej3 de comunicarse con la tierra 20 segundos despu3s de su aterrizaje.

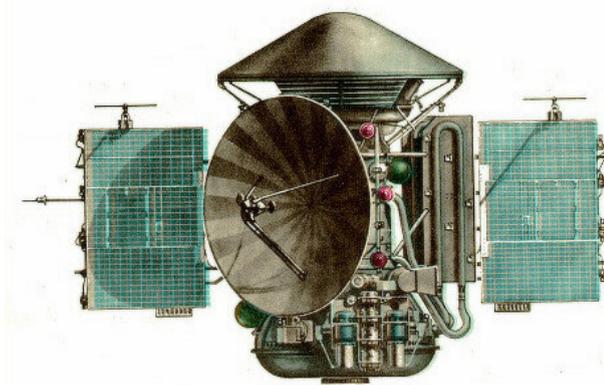


FIGURA 1.5: Mars 2 & 3
[16]

Por otro lado, y para continuar con el estudio de las misiones con éxito en Marte, es debido centrarse en las principales y más importantes que se nombran a continuación:

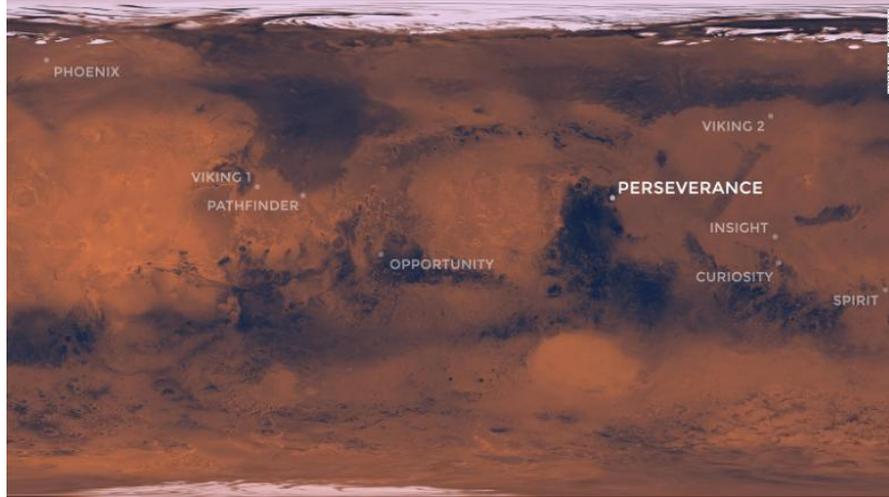


FIGURA 1.6: Mapa de las ubicaciones en las que aterrizaron todas las otras misiones exitosas de la NASA en Marte.

[17]

- **Sojourner:**

En 1996, la NASA y el Instituto de Tecnología de California diseñaron nuevos rovers con estructura idéntica llamados Sojourner y Marie-Curie. Estos pequeños rovers tenían solo 10,5 Kg y tenían el tamaño de un horno microondas.

El Rover Sojourner se lanzó con el módulo de aterrizaje Pathfinder en diciembre de 1996. Sojourner fue un punto de ruptura para los vehículos de exploración con su exclusivo sistema de suspensión de seis ruedas que puede superar obstáculos de altura de una rueda y media de diámetro, llamada suspensión rocker-bogie.



FIGURA 1.7: Sojourner en Marte
[18]

- **Spirit y Opportunity:**

Después del éxito conseguido en la misión del rover Sojourner, la Nasa continuó con su programa de exploración del planeta rojo. Es así como en 2003, enviaron dos rovers a Marte, formando la misión Mars Exploration Rover.

Ambos llevaban el mismo equipamiento tanto técnico como de instrumentación científica, de ahí que se les conozca como gemelos. Tenían el mismo objetivo, buscar rastros de agua en Marte y por este motivo, como podemos observar en la Figura 1.6, aterrizaron en lugares contrarios de Marte, persiguiendo ríos secos e incluso, minerales que suelen estar en presencia de agua. Ambos conservaban la suspensión rocker-bogie y las 6 ruedas motoras.



FIGURA 1.8: Imagen del Opportunity, gemelo del rover Spirit
[19]

- **Curiosity:**

Se lanzó el 26 de noviembre de 2011 y aterrizó en Marte el 5 de agosto de 2012. Hasta la misión del Perseverance, Curiosity fue la misión más ambiciosa y compleja jamás realizada por la Nasa en Marte. Su objetivo final era determinar si Marte cumplió los requisitos y condiciones necesarias para albergar vida microbiana. Cabe destacar que a día de hoy, el r ver Curiosity sigue recopilando y contrastando datos útiles, además de estar en contacto directo con la Tierra, enviando entre otras cosas, imágenes de Marte a medida que avanza. Continúa con la suspensión tipo rocker-bogie y 6 ruedas.



FIGURA 1.9: Brazo del Curiosity [20]

- **Perseverance:**

El Perseverance es un Mars r ver diseñado por la Nasa para investigar y explorar el cráter Jezero en Marte. Fue lanzado el 30 de julio de 2020 y aterrizó en Marte un 18 de febrero de 2021. Es muy similar a su predecesor, el r ver Curiosity pero como principal novedad, lleva en su interior a Ingenuity, un helicóptero capaz de volar en la atmósfera marciana y que ayudará a encontrar posibles lugares de interés para explorar en un futuro.

El r ver Perseverance lleva seis ruedas, cada una con su propio motor individual, es decir, tres ruedas a cada lado. Por su parte, tanto las dos ruedas delanteras como las dos traseras cuentan con motores de dirección individuales permitiendo que el r ver pueda girar una vuelta sobre sí mismo, además de poder realizar giros en arco. [21]



FIGURA 1.10: Vista del helicóptero Ingenuity con el rover Perseverance de fondo
[22]



FIGURA 1.11: Rover Perseverance en Marte
[5]



FIGURA 1.12: Suspensión rocker-bogie en el Perseverance 2020
[6]

Para completar la información expuesta, se puede observar en la Figura 1.13, la comparativa de distancias recorridas a lo largo de la historia por las diferentes

misiones hasta Febrero de 2019, por este motivo no aparece el Curiosity ni el Perseverance.

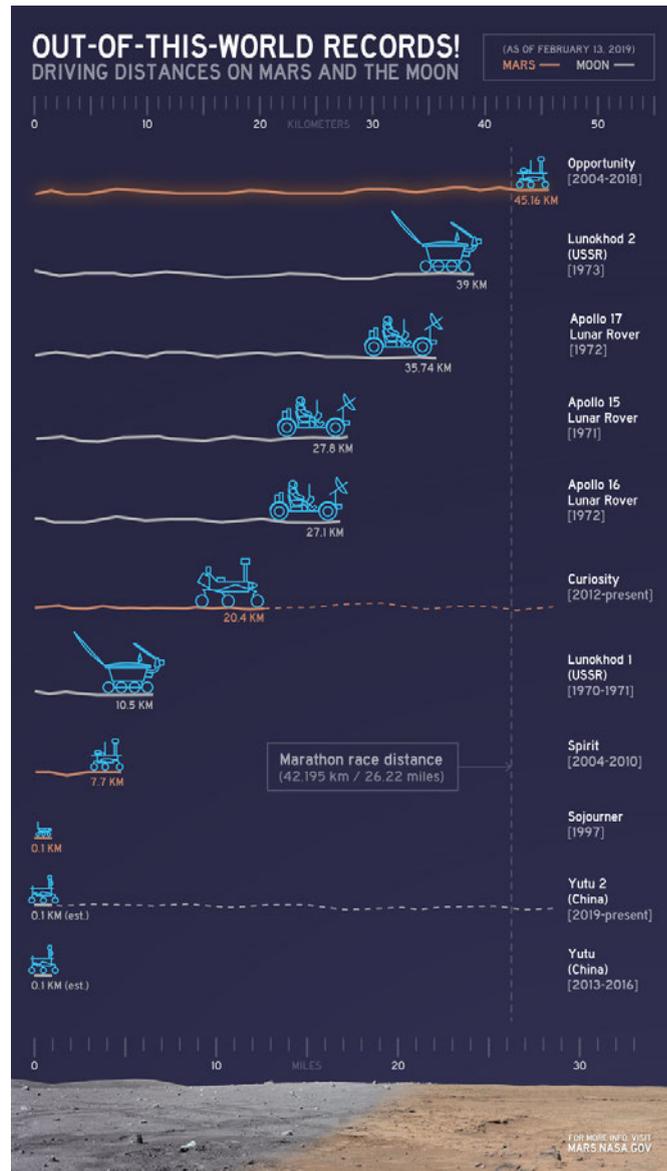


FIGURA 1.13: Comparativa de distancias recorridas por diversos vehículos en la superficie de la luna, la Tierra y Marte [23]

1.3. Alcance y estudio de posibilidades

Con respecto al alcance y al estudio de posibilidades de este trabajo, se pueden hacer una serie de afirmaciones y aclaraciones para tratar de fijar el tema, ya que

puede generar diferentes interpretaciones al ser un tema bastante amplio.

Se queda fijado al estudio de un rover con suspensión rocker-bogie para misiones en Marte. A partir de aquí, se trabajará en la elaboración del estado del arte para poder comprender el estudio y tener un contexto desde el que se elaborará todo. Una vez completado este proceso, se realiza un estudio de las condiciones meteorológicas y de operación en Marte, ya que es necesario encontrar una zona del planeta rojo que no haya sido explorada pero que sea accesible y de interés para enviar un rover a esa zona. Por tanto, se debe estudiar parámetros físicos del planeta como su atmósfera, gravedad, temperaturas, vientos, relieve...

En el estudio del rover, y una vez definido el objetivo del proyecto, se centra en el diseño del rover con suspensión rocker-bogie en 3D teniendo en cuenta una serie de limitaciones o de simplificaciones que harán posible que se pueda este estudio. Más adelante, se completa esta información a medida que va avanzando el estudio en una sección pertinente.

Este trabajo no pretende diseñar el rover en su integridad, de manera que no se hará un estudio exhaustivo de todos los componentes que forman parte. Dicho de otro modo, no se explicará de manera detallada la electrónica, sistemas de comunicaciones, instrumentos científicos, sino que se tratará todos estos temas de una forma superficial, para dar importancia y orientar el estudio en el diseño del tren motriz del rover.

Por tanto, el estudio se realiza con la idea de estudiar el tren motriz del rover y su suspensión, sin entrar en detalle en las partes ni equipamiento más técnico y científico. Tampoco es objetivo la construcción del rover, porque no tendría sentido aplicar el estudio a Marte para luego construir un rover que trabajaría en condiciones terrestres.

1.4. Esquema de la memoria

Para finalizar con este primer capítulo de introducción, se realiza un esquema de la organización del estudio para poder entender el desarrollo de esta:

- **Capítulo 1:** Introducción y estado del arte.

- **Capítulo 2:** Estudio completo de Marte y zonas de exploración interesantes.
- **Capítulo 3:** Estudio de las diferentes configuraciones de suspensiones que puede albergar un róver.
- **Capítulo 4:** Elección del lugar y diseño de la suspensión.
- **Capítulo 5:** Diseño del prototipo inicial del róver.
- **Capítulo 6:** Elección de los materiales de los diferentes componentes del ensamblaje.
- **Capítulo 7:** Presupuesto.
- **Capítulo 8:** Análisis del impacto medioambiental.
- **Capítulo 9:** Muestra de los resultados finales obtenidos y del prototipo final, además de indicar los diferentes pasos a continuar en el estudio.
- **Capítulo 10:** Conclusiones finales del proyecto.

Para acabar con el esquema de la memoria, se presenta un anexo al final para aportar más información y que ayude a profundizar en un tema en concreto, como se verá más adelante.

Finalmente, este trabajo de fin de grado está compuesto por dicha memoria, un presupuesto y un anexo de autoinforme de calidad.

Capítulo 2

Marte

El estudio del rover con suspensión rocker-bogie se centra en Marte, planeta hermano a la Tierra y que desde la antigüedad ha generado mucho interés en conocer y estudiarlo, por este motivo, Marte es nuestro viejo desconocido.

2.1. Nuestro viejo desconocido

Marte, es el cuarto planeta más cercano al Sol y el séptimo más grande del Sistema Solar. Su paisaje rojo y variado que una vez se llegó a parecer a la Tierra ha entusiasmado a la humanidad desde que lo contempló por primera vez en la noche. Marte se conoce como el planeta rojo ya que se ve de color rojizo debido a la presencia de óxido en la atmósfera. Su apariencia sangrienta también es la razón por la que lleva el nombre del dios romano de la guerra.

Marte se formó junto a los otros planetas del Sistema Solar hace aproximadamente unos 4600 millones de años. Al igual que a la Luna, Marte fue bombardeado por diferentes meteoritos a lo largo de su superficie, provocándole una apariencia llena de cráteres. Cuando el planeta se separó por capas, hubo un proceso de actividad volcánica, suponiendo la liberación de mucho calor del núcleo que se enfrió rápidamente. Se piensa que este enfriamiento hizo que el agua atmosférica se congelara, pero la falta de presión atmosférica provocó que este líquido se fuera con los vientos solares, dejando la superficie de Marte seca, árida y polvorienta como se conoce en la actualidad. [24]

A pesar de todas las comparaciones de Marte con la Tierra, el primero cuenta con un 11 % de la masa y un 15 % de volumen de el planeta azul. La distancia promedio del planeta al Sol es de unos 228 millones de kilómetros y tarda unos 687 días terrestres para completar una órbita bastante excéntrica (0.09) alrededor del Sol.

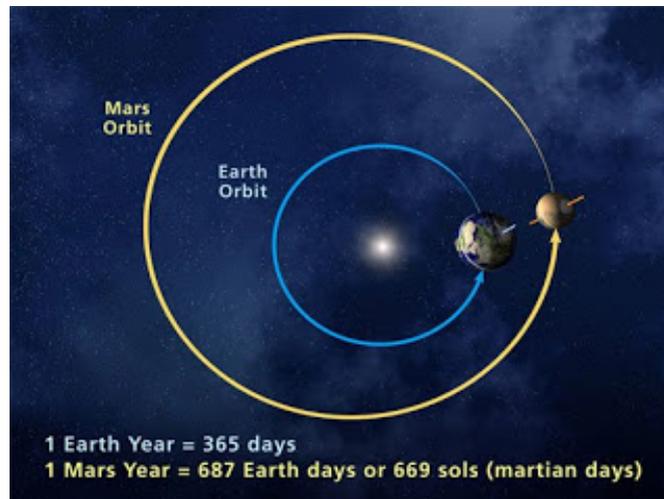


FIGURA 2.1: Comparativa de órbita y duración entre Marte y la Tierra alrededor del sol

[25]

En cuanto a la rotación, un día en Marte equivale a 24 horas, 39 min y 35 segundos, algo más que en la Tierra; su inclinación axial es similar a la Tierra (25.19 grados) generando estaciones. Cabe destacar que debido a que no hay océanos en el planeta rojo, posee la misma cantidad de superficie seca que la Tierra, dato curioso ya que el primero tiene un 53 % del diámetro y solo un 11 % de la masa del segundo. La gravedad de la superficie en el planeta rojo es el 38 % de la de la Tierra.

Marte en números es bastante sorprendente y aquí se indican algunos de sus datos más relevantes [1]:

- Su cráter de impacto Hellas Planitia es el más grande del sistema solar con unos 2300 Km de diámetro, siendo el mismo diámetro de Plutón.
- Tiene dos Lunas, Fobos y Deimos.
- 24.07 Km/s es la velocidad de traslación de Marte, tardando más tiempo en dar la vuelta al sol que la Tierra.

- 687 días terrestres es lo que dura un año en el planeta marciano.
- La gravedad de Marte comparada con la de la Tierra es su 37.5 %

2.2. Descubrimientos

Desde la llegada de la primera nave espacial a Marte, hace más de medio siglo, se ha estudiado, comprendido y se sigue investigando en analizar el planeta rojo. Desde la primera llegada, se han podido realizar una serie de descubrimientos y avances en la investigación que son de vital importancia para conocer las condiciones de operación en Marte por parte del r over. Por este motivo, se enumeran las m as relevantes:

1. **Marte no est a muerto:** Aunque su aspecto y superficie árida, fría y polvorienta haga pensar que Marte est a muerto no lo est a puesto que sufre terremotos, tiene agua y magnetismo. Marte es un planeta activo s ismicamente y se cree que esto ocurre porque continua perdiendo calor generando que se resquebraja su superficie. [26]
2. **Ostenta el r ecord del pico m as alto:** Marte es con diferencia, el planeta con la montaña m as alta del Sistema Solar. Se trata del Monte Olimpo, descubierta en 1971 y ubicada en Valle Tharsis, una regi on volcánica. Se trata de un volcán formado por erupciones de lava con apenas 2-5  de inclinación en sus laderas. [27]

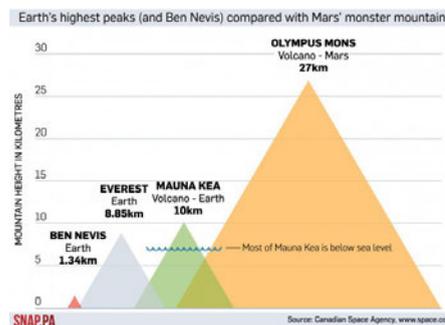


FIGURA 2.2: Montañas m as altas de la Tierra comparadas con el Monte Olimpo [27]

3. **El polvo es magnético:** Marte cuenta con grandes cantidades de óxido en su superficie, con un polvo finísimo. Además, es magnético siendo la magnetita como el mineral responsable de las propiedades magnéticas del polvo con el añadido, muy probable, de trazas de titanio. [28]
4. **Tiene dos satélites:** La dos lunas de Marte se llaman Fobos y Deimos, en honor a los hijos del dios griego de la guerra. Fobos es el más grande y está llena de cráteres y surcos profundos en su superficie. Como indican estudios más recientes, esta luna se está acercando lentamente contra su planeta y acabarán por impactar en unos 50 millones de años. Por otro lado, Deimos está mucho más lejos de Marte y su tamaño es aproximadamente la mitad que su hermano.



FIGURA 2.3: Comparación entre la dos lunas de Marte, Fobos y Deimos [29]

5. **Marte no es redondo:** La misión Mars Global Surveyor de la Nasa se pasó 3 años creando un mapa topográfico de la superficie marciana, revelando que por ejemplo, el hemisferio norte es bajo y plano, mientras que el hemisferio sur es alto, con grandes relieves y la formación de diversos cráteres.
6. **Hay agua helada:** Durante el año 2002, la sonda Mars Odyssey Explorer buscó hidrógeno debajo de la superficie, encontrando hielo seco de CO₂, que por debajo de este, habría hielo de agua. Más tarde, el Mars Express corroboró que hay suficiente agua en los polos como para cubrir toda la superficie del planeta con una profundidad de 11 metros.
7. **Se desplaza sobre su eje:** El eje de rotación no está fijo como sí lo está el de la Tierra. Ha ido cambiando a lo largo de sus millones de años de vida y, también, la corteza se ha movido con respecto al eje en unos 3000 Km. Existe

la hipótesis de que las inundaciones de agua hayan alterado su inclinación, y al volverse a secar, corregir en parte esa primera desviación. [1]

8. **Sin campo magnético:** En Marte, su dinamo magnético no funciona. Su núcleo es sólido, conteniendo principalmente hierro, níquel y azufre. Los científicos piensan que las propiedades magnéticas de los minerales encontrados en la superficie del planeta es una señal de que Marte, muy probablemente, poseía un campo dipolo con polaridad alterna. Que el hierro llegará a fundirse en el núcleo también pudo ser responsable de poner fin a su campo magnético.
9. **Las tormentas de polvo recubren todo el planeta:** El polvo de la supercie marciana es tan fino como el humo por lo que puede levantarse con facilidad y flotar en la mínima atmósfera de Marte. Estas tormentas de polvo suelen generarse en la estación de primavera, cuando el sol calienta el suelo frío de la noche. De esta manera, se forman remolinos de arena que, añadido a la energía del sol, calientan aún más estos remolinos y los gases, llegando a poder generar arcos eléctricos.

Como la gravedad es mínima, a las partículas de polvo les lleva bastante tiempo volver a caer a la superficie, permaneciendo tormentas en Marte de varios meses.

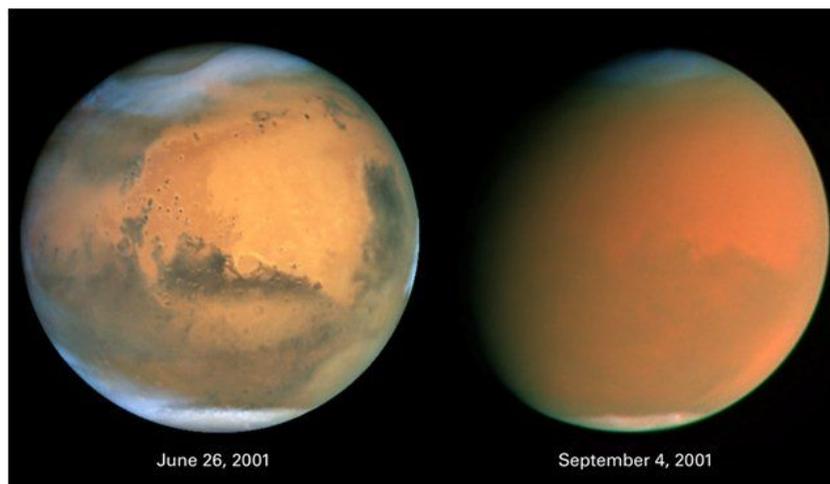


FIGURA 2.4: Comparación de Marte con tormentas de polvo globales [29]

2.3. Superficie marciana

Marte tiene muchas características geográficas interesantes y parecidas a la Tierra. En sus $144.800.000 \text{ km}^2$ de superficie se encuentran un sin fin de cráteres de impacto, volcanes, valles, cuevas, desiertos y muchísimos lugares que aún no han sido descubiertos ni estudiado.

2.3.1. Relieve

Con respecto al relieve de Marte, resulta importante destacar que sus hemisferios norte y sur son completamente diferentes. El primero cuenta con una elevación bastante menor, tierras bastante planas y no volcánicas, menos cráteres de impacto con un relieve mucho más uniforme y suave. Esta gran diferencia entre hemisferios se puede deber a un gran impacto que ocurrió en el hemisferio sur generando tanta energía capaz de crear un océano de magma, explicando de esta manera las diferencias entre un hemisferio y otro. [30]

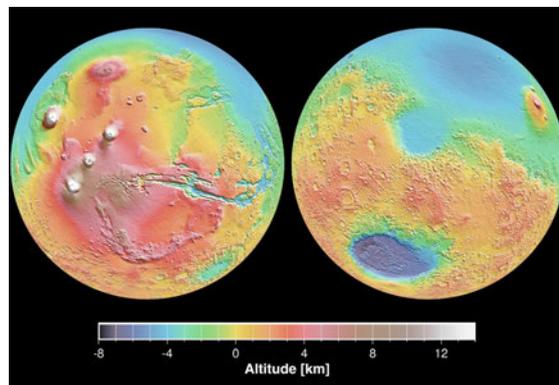


FIGURA 2.5: Relieve de Marte
[31]

El borde occidental del hemisferio sur se distingue en dos áreas totalmente diferenciadas, una zona volcánica llamada Elysium y el Tharsis. El bulto del Tharsis cubre el 25 % de la superficie del planeta, incluyendo el Monte Olimpo. Por otro lado, encontramos el enorme Valles Marineris, que también ocupa una cuarta parte del planeta y el valle más profundo del Sistema Solar.

En el hemisferio, como se ha comentado anterior, es más frecuente encontrar cuencas y cráteres de impacto, encontrando la cuenca de Hellas la mayor de todas, con sus 1800 Km de diámetro.



FIGURA 2.6: Relieve de Marte con el modelo del Monte Olimpo
[32]

2.3.2. Geología

La geología de Marte se basa principalmente en hacer énfasis en su composición, estructura, historia y en entender cómo, dónde y por qué se ha generado todo ese relieve.

Tras varios años de estudio por las sondas, satélites y rovers en la superficie marciana, se han podido generar mapas que muestran el relieve añadiendo el nombre de cada lugar y la edad geológica.

2.3.2.1. Cuevas

En Marte hay cuevas. Estas podrían proporcionar y ofrecer un acceso más fácil a las capas del subsuelo sin necesidad de realizar grandes perforaciones. También, podría ser un gran lugar donde buscar rastros de vida en el planeta rojo, además de por qué no, en un futuro diseñar un campamento con seres humanos en Marte.



FIGURA 2.7: Proyecto de establecimiento humano en una cueva en Marte [33]

En la siguiente ilustración, se puede observar un mapa de la geología de toda la superficie del planeta rojo.

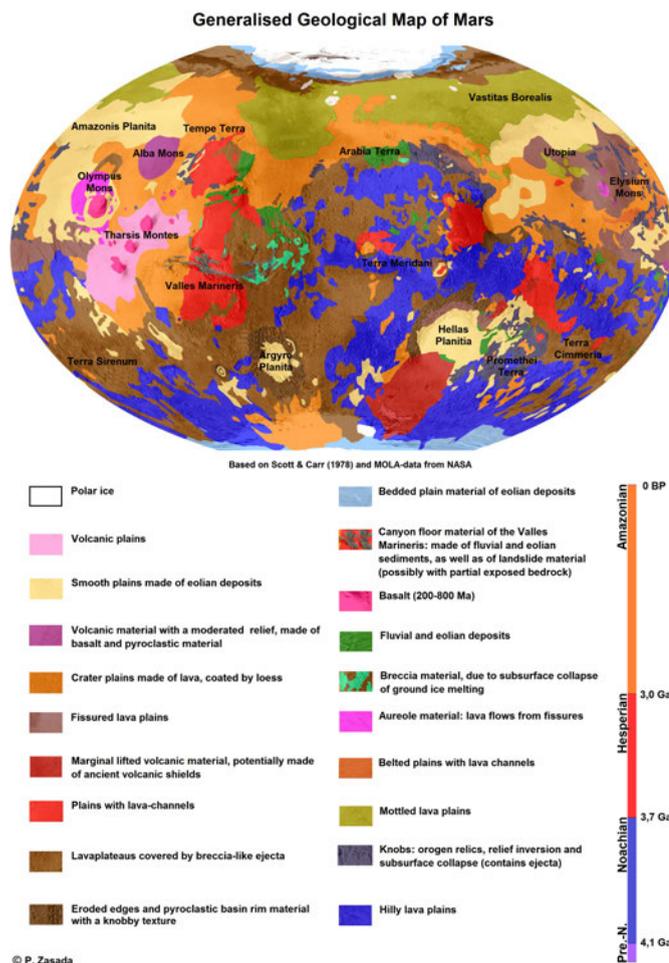


FIGURA 2.8: Mapa geológico de Marte [31]

- **Erosión hídrica:** Reull Vallis es uno de los cientos de valles que parecen haber sido erosionados por el caudal del agua en movimiento. Muchos de estos valles pueden contener grandes cantidades de hielo en el subsuelo

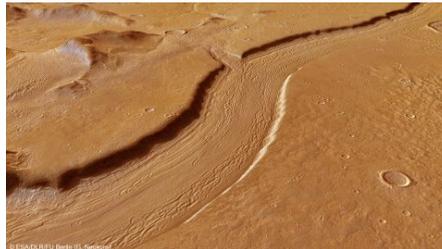


FIGURA 2.10: Vista perspectiva de Reull Vallis
[35]

- **Dunas de arena:** Las dunas de arena se han formado mediante el regolito, que es una mezcla de tierra, arena, polvo y trozos de rocas rotas. Estas dunas también se trasladan por la superficie marciana debido a los vientos que azotan la superficie del planeta.
- **Cuenca de Hellas:** Las encontramos en las tierras altas del sur de Marte, donde la cuenca Hellas Planitia, es uno de los mayores cráteres de impacto del Sistema Solar con unos 2300 Km de diámetro y casi 7 Km de profundidad.

2.3.4. Atmósfera

La atmósfera de Marte está compuesta por las diferentes capas:

- **Superior:** En la atmósfera superior, encontramos que la presión cae rápidamente y la temperatura aumenta ya que el polvo en suspensión se calienta. Finalmente, los gases comienzan a colapsarse hacia el espacio exterior.
- **Media:** La atmósfera media, como su nombre indica, está entre la capa superior e inferior. Entre el calentamiento de los gases y el polvo con la rotación del planeta provoca una corriente de chorro.
- **Inferior:** Por último, en la capa inferior se forman grandes tormentas de polvo, además de nubes de hielo y de dióxido de carbono.

La atmósfera de Marte es de interés para el ser humano ya que si se quiere realizar una primera misión de asentamiento humano en el planeta rojo, tendrán que llevar trajes espaciales ya que la atmósfera está compuesta principalmente de dióxido de carbono, tóxico para los seres vivos. Esta se escapa al espacio exterior debido principalmente a los vientos solares que azotan Marte. Al no haber un campo magnético capaz de retenerla, las partículas cargadas eléctricamente ayudan a los iones de la atmósfera a darles la suficiente aceleración para que abandonen Marte. [36]

La composición de la atmósfera de Marte en datos es la siguiente:

TABLA 2.1: Composición de la atmósfera de Marte [1]

Compuesto	Porcentaje (%)
Dióxido de Carbono	95.32
Nitrógeno	2.7
Argón	1.6
Oxígeno	0.13
Vapor de agua	0.03
Otros compuestos	0.22

2.4. Zonas climáticas y estaciones

Marte tiene estaciones, al igual que la Tierra. El primero tiene una inclinación de 25.19 grados, muy cerca de la inclinación axial del segundo. Eso se traduce en que según el lugar de la órbita en la que se encuentre, el planeta recibirá más luz por algunos lados que por otros, generando así estaciones. La primavera dura unos 7 meses mientras que el invierno se extiende a 4 meses.

Actualmente, el hemisferio Norte posee un clima más suave y estable del que tiene el hemisferio sur principalmente porque en el primero, los inviernos son más cortos y no tan duros. Además, por el contrario, la primavera y el verano son más largos, pero estando el Sol en el afelio hace que sean algo más fríos que los del hemisferio sur. Para el hemisferio sur sucede totalmente lo contrario. [37]

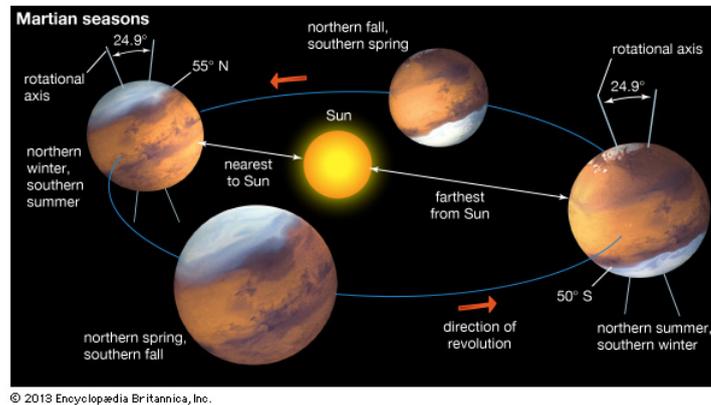


FIGURA 2.11: Estaciones, inclinación y giro de Marte [38]

Con respecto a las zonas climáticas, se parecen mucho a la Tierra, adquiriendo mayor relevancia las zonas con mayor incidencia de la radiación solar en la superficie. De esta manera, las zonas climáticas llevan a cabo un patrón bastante más simple, principalmente por la ausencia de agua, que siempre tiene un papel importante tanto en las precipitaciones como en suavizar las temperaturas. Estas temperaturas varían en función del valor de albedo que tiene el terreno, que cuanto mayor sea, más refleja los rayos solares y menos se calienta.

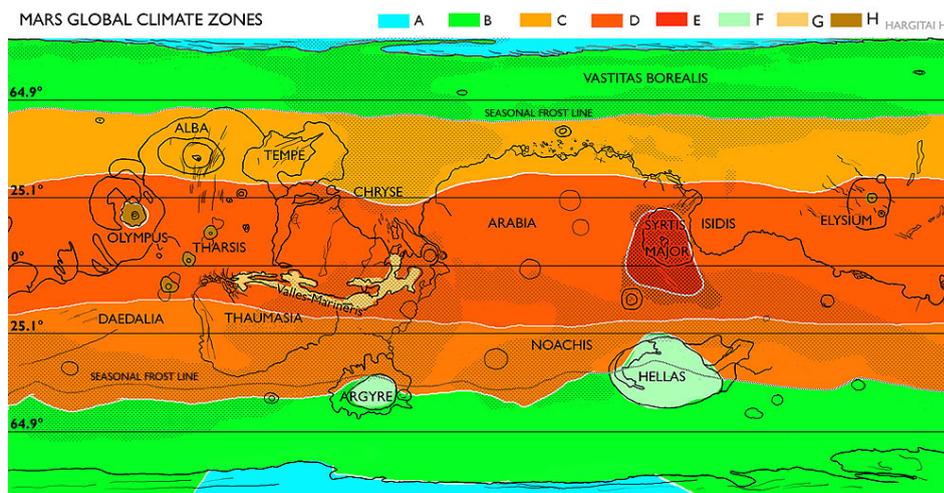


FIGURA 2.12: Zonas climáticas de Marte [39]

La leyenda de la Figura 2.12 para conocer de que zona del planeta corresponde es la siguiente:

TABLA 2.2: Leyenda de la Figura 2.12

Letra	Lugar
A	Glacial (capa de hielo permanente)
B	Polar (cubierto por heladas en invierno y se sublima en verano)
C	Norte (leve) Transicional (Ca) y C Sur (extremo) Transicional (Cb)
D	Tropical
E	Albedo tropical bajo
F	Tierras bajas subpolares (Cuencas)
G	Tierras bajas tropicales
H	Tierras altas subtropicales (montaña)

2.5. Zonas de exploración

A pesar de ser un planeta pequeño, Marte tiene unas características en su geografía que lo hacen especial. Por este motivo, la Nasa se ha centrado en todas sus misiones en buscar diferentes lugares del planeta donde consideren que es importante realizar una misión para investigar ese terreno. En la Figura 2.15 se puede comprobar la ubicación exacta de las diferentes misiones que se han realizado. No todas tienen la misma finalidad, algunas buscan signos de vida extraterrestre en el subsuelo, mientras que otras buscan entender la formación del planeta y comprender su formación...

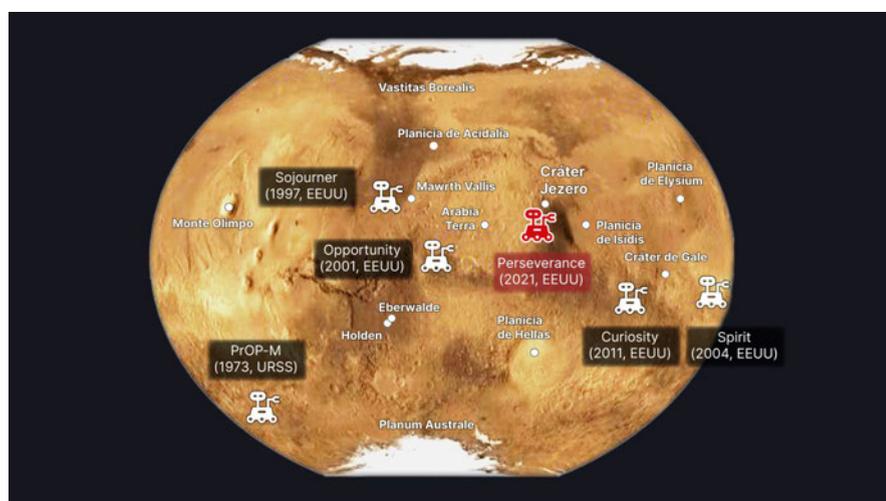


FIGURA 2.13: Ubicación de las diferentes misiones en Marte

[40]

Como se ha argumentado anteriormente, Marte tiene zonas a destacar para explorar según lo que se quiera investigar:

- **Casquetes polares:** Los casquetes polares de Marte están formados por grandes cantidades de dióxido de carbono en forma de hielo. Hay que destacar que según la estación donde se encuentre el planeta, las temperaturas pueden ser muy bajas como en el invierno polar pero en verano, la capa de hielo de dióxido de carbono puede llegar a sublimarse y quedar agua. Hay dos casquetes, en el norte y en el sur, siendo a mayor parte de la capa de hielo del norte está formada por hielo de agua por lo que sería un buen lugar para realizar búsqueda de vida en el agua.

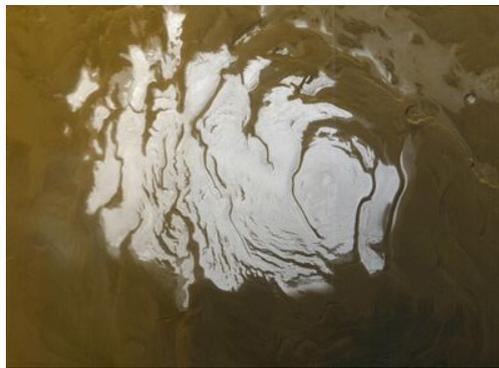


FIGURA 2.14: Casquete polar sur en el año 2000 en Marte [41]

- **Cañones:** En Marte destaca la gran cantidad de cañones situados en el ecuador del planeta, terrenos sinuosos y ríos secos. Se destaca sobre el resto un sistema de cañones situado en la parte media del planeta con una extensión de casi 4500 Km, profundidades de unos 10 Km y 200 Km en su parte más ancha.

Resulta interesante estudiar en profundidad estos cañones porque parecen haber sido ríos secos y canales por los que el agua fluyó erosionando el terreno, haciendo pensar que sí que hubo agua líquida en Marte.



FIGURA 2.15: Vista satelital del Valles Marineris
[42]

- **Cuencas de impacto:** La superficie de Marte está repleta de cuencas de impacto. Hellas Planitia es la cuenca de impacto más grande conocida. La morfología de muchas de las formaciones dentro de la cuenca de Hellas Planitia podría ser el resultado final de la acción durante millones de años del hielo y de los glaciares, por lo que es una gran zona para investigar. También, a destacar es que dentro de la cuenca Hellas, se encuentran los lugares más bajos del planeta, de unos 8 Km por debajo del 0 de la superficie. [43]
- **Regiones volcánicas:** En cuanto a las regiones volcánicas de Marte, encontramos la región del Tharsis localizada en la zona ecuatorial del planeta, justo al lado del Valle Marineris. Tiene miles de kilómetros de extensión y las cotas más altas del planeta, siendo con el Monte Olimpo, el volcán más alto del Sistema Solar.

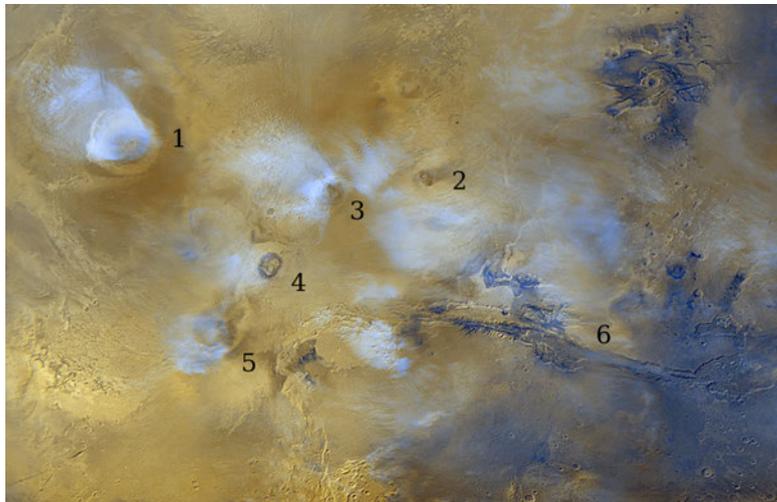


FIGURA 2.16: La región de Tharsis
[44]

TABLA 2.3: Leyenda de la Figura 2.16

Número	Lugar
1	Monte Olimpo
2	Tharsis Tholus
3	Ascraeus Mons
4	Pavonis Mons
5	Arsia Mons
6	Valles Marineris

2.6. Lugares más interesantes para visitar

Hay que tener en cuenta que en la superficie marciana hay un montón de lugares que son interesantes de visitar e investigar a fondo como los comentados en el anterior apartado, pero por algunas razones no son las mejores para la correcta realización de una misión. Por este motivo, hay que tener en cuenta la zona climática y, sobretodo, el relieve por el que el róver tendrá que avanzar ya que hay otros lugares que son interesantes pero inaccesibles y el róver con suspensión rocker-bogie no sería capaz de completar con éxito sus tareas.

Teniendo en cuenta todos estos argumentos, algunos lugares interesantes de visitar y en los que la misión se podría llevar a cabo sin problemas son:

1. **Ophir Chasma:** Las regiones centrales de los Valles Marineris sufrieron un colapso largo y lento en el tiempo creando un enorme cañón de unos 100 Km de ancho en medio del valle.
2. **Ares Vallis:** El agua que escapó en las regiones montañosas por el movimiento de las diferentes capas del subsuelo dio forma a este paisaje situado en el borde de las llanuras del norte, donde los científicos tuvieron la oportunidad de poder estudiar la superficie creada por corrientes de agua durante millones de años.
3. **Argyre Planitia:** Argyre Planitia es una llanura de Marte generada por un cráter de impacto. El cráter mide unos 1800 km de diámetro, por tanto, es el segundo cráter de impacto más grande de la superficie de Marte. Lo que hace especial a este cráter de impacto es que su posición, estructura y tamaño facilita y provoca que sea un terreno ideal para próximas misiones robóticas. [45]
4. **Ríos sinuosos:** Canales y ríos secos y sinuosos como el Reull Vallis, que discurre hacia el oeste, en dirección a Hellas Planitia, tiene los signos necesarios para poder pensar de que se formaron gracias al agua, que fluyó en la superficie marciana durante un largo periodo de tiempo como se puede ver en la Figura 2.11, por lo que sería una gran zona para una misión.

Con la enumeración de los lugares más interesantes para visitar, se escoge uno para realizar el correspondiente estudio del róver con suspensión más adelante.

Capítulo 3

Sistema de suspensión del rover

Tras analizar las singularidades de Marte, su relieve, topografía, geografía y diferentes lugares que resultan interesantes para visitar, es de vital importancia el estudio de la suspensión del rover.

La idea de enviar un rover a Marte es permitir el acceso de los científicos a lugares de interés permitiendo el correcto funcionamiento de los estudios y pruebas que se realicen sin soportar los duros entornos e inconvenientes del espacio. El objetivo principal del rover consiste en moverse entre áreas de interés de forma más o menos rápida y, sobretodo, segura.

Actualmente, los rovers están diseñados para completar con éxito la misión de exploración de otros planetas, en el caso de este estudio, de Marte. Esto genera que los sistemas de movilidad sean muy complejos utilizando gran número de ruedas o patas y, a veces, múltiples cuerpos. Como se ha nombrado al principio de este documento, se han buscado diferentes sistemas de suspensiones para incorporarlos a los rovers, como los Lunokhod con un diseño de ocho ruedas o los rovers en Marte que tienen seis. La tendencia hace indicar que se opta por mínimo 6 ruedas para garantizar una estabilidad necesaria y segura, a pesar de que este diseño aumenta la complejidad .

El propósito de este capítulo es el estudio de las diferentes configuraciones de suspensiones para los rover que existen y escoger la que mejor convenga para el posterior estudio, bajo las hipótesis de gran movilidad sobre terreno irregular y accidentado.



FIGURA 3.1: Suspensión tipo rocker-bogie en un r ver
[46]

3.1. Suspensión de resorte independiente

La suspensión de cuerpo elástico o elástica fue la solución de la URSS con los primeros vehículos que atravesaron la superficie de otro planeta, los famosos Lunokhods.

Eran de un tamaño similar al de un coche compacto. El diseño del tren motriz contaba con ocho ruedas capaces de superar obstáculos de unos 40 cm de altura. Sus ruedas contaban con un diámetro de 51 cm que giraban de forma independientes y llegaban a una velocidad máxima de 2 Km/h. A su vez, las ruedas llevaban un sistema de frenado electrodinámico o con frenos electromagnéticos incorporado para evitar que los Lunokhods rodaran por la superficie de la Luna sin control. Sus ruedas concuerdan mucho con el diseño de la llantas de la bicicleta, por sus característicos radios. También, el coche us  una dirección diferencial provocando mayor facilidad para girar, permitiendo al r ver girar sobre un eje perpendicular sin mayor complicación. [47]

Cada una de sus ocho ruedas de los ocho realizan una motorización individual con una suspensión de torsión independiente. De equipamiento llevan motor eléctrico, un engranaje reductor, un freno, un mecanismo para desconectar el motor y, en el caso de que un rueda se encalle, se puede arrojar explosivamente. [48]

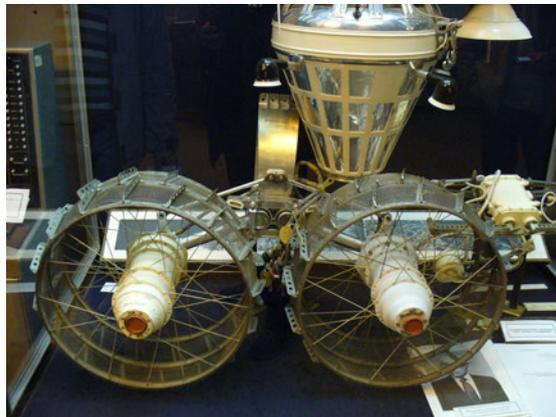


FIGURA 3.2: Ruedas y sistema de suspensiones de un Lunokhod [49]

3.2. Suspensión de cuerpo articulado

Por otro lado, encontramos la suspensión independiente de brazos articulados superpuestos. Los brazos de la suspensión se encuentran articulados entre la mangueta y el propio chasis del vehículo. entre ambos brazos, encontramos los amortiguadores y muelles que facilitan el correcto funcionamiento de la suspensión. Cuando el vehículo se encuentra en movimiento, y se encuentra un obstáculo con relieve, se eleva tanto la mangueta como los brazos de suspensión y se ven comprimidos el muelle y el amortiguador para atenuar las oscilaciones y estabilizar el vehículo.

El vehículo con suspensión de cuerpo articulada tiene un eje principal y central con una bisagra pasiva que permite al vehículo que sus ruedas estén en contacto con el suelo a pesar de avanzar por un terreno irregular. Por ejemplo, el Surveyor Lunar Rover Vehicle estaba compuesto por este tipo de suspensión y 6 ruedas motrices. Su diseño le permitía superar obstáculos 50 % más grandes que el diámetro de una rueda, pero durante las pruebas, se demostró que superar la altura de 1 radio ya era tarea complicada.

Tenía una serie de deficiencias y defectos como su poca altura al suelo, generando que se quedara atascado en áreas de rocas y tenía poco par motor en las ruedas.

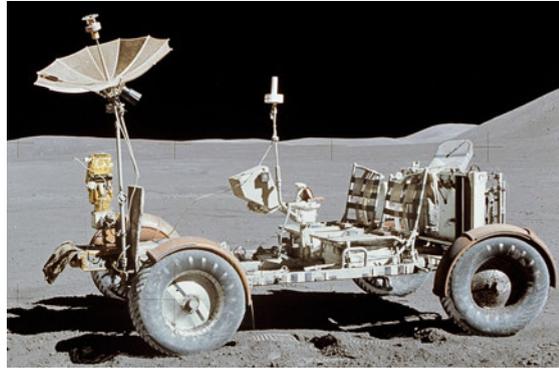


FIGURA 3.3: Imagen del Roving Vehicle Lunar en la misión Apolo 15 en 1971
[50]

Por otro lado, en 1996, Rusia diseñó el róver Masokhod. Es un vehículo articulado compuesto por 6 ruedas que pivotan sobre el eje central con facilidad. Lo que caracteriza a este vehículo es el diseño de sus ruedas, estrechándose hacia la parte central del chasis. Esta peculiar geometría tiene grandes beneficios como, por ejemplo, no es necesaria la distancia al suelo porque la parte baja del róver es prácticamente la superficie de las ruedas. Tiene algunos puntos negativos como que hay demasiado contacto con la superficie obligando a generar grandes cantidades de energía para avanzar pero su centro de gravedad bajo y una presión al suelo baja lo compensa.



FIGURA 3.4: Róver Masokhod en un campo de prueba en 1999
[51]

Como es de esperar, ambos vehículos, tanto el SLRV como el Masokhod utilizan muchos motores y actuadores en las ruedas para su movilidad. El primero de ellos usa 8 motores en total, uno en cada rueda para avanzar y dos extras para girar. El

segundo utiliza 9 motores, 6 en cada rueda y luego otros 3 extras para aumentar la movilidad.

3.3. Suspensión rocker-bogie

Los tres r6vers que han aterrizado en Marte para explorar la superficie llevan la suspensi3n rocker-bogie. Destaca que es una suspensi3n que le permite al veh3culo superar obst3culos de un 50 % mayor que el di3metro de su rueda, facilitando la movilidad del r6ver por cualquier tipo de terreno aun siendo obst3culos muy grandes en proporci3n con sus 6 ruedas.

Este dise1o de la suspensi3n es la favorita de la Nasa porque el rocker-bogie utiliza un juego de ruedas extra para proporcionar un mayor par hacia delante, permitiendo que el r6ver pueda escalar los obst3culos. Estas ruedas tambi3n reducen la fuerza normal en casi 1/6 del veh3culo y las ruedas delanteras no necesitan gran cantidad de empuje porque solo necesitan levantarse y superar el obst3culo. Por este motivo, las 4 ruedas traseras son capaces de generar la suficiente tracci3n como para que el r6ver no patine por la superficie llena de polvo de Marte.

El sistema de suspensi3n rocker-bogie est3 compuesto principalmente por dos piezas que se unen pero conservan libertad de giro. [52]

La primera de las piezas se denomina rocker, que uno la parte principal del r6ver mediante un mecanismo diferencial, lo que genera que si un rocker sube, hablando desde el chasis, el otro baje. De esta manera se consigue una compensaci3n y estabilidad entre ambos lados del r6ver. El rocker est3 conectado con la rueda delantera, con el chasis y con la pieza llamada bogie. El bogie es la pieza que tiene ambos extremos en contacto con las ruedas facilitando as3 la divisi3n y distribuci3n de cargas de manera homog3nea.

La longitud del rocker-bogie, as3 como los diferentes 3ngulos y las posiciones se calculan con el objetivo de distribuir el peso del r6ver sobre las ruedas con la menor fuerza normal actuando sobre el par delantero. De esta manera se consigue mayor tracci3n en las ruedas delanteras ayudando al r6ver a superar obst3culos. Esta suspensi3n es capaz de garantizar un alto grado de movilidad, se permite estar a

una altura mayor sobre el suelo y como su suspensión está por encima del róver, se reduce las probabilidades de quedarse encallado. [47]

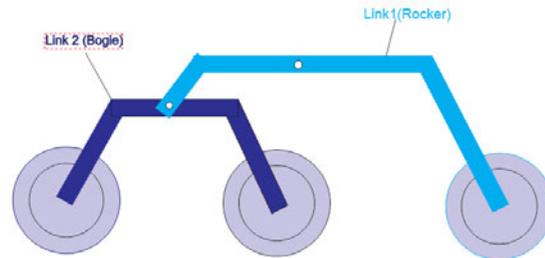


FIGURA 3.5: Ilustración de las piezas rocker y bogie [53]

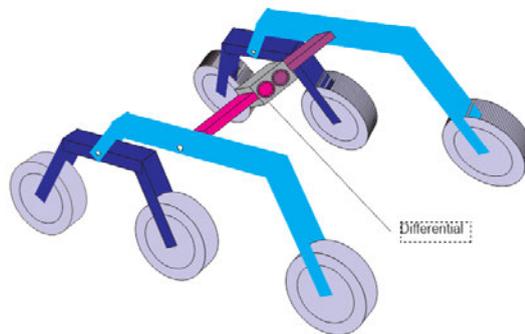


FIGURA 3.6: Ilustración del diferencial que une la suspensión con el chasis [53]

3.3.1. Diseño

Con respecto al diseño de la suspensión rocker-bogie, cabe destacar que no incorpora ningún tipo de muelle o eje en cada una de las 6 ruedas del róver. De esta manera, se consigue que las ruedas estén en contacto permanente con el suelo aun superando obstáculos tan grandes como un diámetro mayor que el de sus ruedas.

La estabilidad es la ventaja principal del róver y esta viene definida por su centro de gravedad, algo más arriba que los anteriores vehículos diseñados por la Nasa. Otro punto a destacar es que el róver no tiene una velocidad de avance alta, de unos 0.15 Km/h, cuatro veces más rápido que el ritmo de un caracol, con el objetivo de gastar menos energía, evitar impactos que puedan generar daños y la misión pueda tener más vida útil. Hay algunos compromisos con este tipo de suspensión, como que una gran inclinación, de unos 45° , puede producir inestabilidad.

Cada rueda del r ver lleva incorporado un motor independiente. A su vez, las dos ruedas delanteras y traseras llevan otro motor para poder hacer girar al vehículo y cambiarlo de dirección y una reductora. El proceso para superar un obstáculo vertical tiene diferentes fases:

1. En primer lugar, las ruedas delanteras son las que primero se encuentran con el obstáculo, siendo empujadas por el r ver. Estas se inclinan sobre su eje para poder adaptarse y así superar el obstáculo.
2. Más tarde, las ruedas centrales serán las siguientes en superar el obstáculo. Son empujadas por las ruedas traseras con la ayuda de que las ruedas las delanteras ejercen una fuerza de tracción sobre el resto del vehículo.
3. Finalmente, las correspondientes ruedas traseras son empujadas por las 4 ruedas que ya han superado el obstáculo hasta atravesarlo con éxito.

Todo este proceso, se realiza a muy baja velocidad e incluso el r ver puede llegar a detenerse por completo para solventar el obstáculo de la mejor manera.

3.4. Suspensión de patas y oruga

Por otro lado totalmente diferente, las suspensiones de vehículos que utilizan ciertos vehículos y robots son bastantes complejas, a pesar de que hay ciertas simplificaciones que lo hacen más asequible para fabricar.

El funcionamiento a grandes rasgos se puede definir como que, para que el robot de un paso y avance, el servo debe hacer funcionar y vigilar si hay un objeto o no para esquivarlo; con la otra pierna del robot es el mismo proceso, siempre buscando una superficie estable donde se deposite el peso en vertical del robot sin balanceo.[54]



FIGURA 3.7: Robot de cuatro patas
[55]

Con respecto a la tracción del vehículo con forma de oruga, resulta interesante estudiar este tipo de diseño. Existen diferentes configuraciones, orugas rectangulares, triangulares y trapezoidales. Las dos primeras presentan unas características similares en cuanto a que la distribución del peso de vehículo sobre la superficie ayuda a tener bastante tracción, de las orugas trapezoidales, existen dos tipos: las de triángulo escaleno e isósceles. Estos dos diseños también logran una gran distribución uniforme al suelo, con buena tracción pero en terrenos donde no hay mucho agarre, la rueda delantera al tener menos diámetro que la trasera, puede provocar que el vehículo no ejerza el suficiente par como para poder avanzar y quedarse atrapado en un obstáculo. [56]



FIGURA 3.8: Suspensión y rueda en forma de oruga
[57]

3.5. Requisitos del diseño de la suspensión para misiones en Marte

Elegir el correcto diseño para la suspensión del r ver en Marte requiere analizar todas las posibles soluciones que existen en la actualidad y pensar en los diferentes requisitos necesarios para el correcto funcionamiento y de posibles cambios o nuevas soluciones para mejorar el diseño actual.

La principal función del sistema motriz y suspensiones del r ver en Marte es llegar al emplazamiento que se quiere estudiar y colocar los diferentes aparatos científicos

en el lugar adecuado. Para identificar todos los requisitos que tiene que superar el diseño del rover se nombran a continuación:

- El rover tendrá que realizar diferentes estudios científicos en diferentes lugares de interés geológico que podrían estar a muchos kilómetros de distancia unos de otros.
- Los diferentes lugares de estudio no tienen la misma superficie, por lo que el rover debe estar preparado y ser polivalente para poder adaptarse con éxito sobre cualquier obstáculo que se le presente en su trayectoria, dentro de las limitaciones reales por parte del diseño.
- El sistema de movilidad del rover debe ser fiable y que pueda mantener una eficacia relativamente alta durante decenas de kilómetros de funcionamiento durante todo el tiempo que dura la misión para poder alcanzar todos los objetivos científicos.

3.5.1. Terreno y ambiente

Dentro de los requisitos del diseño de la suspensión encontramos el terreno y el ambiente que va a recorrer el rover en Marte.

Dependiendo del complejo geológico que se quiera visitar, se encontrará un relieve totalmente diferente y, dependiendo de la zona climática que se encuentre, el tiempo también será totalmente distinto. Por estas razones, el rover necesitará de unas características de gran movilidad que le permitan atravesar grandes complejos rocosos o, por el contrario, atravesar las grandes llanuras de Marte cubiertas de polvo.

Con respecto al terreno, se puede catalogar en dos los tipos de obstáculos, negativos o positivos. Los primeros son los que se encuentran por debajo del plano horizontal como agujeros o cráteres y se intentan evitar para que el rover no tenga la posibilidad de quedarse encallado y no pueda salir de ahí. Con respecto a los segundos, son totalmente al contrario, los que se encuentran en la parte positiva del plano horizontal, como las rocas en la superficie.

Un vehículo de superficie en terreno natural encontrará dos tipos de obstáculos; positivo y negativo. Las rocas que están por encima del plano del suelo se consideran obstáculos positivos. Los agujeros y cráteres son ejemplos de obstáculos negativos. La mayoría de los rovers se mantendrán alejados de los obstáculos negativos por temor a que se atasquen o dañen con una caída más fácilmente que si chocan contra un obstáculo positivo. Hay dos tipos principales de positivos que se estudiará más adelante, tipo escalón que provoca que se eleve todo el rover y que a medida que las ruedas delanteras avanzan, las traseras también tendrán que levantarse para superar el obstáculo. En cuanto al obstáculo tipo bache, se considera que el rover puede atravesarlo ya que puede pasar una rueda sobre el objeto.



FIGURA 3.9: Pruebas de superación de obstáculos
[58]

Cabe indicar que el diseño de la suspensión tendrá una serie de limitaciones por medidas, centro de gravedad y facilidad para la adaptación de ciertos terrenos y superación de obstáculos. Por este motivo, el rover debe ser capaz de detectar si el obstáculo es superable antes de llevar a cabo la acción de superarlo.

Capítulo 4

Características de la misión

Una vez se ha explicado en este estudio de suspensión rocker-bogie para misiones en Marte el marco histórico y el interés por visitar el planeta rojo, conocer curiosidades, datos y lugares de interés además de las diferentes suspensiones que pueden ser posibles para un futuro diseño, en este capítulo se resumen todos los datos expuestos anteriormente y se llega a una conclusión para el posterior diseño.

4.1. Lugar de exploración

En primer lugar se encuentra elegir el lugar de exploración para poder, posteriormente, diseñar el r ver de manera que se adecue a las necesidades que se encontrará.

El emplazamiento de Marte elegido para la realización de este estudio es **Argyre Planitia**, una llanura situada en la meseta sur del planeta, nunca estudiada e interesante y de fácil acceso para un aterrizaje del r ver en Marte.

4.1.1. Por qué Argyre Planitia

Como se a nadi  anteriormente en el estudio, es una llanura generada por un cráter de impacto hace millones de años. Es el segundo cráter de impacto más grande de la

superficie de Marte y es bastante interesante por las formaciones geológicas de su interior.

En primer lugar, Argyre Planitia reúne una serie de características y condiciones necesarias para una futura misión con el objetivo de encontrar vida en el planeta rojo. En la grande extensión que cubre este cráter, se piensa que existen diferentes lugares interesantes para estudiar como depósitos de agua en el subsuelo, colinas que se pudieron formar a través de la fusión del agua en el subsuelo, e incluso, depósitos glaciares donde se puede hallar vida. [45]

Por otro lado, a la vez que es un lugar de bastante interés por visitar y que vale la pena estudiar desde el terreno y no con una sonda en órbita, la superficie de este cráter no sufre grandes cambios de relieve lo que la hace accesible tanto para un futuro aterrizaje como para el correcto funcionamiento de la misión.

Comparándolo con la tierra, el lugar se encuentra aproximadamente a la altura de las islas Malvinas. Esta curiosidad supone que la misión debería realizarse durante los meses de primavera y verano, donde el buen tiempo y las horas de luz solar es mayor.



FIGURA 4.1: Borde sur de la cuenca de Argyre, formada por los Charitum
Mons
[59]

A continuación se nombran algunos requisitos para la misión en Marte que Argyre Planitia cumple con creces, de ahí su elección:

- Llegar a la superficie de Marte de una manera exitosa, rápida y segura es lo primordial. Aunque en este estudio no se estudia cómo llega el rover a Argyre Planitia, si es una competencia tenerlo de requisito para elegir el emplazamiento, porque sino sería inviable la misión. Con Argyre se evitan lugares de grandes altitudes como volcanes, grandes rocas o mayores obstáculos, terreno arenoso donde se pueda quedar encallado el rover e incluso grandes pendientes que hagan imposible el movimiento del rover en subida o peligroso en una cuesta con sentido descendente.
- Por otro lado, con respecto a las zonas climáticas de Marte, como podemos ver en la Figura 2.12, Argyre corresponde a la zona sur del planeta, a las cuencas polares de la región 'F', muy cerca del ecuador del planeta en contacto con la zona 'C' que, al igual que en la Tierra, es la región del planeta donde las condiciones climáticas son más suaves.
- La región de Argyre, en sus 1800 Km de diámetro tiene varios emplazamientos geológicos, montañas y diferentes áreas. Según el objetivo de los científicos, el lugar del aterrizaje puede ser uno u otro, pero con las mismas características de relieve en la superficie de esta extensa cuenca de impacto.

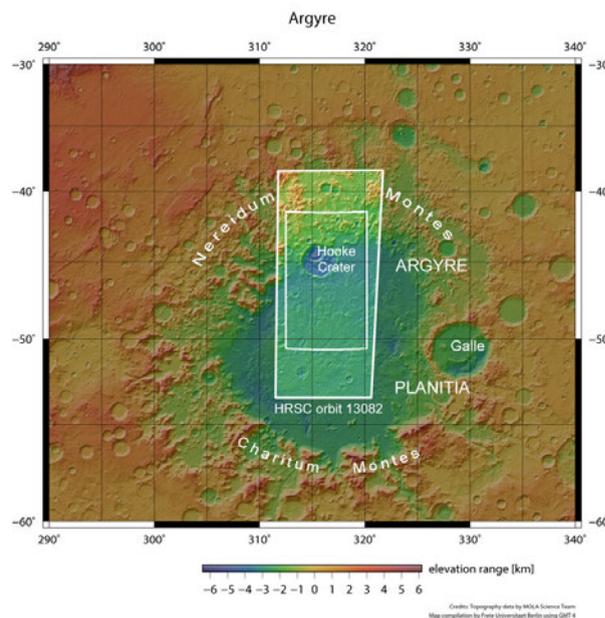


FIGURA 4.2: Mapa del cráter Hooke, en el interior de la cuenca de Argyre [60]

4.2. Prediseño del rover

El prediseño de rover elegido en este estudio será de la misma familia que el rover Curiosity y Perseverance. Cabe destacar que no se diseñaran los equipamientos científicos ni otro tipo de objetos que lleve el rover que no sea el sistema de suspensiones rocker-bogie y lo necesario para que este funcione correctamente. La familia de rovers anteriores tiene unas dimensiones de unos 3 metros de largo, algo menos si no contamos con el brazo robótico, 2.7 metros de ancho y 2.2 metros de alto.[61],

En este estudio se realiza el diseño de un rover sin su equipamiento científico por lo que su tamaño, peso y movilidad será totalmente diferente, pero será lo necesario para poder comprender y evaluar el funcionamiento de la suspensión en la superación de obstáculos.

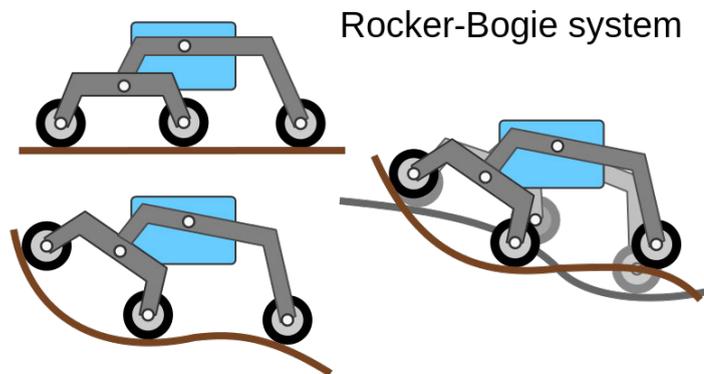


FIGURA 4.3: Boceto de la aproximación de resultados que se quiere conseguir con el presente estudio

[62]

Capítulo 5

Diseño del r ver

En este Capítulo 5, se recoge toda la información expuesta anteriormente para poder realizar verdaderamente el objetivo del proyecto, el prediseño y estudio de un r ver con sistema rocker-bogie para misiones en Marte. Para exponer toda la información de una manera estructurada, se dividirá en capítulos con el objetivo de un mejor entendimiento de la evolución y estudio del r ver.

5.1. Objetivo del diseño

Tras el exhaustivo análisis llevado a cabo anteriormente, y una vez elegido el sistema de suspensiones rocker-bogie, el principal objetivo del diseño es la movilidad en el terreno de Argyre Planitia de una forma segura, correcta y constante.

Para lograr estas tres metas, el sistema de suspensión rocker-bogie y las ruedas deben garantizar una fiabilidad extrema, una adaptación al terreno ejemplar y, tener las menores limitaciones de obstáculos posibles. Teniendo en cuenta que el diseño tiene que cumplir con creces estos requisitos, a continuación, se describir  el diseño geométrico del r ver con sus correspondientes partes necesarias.

5.2. Diseño geométrico

Para comenzar con el diseño geométrico del r ver, una de las principales características que hay que definir es el tamaño del r ver. Teniendo en cuenta que en este estudio se pretende conseguir los resultados más precisos posibles, el tamaño y diseño será muy parecido a los r ver Curiosity y Perseverance, pero sin ningún tipo de equipamiento tecnológico. A partir de aquí, se puede definir el diseño geométrico como las diferentes partes que lo componen.

- En primer lugar las ruedas, que aunque no lo parezca, es el único elemento que est  en contacto con el suelo, así que es el más importante porque de ellas depende todo. Sus seis ruedas permiten el apoyo uniforme del peso del r ver en el suelo y permite su desplazamiento por el planeta rojo.
- En segundo lugar se encuentra la estructura, compuesta por dos partes bien diferenciadas, el rocker, que es la parte fija, y el bogie, que es la parte móvil. Tendrá que ser lo suficientemente resistente para poder soportar las diferentes fuerzas, cargas internas y externas y las diferentes acciones que se realizarán en las futuras tareas científicas.
- Por último, el chasis. Es el encargado de unir las dos suspensiones por medio del diferencial además de llevar los equipamientos científicos y de muestras en su interior.

5.2.1. Ruedas

Las 6 ruedas que forman parte del r ver llevarán todas el mismo diseño. Las ruedas son un elemento esencial, no solo en el aterrizaje en Marte, sino que también en el transcurso de la misión, como se ha podido observar a lo largo la historia con Curiosity y Perseverance, de las que se puede sacar una serie de conclusiones para diseñar las ruedas de la mejor manera.

Las ruedas, en el caso de que se rompan como le está ocurriendo al Curiosity, est n preparadas para avanzar por medio de las llantas. Como características principales se encuentran que est n preparadas para no hundirse en la arena y que los radios se

unen a la rueda por una doble capa interna en un tercio del ancho total de la rueda, permitiéndole rigidez. El número de salientes será de 40, igualmente repartidos en la circunferencia, de manera que la superficie de aluminio que está expuesto con el suelo, reduciendo la degradación de la rueda. [63]

Por otro lado, encontramos que el material es un aluminio anodizado en negro, para disminuir la corrosión y para evitar destellos que puedan ser perjudiciales para las cámaras y sensores que lleva el rover. Los salientes de las ruedas tampoco serán rectos como anteriormente sino que serán curvados. De esta manera, se consigue un agarre firme sobre un terreno arenoso con poco agarre disminuyendo las probabilidades de deslizamientos laterales.



FIGURA 5.1: Rueda del Curiosity con los agujeros que indican el JPL en código Morse [63]



FIGURA 5.2: Detalle la llanta del Perseverance [63]

Una vez estudiado el diseño preliminar de las ruedas, se comienza a diseñar siguiendo las pautas escritas anteriormente. El diseño parte de la base de unos 60mm de anchura y las siguientes medidas de diámetro que podemos ver en la Figura 5.3

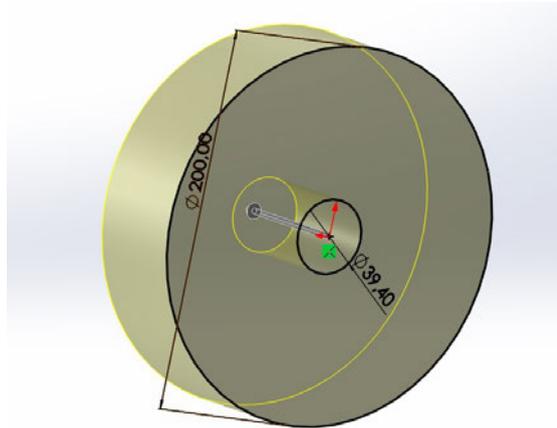


FIGURA 5.3: Dimensiones de la rueda

Una vez completada el diseño inicial, se comienza con el diseño de las 6 llantas de cada rueda, para finalmente, completar el diseño final de las ruedas como se puede ver a continuación:

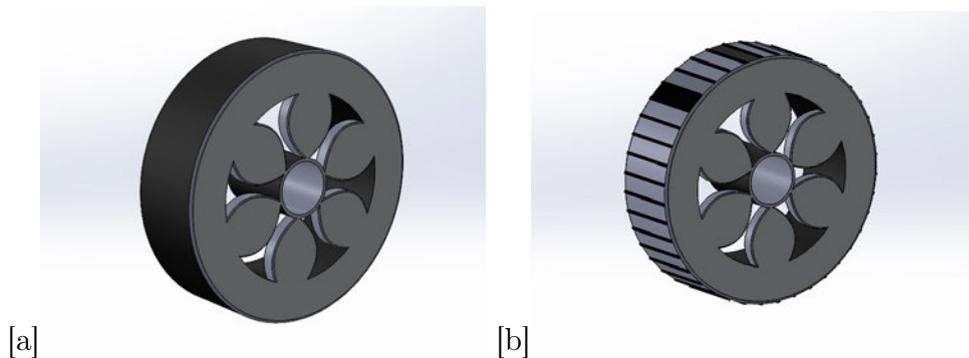


FIGURA 5.4: Diferentes diseños de la rueda del r ver

Como se puede comprobar en la Figura 5.4 (a), que es el primer diseño de la rueda incorporando la llanta, para más tarde, en la Figura 5.4 (b) tener en cuenta los diferentes salientes para aumentar la tracción en el suelo y evitar desplazamientos, además de incorporar los agujeros del JPL para el código Morse.

5.2.2. Estructura

A continuación, se encuentra el diseño geométrico de la estructura. Es bastante importante e imprescindible el correcto diseño de esta parte porque están en contacto directo con las ruedas, además de soportar las fuerzas y cargas de todo el

vehículo. Por este motivo, el diseño geométrico del rocker-bogie está basado en la superposición de triángulos. [64]

Para llevar acabo el sistema geométrico con triángulos semejantes y un róver de 6 ruedas, se realiza el siguiente esquema de la Figura 5.20:

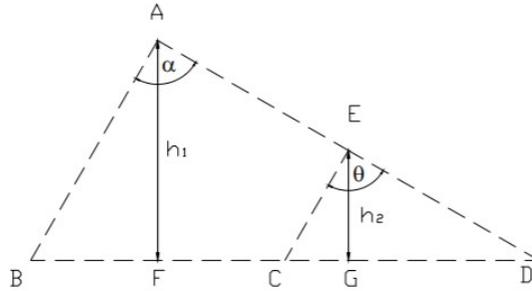


FIGURA 5.5: Sistema geométrico de la estructura del róver [64]

TABLA 5.1: Leyenda de la Figura 5.20

Letra	Significado
A	Punto fijo de unión entre el chasis y la estructura
B	Punto central de la rueda delantera
C	Punto central de la rueda intermedia
D	Punto central de la rueda trasera
E	Punto móvil de la estructura
F	Puntos geométricos
G	Puntos geométricos

Una vez tenemos la geometría de la estructura y el significado de cada punto, se empieza a dimensionar suponiendo la altura y los ángulos de los triángulos, a partir de la cual sacamos las diferentes medidas:

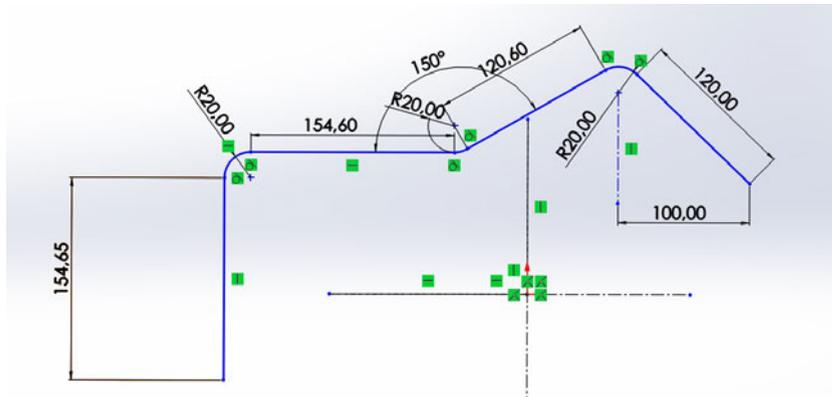


FIGURA 5.6: Geometría y medidas del rocker

Una vez se han calculado los diferentes valores de las diferentes líneas de construcción de la estructura del rocker-bogie según los requisitos necesarios, se termina de definir la estructura con esta geometría, como se puede apreciar, se divide la estructura en dos partes, el segmento BA-AE es la parte fija llamada rocker, el punto A es la unión entre la estructura y el chasis y el segmento e-E-d es la parte móvil denominada bogie que permite entre otras cosas el balanceo.

A continuación, se diseña el correspondiente bogie con su característico punto móvil para garantizar el balanceo que buscamos:

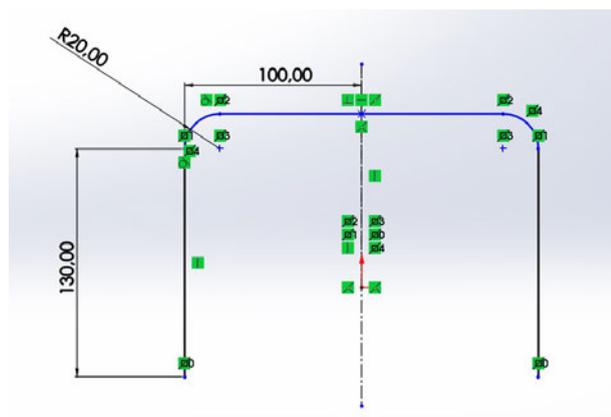


FIGURA 5.7: Medidas del bogie

Finalmente, se consiguen diseñar el prototipo final de las diferentes piezas, para más tarde ensamblarlas. De esta manera, se conseguiría el primer paso de tener las 6 ruedas, juntos con el rocker y el bogie. A continuación se muestran los diferentes diseños:

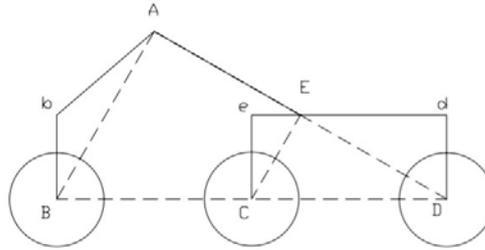


FIGURA 5.8: Sistema geométrico de la estructura del rocker rediseñado [64]

Siguiendo el diseño definido en la Figura 5.8, se consiguen los diferentes diseños de rocker y de bogie, ambos con una anchura de 30mm de diámetro.

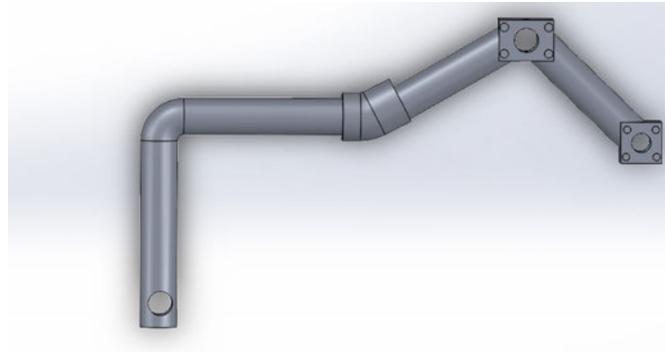


FIGURA 5.9: Diseño del rocker [64]

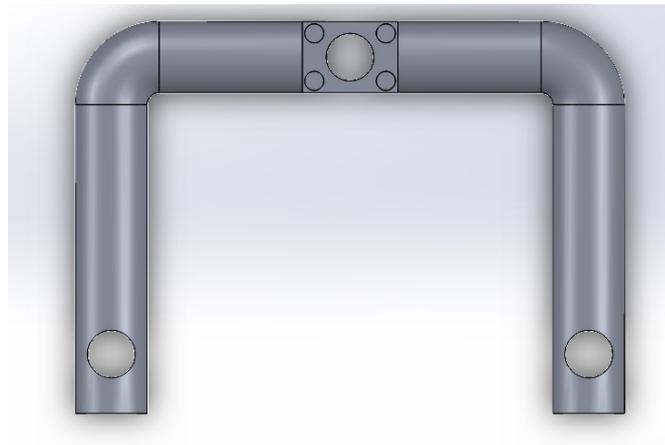


FIGURA 5.10: Diseño del bogie

Por último, como se ha expresado anteriormente, quedará por ensamblar el rocker con el bogie para dar una solución aproximada del diseño final que se desea, como podemos seguir en la Figura 5.11

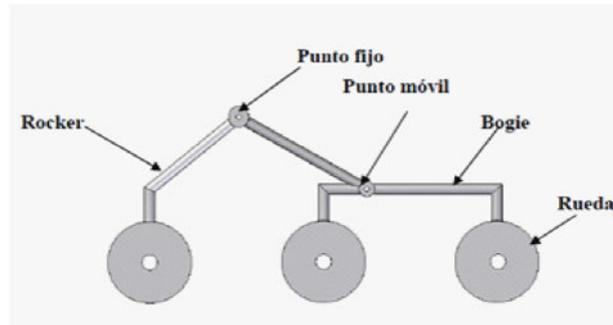


FIGURA 5.11: Estructura del rocker-bogie deseada [65]

Para finalizar con la sección de estructura, se expone el resultado final del ensamblaje de la estructura rocker-bogie con sus respectivas ruedas.

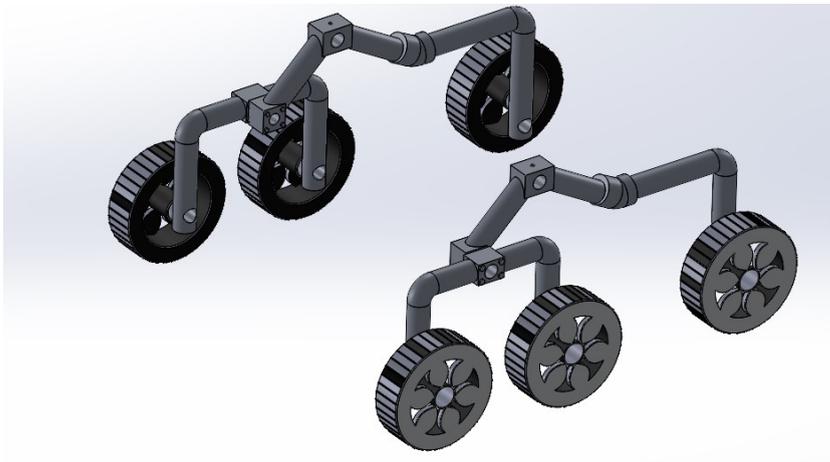


FIGURA 5.12: Estructura del rocker-bogie final

5.2.2.1. Limitaciones estructurales y de diseño

Una vez estudiada la estructura inicial del rover, es importante conocer las limitaciones estructurales y de diseño que tiene, para conocer que tipo de obstáculos puede atravesar el rover y cuáles no. En la superficie de Argyre Planitia, predominan terrenos arenosos con diversas rocas en la superficie que pueden complicar el devenir de la misión, además de otro tipo de obstáculos.

Por ejemplo, en la Figura 5.13, se ha realizado un estudio de los diferentes obstáculos que existen en el cráter Jezero, que el rover Perseverance tendrá que superar para completar con éxito la misión. Por este motivo, el rover aunque sea capaz de

superar algunos obstáculos de mayor complicación, se opta por realizar una misión que busca exclusivamente la seguridad por lo que el rover deberá no siempre ir por la ruta más corta sino por la más segura. Por esto mismo, el rover Perseverance deberá recorrer un laberinto.

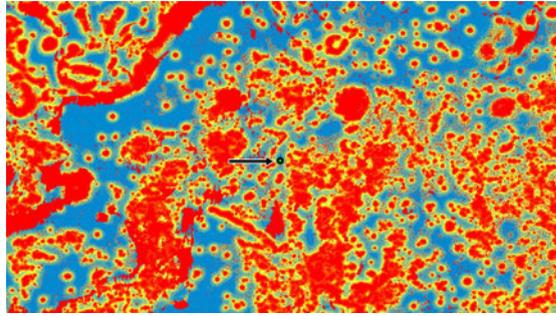


FIGURA 5.13: Peligros en el cráter Jezero [66]

TABLA 5.2: Leyenda de la Figura 5.13

Color	Significado
Colores azulados	Áreas seguras
Colores rojizos	Áreas peligrosas

Una vez se ha analizado que los obstáculos pueden ser peligrosos, se analizan los más comunes y con los que en una futura misión, el rover se podría encontrar en el área de Argyre Planitia:

- **Obstáculo de pendiente**

Un obstáculo muy frecuente en la superficie de Marte son grandes tierras con un terreno con inclinación tanto negativa como positiva. Aunque en Argyre Planitia no abundan estas características, el rover debe estar preparado para solventarlas, aunque siempre es aconsejable evitar este tipo de obstáculo ya que las ruedas sufren diferentes tipo de reacciones, empeorando el agarre y facilitando un balanceo peligroso del rover.

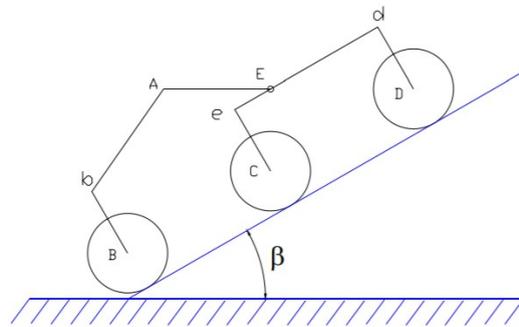


FIGURA 5.14: Obstáculo tipo pendiente
[65]

- **Obstáculo tipo cráter**

Este tipo de obstáculo consiste en que el r ver puede encontrarse un hueco de cierta profundidad, o bien un terreno arenoso y tendrá que atravesarlo sin ningún tipo de problema.

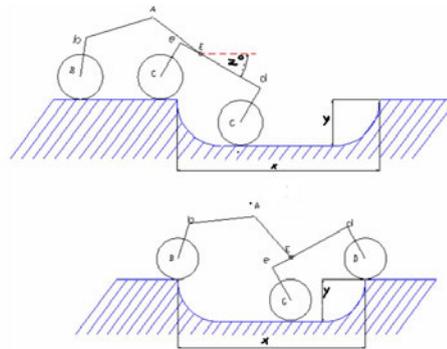


FIGURA 5.15: Obstáculo tipo pendiente
[65]

- **Obstáculo tipo escalón**

Los obstáculos tipo escalón suelen ser terrenos con piedras de diferentes tamaños que el r ver debe analizar en primera medida, para más tarde, ejecutar la acción de superarlo o buscar una nueva vía. Se ha fijado que el r ver puede superar obstáculos del doble del radio de sus 6 ruedas.

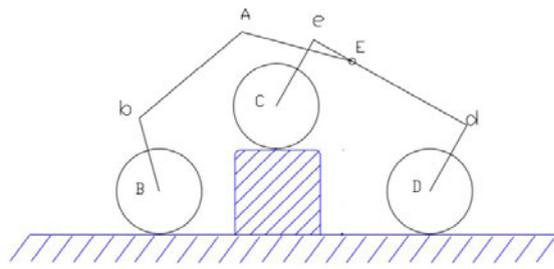


FIGURA 5.16: Obstáculo tipo pendiente
[65]

5.2.3. Chasis

El chasis es la parte central del r ver, a partir de la cual parten todos los componentes que lleva a bordo. Sus dimensiones varían en función del material científico que queremos llevar para poder tener el espacio suficiente para guardarlos. Por este motivo, en este estudio no se tiene esto en cuenta, porque únicamente se llevará acabo el estudio de su suspensión, por tanto las dimensiones se establecerán de otra manera.

El centro de gravedad del chasis, será el punto de unión de los balancines con el diferencial, que permanece fijo al chasis, de ahí la importancia de los materiales para garantizar la rigidez deseada siempre manteniendo un coeficiente de seguridad. El material que se utiliza debe ser resistente y rígido pero a la vez, de baja densidad para intentar disminuir el mayor peso posible.

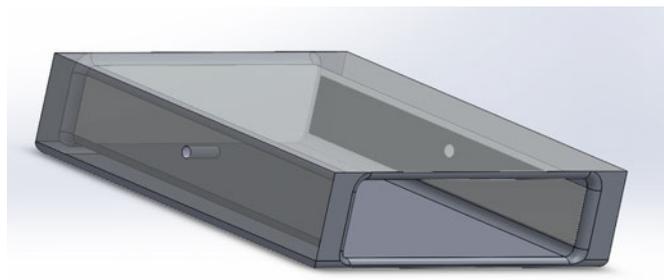


FIGURA 5.17: Diseño del chasis del r ver

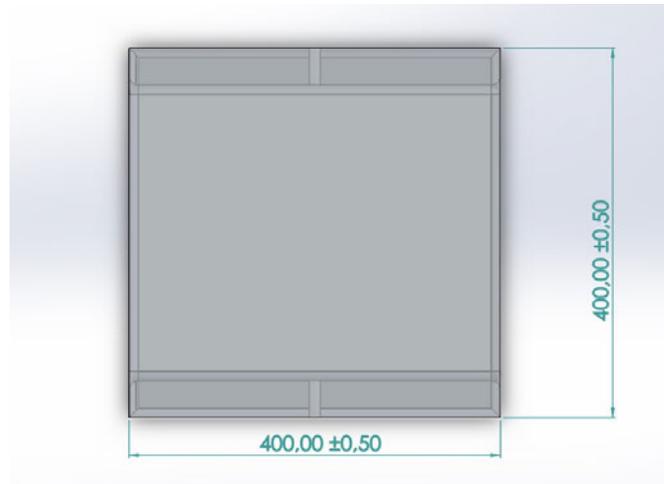


FIGURA 5.18: Dimensiones del chasis

El centro de gravedad se encuentra centrado, en la perpendicular media donde se ubica la unión entre el diferencial y el balancín de la manera correcta, provocando que el equilibrio de fuerzas sea lo más homogéneo posible.

5.2.4. Diferencial

Aunque no lo parezca, el diferencial es uno de los componentes más importantes y complejos de la estructura del r ver, atendiendo solo a la parte mecánica y del diseño de los componentes de la suspensión rocker-bogie. Es la pieza clave, que une mediante el chasis los dos rockers y mantiene la estabilidad, por este motivo no es fácil comprender el funcionamiento. Lo que provoca que el cuerpo no se balancee ni hacia atrás ni para delante es, básicamente, que los dos balancines se conectan entre sí a través del cuerpo mediante el diferencial. La unión de esta manera consigue que el cuerpo siempre se mantenga nivelado.

Por este motivo, con respecto del cuerpo, cuando una parte del mecanismo sube, la otra bajar  consiguiendo la estabilidad deseada.

Existen dos posibles soluciones de diferenciales para aplicarlos al r ver, la caja de engranajes diferenciales o la barra diferencial.

5.2.4.1. Caja de engranajes diferenciales

Con respecto a la caja de engranajes diferenciales que une los dos rockers mediante el chasis, fue utilizada por los r6veres Opportunity y Spirit. [67]

Con este sistema de engranajes, la caja de cambios se encuentra dentro del propio chasis del r6ver por lo que no es visible a simple vista. Los Opportunity y Spirit usaban caja de engranajes m1s complejas, tanto de m1s dientes como de diferentes pasos y mecanismos, pero con un simple diferencial de tres velocidades se puede conseguir. Tenemos el engranaje mayor que est1 soldado al chasis, que se une con dos otros engranajes m1s peque1os que est1n unidos a los rockers por el balanc1n. De esta manera, se mantiene firmemente el r6ver en el suelo, aplicando una carga igual a las ruedas en un terreno llano y que cuando un balanc1n se incline hacia arriba el otro har1 la misma acci3n pero hacia abajo.

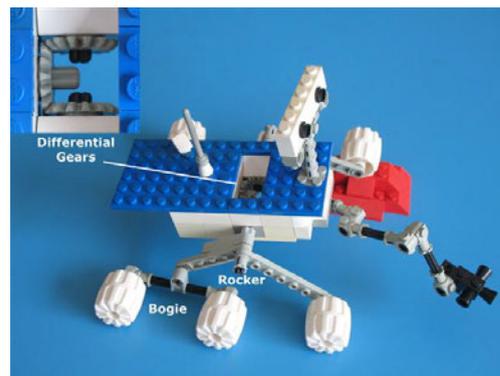


FIGURA 5.19: Diferencial de tres engranajes [67]

5.2.4.2. Barra diferencial

La soluci3n y actualizaci3n que dise1o la Nasa acerca de el diferencial de los r6veres consiste b1sicamente en conectar el centro de una barra con el chasis y sus dos extremos a los dos balancines a trav1s de enlaces cortos. De esta manera, se consigue que el chasis se mantenga firme y que, si una rueda se inclina, inclin1ndose su balanc1n, su extremo de la barra avanzar1., haciendo retroceder a su contrario y, por tanto, haciendo que se incline hacia abajo para contrarrestar. Esta soluci3n no fue incorporada en los r6ver Opportunity y Spirit porque hubiera interferido en el dise1o de los paneles solares.

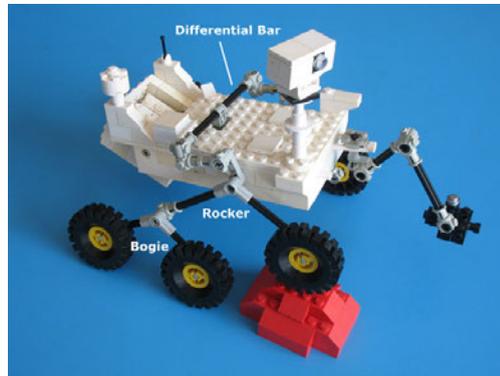


FIGURA 5.20: Barra diferencial
[67]

Una vez se ha estudiado las diferentes posibilidades y diseños por parte de la NASA y se quiere realizar el estudio del sistema de suspensión rocker-bogie, en este estudio se opta por elegir el diseño del juego de los tres engranajes diferenciales para poder analizar de una forma más visual y que se pueda comprender de una manera más sencilla el comportamiento de este. Cabe destacar que en los Mars Rovers no se podía ver este mecanismo porque iba en el interior del chasis, pero como en este estudio, la parte superior del chasis es de vidrio resistente, se podrá analizar en todo momento el ensamblaje y el correcto funcionamiento del mecanismo diferencial.

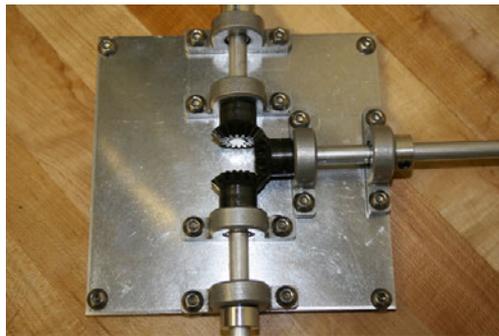


FIGURA 5.21: Vista previa de el ensamblaje que se requiere
[68]

5.2.5. Diseño del diferencial

En el caso correspondiente a este estudio, como se puede ver en la Figura 5.21, se diseña una rueda pequeña con 26 dientes que sirve para engranarse con la rueda grande de 52 dientes fijada en el chasis, y que el movimiento de estas se traducirán

en el movimiento de los balancines que unen el rocker con el chasis se moverán en acción reacción, si uno sube el otro baja.

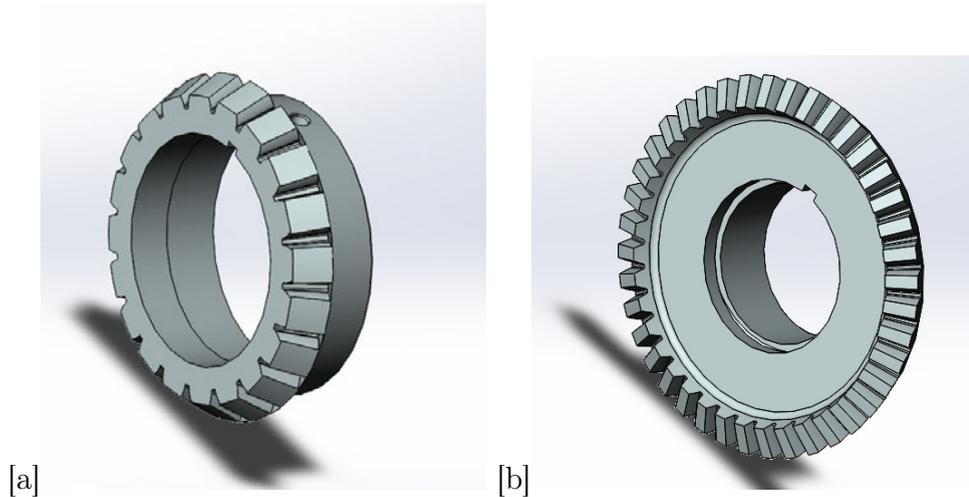


FIGURA 5.22: Diferentes engranajes

Con respecto a la Figura 6.4 (a), se puede apreciar la rueda de engranajes más pequeña de 26 dientes. Su diseño permite engranarse con la rueda más grande una forma suave para permitir mejor relación entre engranajes, además de una vida más larga y un contacto más suave. La Figura 6.4 (b), es la rueda mayor, la que establece la rotación de giro entre el chasis y los rockers. Tienen 52 dientes, con el mismo diseño que las ruedas menores.

El diferencial que compone todo el sistema de suspensión rocker-bogie está compuesto de tres engranajes biselados idénticos situados a 90 grados entre sí desde el centro del chasis y, por tanto, del vehículo.

Cada engranaje está fijado a un eje de transmisión de acero que está montado en el cuerpo del róver mediante 2 cojinetes de deslizamiento montados. Un engranaje conectado a la izquierda del centro del chasis, un engranaje conectado a la derecha y el último engranaje fijado en la plataforma principal del chasis del róver. Las dos varillas o tubos que unen los engranajes están enfrentadas entre sí a la izquierda y a la derecha del róver para garantizar que es el punto de conexión entre el sistema de suspensión y el chasis del vehículo.

¿Por qué se incluye este diferencial en el mecanismo? Pues bien, la inclusión de este diferencial asegura tanto que el róver como su ángulo de inclinación siempre estén adaptados al terreno y sea estable. Si las ruedas del lado derecho atraviesan

un obstáculo positivo, se aplica una fuerza contraria a las otras tres ruedas, por tanto, si una sube, la otra baja. Esa fuerza contraria, ayuda al r ver a mantener la tracción en las otras ruedas, provocando y asegurando mayor estabilidad y control. Esto es el por qué del diferencial, cuando un lado aumenta hace girar un balancín hacia un lado, generando el resultado inverso en el otro engranaje, de ahí la fuerza positiva y su contraria. [69]

Para este mecanismo diferencial, todas las relaciones de transmisión son iguales, colocadas tres ruedas a 90 grados una respecto de la otra. Esto, a grandes rasgos, significa que si el engranaje izquierdo gira 10 grados y el engranaje derecho gira 20 grados, el chasis girará 15. Esto provoca que siempre el chasis se mantenga estable, a pesar de la irregularidad del terreno.

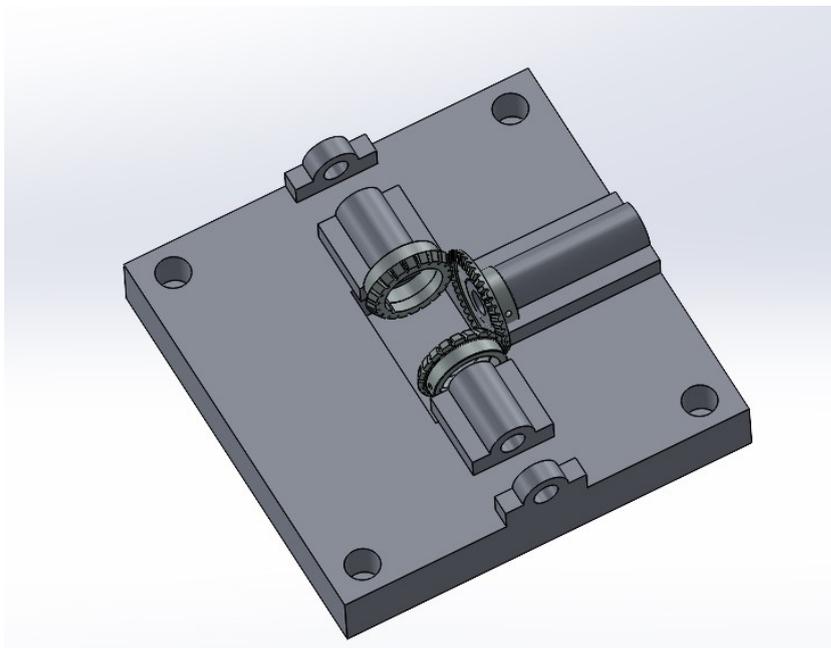


FIGURA 5.23: Vista previa de el ensamblaje que se requiere

5.2.5.1. Redise n del tren diferencial

Tras analizar con detenimiento el diseño propuesto anteriormente, se conseguía el resultado esperado con los engranajes diferenciales, pero tras analizar sus pros y contras que se recogen a continuación se opta por cambiar el diseño del tren diferencial:

- Con puntos positivos, se encuentra que el diseño es completamente válido y correcto, las relaciones de movimiento se establecen correctamente y el resultado es óptimo.
- Como factores negativos, se encuentra que este mecanismo requiere mucho más peso al vehículo para que se pueda fijar la rueda mayor del engranaje al vehículo, por lo que la plataforma a la que van soldados los engranajes cambiaría el centro de gravedad del vehículo, además de que las ruedas tengan que soportar más peso.

Por estas razones, se opta por un nuevo diseño de un mecanismo del tren diferencial, modificando tanto el diseño de este para centrarlo en el chasis de vehículos, aumentar la complejidad del diseño y disminuir el peso de este.

La idea consiste en diseñar engranajes epicicloidales, entre los que destacamos los engranajes diferenciales, ya que como anteriormente, el objetivo es el movimiento y relaciones de transmisión entre ejes. Este mecanismo ayuda a transmitir el par motor a las 6 ruedas motrices del r ver, pero estas girarán de manera diferente debido a las irregularidades del terreno que se encuentre el r ver por Marte. Aunque la velocidad de las ruedas del r ver est n controladas por servos, un diferencial de un coche también hace variar las velocidades de las ruedas para evitar que las dos ruedas al recorrer distancias mayores una respecto a la otra, el coche no deslice.

En el diseño de la Figura 5.24, se establece un diferencial propio de coches, engranajes c nicos, un eje de salida del motor como la caja de cambios, que engranan a una gran corona, fijada a un portas telites, donde se vuelve a engranar con las otras ruedas. De esta manera, se consigue que el motor fije la velocidad, pero que esta sea variable.

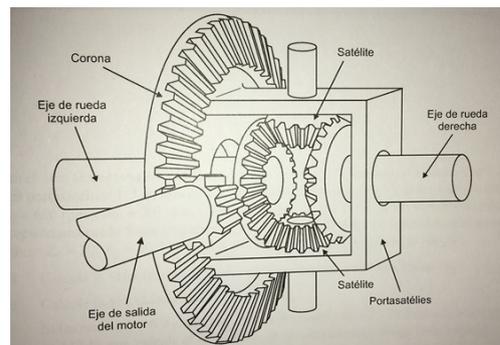


FIGURA 5.24: Esquema de un engranaje diferencial [70]

Con respecto a este estudio [71], se opta por realizar un tren diferencial con 4 ruedas, colocadas a 90 grados una respecto de la otra, con relación 3:1. Las ruedas superiores es inferiores están conectadas a las menores, que son las que llevan el movimiento de los rockers. De esta manera, se consigue que si una rueda menor gira hacia el lado derecho, la otra lo hará sobre su lado izquierdo consiguiendo la acción que se pretende, que cuando las ruedas de un lado del róver atraviesan un obstáculo, las otras no se levantarán y seguirán en contacto con el suelo. Por tanto, el nuevo diseño del tren diferencial del róver es el de la Figura 5.27.

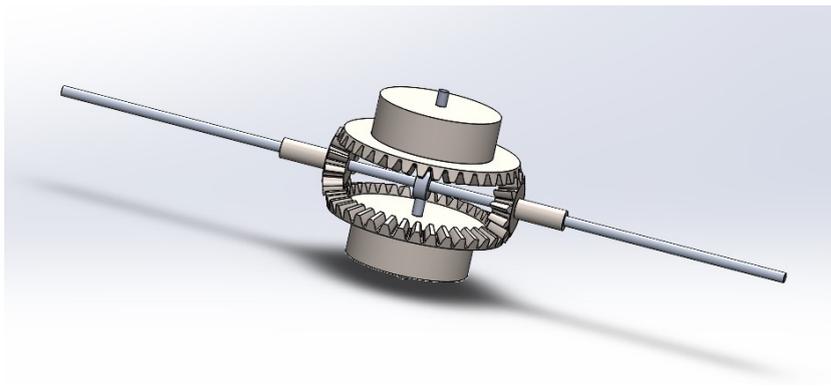


FIGURA 5.25: Nuevo engranaje

Como se puede apreciar en la imagen, el tren diferencial se moverá según el movimiento que ejerzan los rockers sobre él. Tener cuatro ruedas de engranajes permite que la transmisión de movimiento se realice de una forma suave y casi que lineal, sin cambios bruscos. Esto es directamente proporcional a conseguir una mayor estabilidad y menor balanceo, traduciéndose en mayor agarre y tracción por parte del róver, objetivo principal en este diseño de la suspensión rocker-bogie. En la Figura 5.26, se aprecia el ensamblaje final del diferencial con el chasis los rockers.

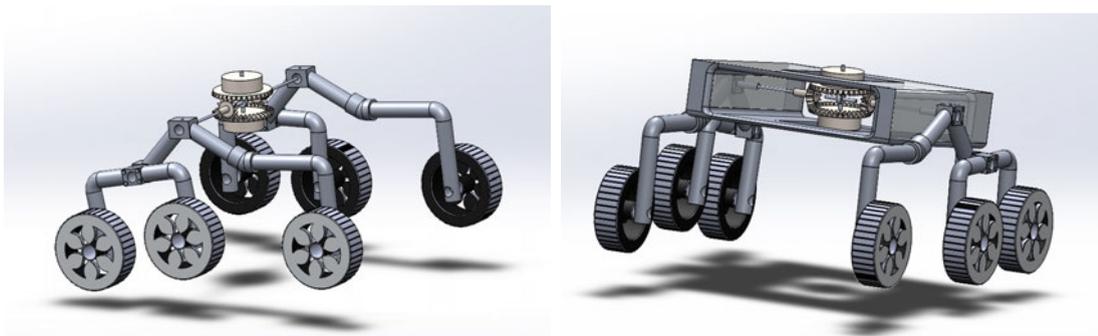


FIGURA 5.26: Ensamblaje del diferencial con el chasis los rockers

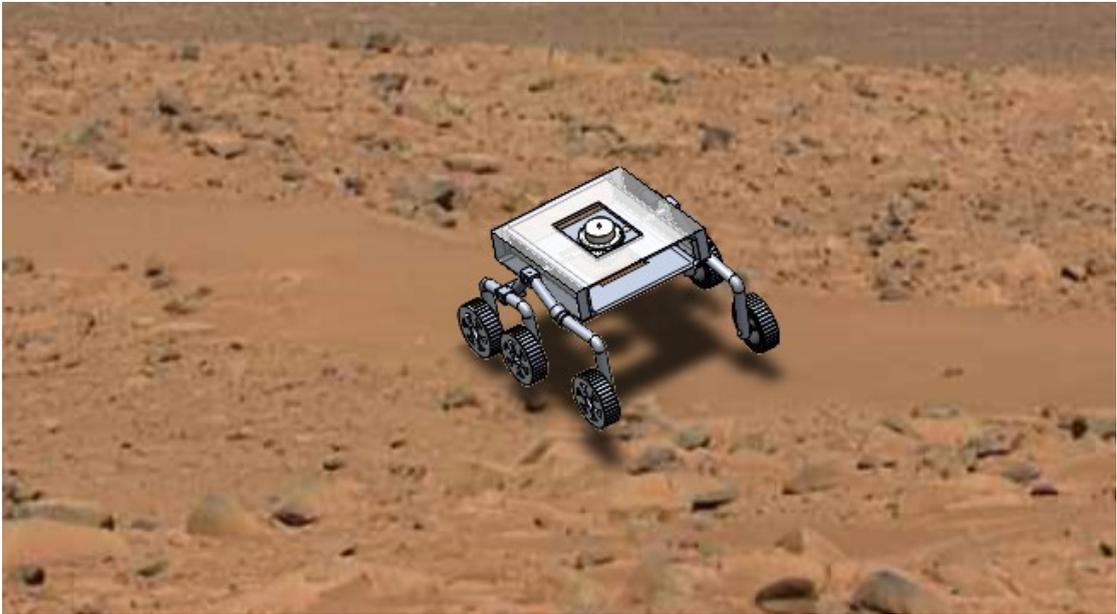


FIGURA 5.27: Render del r over en la superficie marciana

Capítulo 6

Materiales

En este Capítulo 6, se trata de hacer un estudio de los diferentes y posibles materiales por los que el rover puede estar compuesto, para más tarde, escoger en función de los requisitos y objetivos de la misión.

6.1. Ruedas

Con respecto a los materiales de las 6 ruedas del rover, se puede separar entre la carcasa exterior de la propia rueda y la llanta. Cada una de estas tiene unas características diferentes por su diferente objetivo y función en la misión. A nivel general, se pretende que se sean unas ruedas ligeras, con gran capacidad ante la corrosión y que ofrezcan una capacidad al desgaste alta, debido tanto a la duración de la misión como al suelo resquebrajado de Argyre Planitia.



FIGURA 6.1: Rueda de Curiosity (sin agujeros en código Morse y sin el anodizado negro) comparadas con la de los MER

[72]

6.1.1. Carcasa exterior

La carcasa exterior de la rueda, es decir, la propia rueda en sí, como se informaba anteriormente tiene que tener la capacidad de agarre en terrenos resbaladizos y de no quedarse encallada en terrenos arenosos, asegurando una gran rigidez, poco peso y gran durabilidad. [73]

Por este motivo, el material escogido es el aluminio, en concreto la aleación AA7075-T7351, el grosor más fino que se puede fabricar para disminuir el peso sin afectar a sus características físicas y mecánicas. El aluminio 7075 es una aleación de aluminio y zinc que tiene la mayor resistencia de todas las aleaciones incluso casi que comparable a muchos aceros. Entre otras características, destaca por su alta relación resistencia/densidad, el aluminio 7075 se emplea actualmente en la industria aeroespacial, y el rover Perseverance también lo lleva. [74]

6.1.2. Llanta

Por otro parte, se decide que las llantas que estarán en contacto con la carcasa exterior estará formada por titanio.

El titanio es un material que combina una gran rigidez y resistencia, rígido y tenaz y buena resistencia a la corrosión. El titanio también se puede procesar fundiéndolo, soldándolo o forjándolo así que es bastante útil para estas misiones.

Por otro lado, es un material paramagnético, refractario y le cuesta conducir tanto la electricidad como el calor, pudiendo tolerar las temperaturas y condiciones extremas que se encontrará en Marte. Está muy demandado en el sector aeronáutico por estas razones y su gran porcentaje en aluminio le genera una excelente resistencia mecánica para mejorar sus propiedades.

Como punto negativo es su alto precio pero sus características hacen que valga la pena incluir algo más de presupuesto. Por tanto, el aluminio escogido es el de grado 5, la de mayor resistencia a tracción y muy utilizada en el sector aeroespacial. [75]

6.2. Chasis

Como se ha comentado en el capítulo de diseño del chasis, es el encargado de soportar todos los esfuerzos mecánicos del r ver, además de transportar la carga útil y equipamiento científico. Para definir qué material escoger, se deben seguir una serie de criterios explicados a continuación:

- En primer lugar, hay que tener en cuenta tanto la rigidez como la ligereza de los materiales [76]. De esta manera, se consiguen grandes resultados en cuanto a los esfuerzos mecánicos del r ver ,además de reducir el peso total del vehículo, permitiendo obtener un mayor rendimiento en todos los aspectos. Para llevar a cabo este proceso de reducción del peso, hay diferentes soluciones y posibilidades que lo harían posible, en este estudio se llevan todas a cabo para obtener el resultado más óptimo: [77]
 - La primera consiste en buscar y desarrollar materiales con características similares de rigidez y durabilidad, intentando disminuir su densidad para eliminar peso. Una posible solución consiste en substituir el hierro o acero por materiales compuestos o el mismo aluminio.
 - Rediseño del chasis, permitiendo la disminución del peso sin alterar a las características propias del diseño ni de disminución de sus propiedades mecánicas.
 - Hablar con la empresa fabricante de estos materiales para que sean más eficientes en su fabricación y, posteriormente, también en sus propiedades mecánicas.
- Por otro lado, está la seguridad y la garantía de que los materiales elegidos en el chasis puedan soportar las condiciones climáticas de Marte, sus tormentas de polvo y g lidas temperaturas, además de garantizar la absorpci n de la energía en caso de impacto de la mejor manera, sin llegar a resquebrajarse. Tiene que tener un alto coeficiente de seguridad este material.
- El precio también es importante. Hoy en día, el precio de los materiales no es solo el de la propia porción de material sino que incluye los costes de tratamiento y fabricación. Por estos motivos, incluir un material más costoso

como el aluminio por delante del hierro requiere una explicación como que es eficaz y necesario para la misión.

Tras ser analizados con profundidad las características generales y específicas, en este estudio se opta por un **chasis de aluminio con acero de alta resistencia**.

Por un lado, el acero es un material tremendamente fiable, rígido y que cumple con creces los factores de seguridad propuestos. El aluminio es un material mucho más ligero, con una densidad de un tercio con respecto del acero, con gran capacidad frente a la corrosión pero que no tiene gran rigidez, por lo que se necesitaría una aleación de aluminio:

TABLA 6.1: Cuadro comparativo Acero-Aluminio [2]

Características físicas y mecánicas	Acero	Aluminio
Peso Específico (gr/cm^3)	7.85	2.70
Módulo de elasticidad (N/mm^2)	200000	65000
Límite elástico (N/mm^2)	240-360	270



FIGURA 6.2: Acero [78]



FIGURA 6.3: Aluminio [79]

Como se expresó anteriormente, es necesario tratar el aluminio para darle una mayor rigidez a los diferentes esfuerzos mecánicos a los que esté sometido el róver.

Por esta razón, la aleación de aluminio escogida es la 2024, usando el cobre como elemento principal y presenta una muy buena resistencia de fatiga. Como factor negativo, se encuentra que tiene una baja resistencia a la corrosión pero se puede revestir con lo que no habría problema en este aspecto.

Finalmente, se opta por un chasis compuesto por acero y aleación de aluminio 2024, donde la mayoría de la estructura del chasis estará formada por el acero que es el material más rígido y sustituirlo por el aluminio en las parte donde no sea necesaria tan rigidez, facilitando así la solución de los problemas de peso.[80]

6.3. Sistema de suspensión rocker-bogie

Continuando con el mismo procedimiento que anteriormente para definir el material tanto del rocker como del bogie, se insiste en encontrar un material que sea capaz de soportar las cargas fijas y puntuales que se puedan dar durante el recorrido del rover, las temperaturas y condiciones extremas de Marte, que ofrezca garantía de gran durabilidad y de un material ligero, que se pueda tratar pero resistente.

Al igual que en las llantas, se llega a la conclusión de que el material más adecuado para construir el rocker y el bogie es el titanio. Como se adelantaba anteriormente, destaca por su dureza y resistencia a la corrosión invasiva. Al ser paramagnético, tener poca conductividad térmica y eléctrica, es el adecuado para el rocker y el bogie ya que por ellos pasan todo tipo de cableado eléctrico, los motores de las ruedas...Además, la capacidad de tolerar temperaturas extremas en el espacio exterior hace que se emplee en gran medida en la industria aeroespacial, al igual que en las llantas, el titanio elegido es del grupo 5.[81]

TABLA 6.2: Cuadro del titanio grupo 5 [3]

Características físicas y mecánicas	Titanio Gr 5
Densidad (gr/cm^3)	4.42
Módulo de rigidez (KN/mm^2)	40-44
Módulo de elasticidad (kN/mm^2)	105-120

A continuación, se muestra la suspensión rocker-bogie y el titanio:



FIGURA 6.4: Suspensión rocker-bogie compuesta en Titanio
[82] [83]

6.4. Otras alternativas

Escoger ciertos materiales o no, requiere de un estudio previo de diversos parámetros que no tienen por qué estar relacionados. Aquí, toma relevancia los materiales compuestos que son materiales que se combinan con otros para obtener características imposibles de conseguir con el propio material y conseguir propiedades para un uso en específico. A priori, esto suena bastante positivo pero hay algunos inconvenientes que hacen que no sea adecuado llevarlo en el rover como, por ejemplo, pueden presentar huecos o espacios que degradan sus propiedades físicas, las uniones entre dos partes estructurales no son del todo seguras, dificultad y mayor tiempo en la manufactura, derivando mayores costes, y que sus propiedades mecánicas de los materiales que estén reforzadas por fibras tendrán esfuerzos críticos en las direcciones contrarias a las fibras.

Por estos motivos, se opta por elegir materiales clásicos, bien conocidos por el sector aeronáutico que están sobradamente preparados para la misión en Marte.
[84]

6.5. Resumen de los materiales escogidos

A nivel de resumen y de clarificar los diferentes materiales escogidos para los diferentes componentes de la suspensión rocker-bogie se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 6.3: Recopilación de los materiales

Componente del r�ver	Material
Carcasa Exterior (rueda)	Aluminio 7075
Llanta	Titanio Gr 5
Chasis	Acero y Aluminio
Rocker	Titanio Gr 5
Bogie	Titanio Gr 5

6.5.1. Costes

Para poder calcular los costes de los materiales que conforman el r ver, se tiene que tener en cuenta tanto el proceso de fabricación y manufacturación en la tierra, una valoración del peso/coste del propio material y la cantidad de volumen que van a conformar todas estas partes. De esta manera, se consigue saber el peso total del r ver conociendo la densidad del material y el volumen a utilizar.

Conocer la densidad de los materiales de los diferentes componentes del r ver es esencial para calcular la masa de los diferentes componentes. En la siguiente tabla se encuentra la información necesaria:

TABLA 6.4: Densidad de los materiales

Material del componente	Densidad
Aluminio 7075	2.8 [85]
Titanio Gr 5	4.42 [86]
Acero	7.85 [87]
Fibra de Carbono	1.75 [88]
Hierro	7.86 [89]

Las unidades de esta tabla se miden en:

- Densidad en g/cm^3

Una vez se ha encontrado la densidad de los materiales, se dispone a encontrar el volumen y la densidad de cada pieza. Con la ayuda del software de SolidWorks, y la función de propiedades físicas, se puede conocer estas magnitudes para cada pieza, como podemos ver en la Figura 9.3

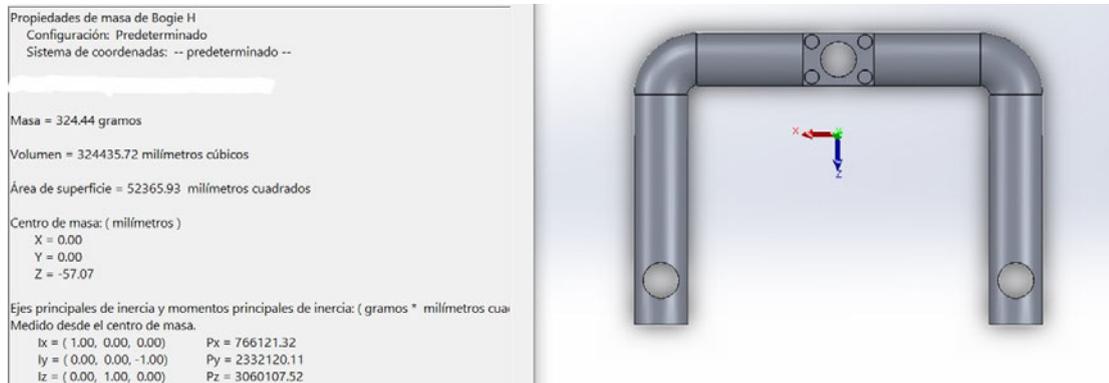


FIGURA 6.5: Acero

A modo de resumen, se expone en la siguiente tabla la información conveniente:

TABLA 6.5: Área, volumen y masa de cada componente

Componente	Material	Área	Volumen	Masa
Carcasa Exterior (llanta)	Aluminio 7075	172.72	159	445.2
Llanta	Titanio Gr 5	606.62	295.68	1306.91
Chasis	Acero y Aluminio	6275.48	5133.91	15500
Rocker	Titanio Gr 5	718.90	476.37	2105.56
Bogie	Titanio Gr 5	523.66	324.44	1434

Las unidades de esta tabla son:

- **Área** en cm^2
- **Volumen** en cm^3
- **Masa** en g

Una vez conocemos la masa total de cada componente y su material de fabricación, se pueden calcular los diferentes costes en cuanto al precio propio del material, su coste de fabricación y finalmente, el coste final. Cabe destacar que estos son los costes relativos al proceso de fabricación y manufacturación, sin tener en cuenta aún los costes de personal, transporte y ensamblaje por ejemplo.

TABLA 6.6: Precios [4]

Componente	Material	Manufacturación	Precio final
Carcasa Exterior (rueda)	10	5	6.68
Llanta	25	60	111.09
Chasis	50	100	2325
Rocker	25	60	178.97
Bogie	25	60	121.89

Las unidades de esta tabla se miden en:

- **Material** en €/Kg
- **Manufacturación** en €/Kg
- **Precio final** en €

Capítulo 7

Presupuesto

En esta sección denominada Presupuesto, se lleva a cabo el estudio económico del proyecto, tanto de la parte de estudio como de costes.

El presupuesto del estudio está valorado en **27000€** durante las 600h de realización mientras que el presupuesto de costes, se divide en tres ramas, los correspondientes componentes y materiales que conforman el röver, el proceso de montaje por los diferentes profesionales contratados y la licencia del software de CAD que ha sido utilizado para el diseño del röver. Todo este desglose está valorado en **856 643.63€**, como se puede ver en la correspondiente tabla:

TABLA 7.1: Presupuesto global de materiales, montajes y licencias

Concepto	Coste (€)
Materiales	3993.63
Montaje	844 400
Licencias	8250
Total	856 643.63

El documento donde se desglosa en detalle la información necesaria para comprender estos datos se encuentra en forma de anexo con el nombre: *Trabajo de Fin de Grado - Presupuesto*.

Capítulo 8

Análisis del impacto medioambiental

El análisis del impacto medioambiental del rover en Marte es mínimo, pero hay que tener en cuenta que para que este llegue ahí, un cohete debe llevarlo al planeta rojo, influyendo de manera negativa en el medioambiente con los gases expulsados y con la basura espacial restante.

Los efectos que tendrán los cohetes sobre el medio ambiente son muy altos, aunque en la fase despegue, y al volar tan rápido y a gran altitud, se garantiza no solo una distancia segura de las personas sino también de las aves, que suelen volar a altitudes más bajas.

En cuanto a los materiales utilizados en el rover, pueden considerarse materiales muy respetuosos con el medio ambiente. En cuanto al proceso de fabricación, se busca por que las empresas cuiden los procesos de fabricación, procesamiento y manufacturación. Cabe destacar que la limpieza al extremo por parte de cada uno de los componentes que forman el rover, para no llevar bacterias terrestres a Marte y así no contaminar las pruebas, provoca que se intente tener un mínimo impacto medioambiental en Marte, planeta donde trabajará el rover.

Como materiales utilizados se encuentra el aluminio, acero y titanio, y tienen diversos elementos en cuanto a su impacto ambiental. de la serie 7xxx, normalmente tiene mejor resistencia mecánica y otras propiedades que el aluminio de grado puro, pero el uso de sílice y magnesio significa un aumento en el impacto ambiental.

El impacto medioambiental del aluminio de grado puro es, como se indicó anteriormente, menor que el impacto de cualquiera de sus aleaciones. La extracción de bauxita tiene impactos en el paisaje porque hay que preparar el terreno. A menudo, eso significa que hay que cortar los árboles y quitar el suelo y la suciedad. La minería es a cielo abierto, por lo que existe una profunda contaminación del paisaje. El tratamiento químico para transformar la bauxita en aluminio también es muy exigente y consume mucha energía. El lado bueno del aluminio es que es completamente reciclable (si no presenta impurezas), a diferencia del plástico que normalmente pierde propiedades y se degrada con cada ciclo de reciclaje que atraviesa. [90]

El acero presenta más o menos los mismos problemas de impacto ambiental que el aluminio. Eso es la extracción del mineral de hierro, el refinado y la creación final del acero agregando carbono al hierro. La minería es explotación directa del suelo y tiene consecuencias sobre el paisaje alrededor del mineral minero. La fabricación y síntesis de acero también es un proyecto que requiere un alto consumo energético y por ello se generan grandes cantidades de CO_2 . Al igual que el aluminio, el acero también se puede reciclar la mayoría de las veces.

Con respecto a los procesos de fabricación del titanio, y al no encontrarse directamente en la naturaleza, se extrae en primer lugar del óxido de titanio, abundante en zonas costeras. De esta localización surge un primer inconveniente, las inevitables consecuencias sobre los ecosistemas costeros. Suele ser habitual que las plantas de fabricación y procesamiento del titanio no estén al lado de su lugar de extracción, por lo que también interfiere negativamente en el medioambiente contaminándolo aún más. [91]

Como se había expresado anteriormente, el daño ambiental de extraer el titanio conlleva una serie de consecuencias negativas para la naturaleza generando deforestación, liberación de CO_2 , eliminación de la biodiversidad, de la fauna y flora endémica del lugar o que puedan estar en peligro de extinción.

En cuanto a este estudio, y como el objetivo es el estudio de la propia suspensión, no se entra en profundidad de los diferentes componentes eléctricos ni fuente de energía del röver. Aunque no se tenga en cuenta en este estudio, cabe destacar que en la realidad también afecta y de manera negativa.

Capítulo 9

Prototipo final

El prototipo final llevará el nombre de **MartGuestE**, que relaciona las palabras de Marte, Guest y Tegueste, relacionadas tanto con el autor de este estudio como con el r ver.

9.1. Resumen

En esta última sección, se exponen los resultados finales del estudio en cuanto al diseño del r ver. Se recopila datos principales del vehículo y se muestran diferentes renders para poder comprender de una mejor manera el diseño.

Sus características principales son las siguientes:

- Evidentemente, el diseño del r ver no está realizado en dimensiones reales, por lo que se ha tenido que reducir la escala. Por este motivo, las dimensiones correspondientes son 647.08 mm de largo, 613.72 mm de ancho y 350 mm de altura.
- La suspensión elegida es la solución que plantea la NASA, denominada rocker-bogie, formada por dos piezas, el rocker anclado al chasis y al bogie, y este que rota sobre el rocker.
- En la búsqueda de los materiales ideales, se busca el menor peso, mayor capacidad de dureza, durabilidad a las condiciones extremas de Marte pero

con el menor peso posible. Por esto en la siguiente tabla se enumeran los diferentes materiales para todos los componentes:

TABLA 9.1: Recopilación de los materiales del prototipo final

Componente del r�ver	Material
Carcasa Exterior (rueda)	Aluminio 7075
Llanta	Titanio Gr 5
Chasis	Acero y Aluminio
Rocker	Titanio Gr 5
Bogie	Titanio Gr 5

- El peso total del v hculo teniendo en cuenta los materiales y todo el equipamiento necesario es de 20.79 Kg.
- Siguiendo con la naturalidad de la suspensión rocker-bogie, el v hculo está compuesto por 6 ruedas, cada una compuesta por 40 salientes separados unos de otros con 15  de inclinación, minimizando el desgaste y el poco agarre de la arena marciana.
- Se ha diseñado un tren diferencial con 4 ruedas, colocadas perpendicularmente una respecto de la otra para conseguir el movimiento de un rocker que sea el inverso del otro.

Una vez expuestas las características más relevantes del diseño del r ver, se muestran diferentes renders para poder visualizar de primera mano los resultados.

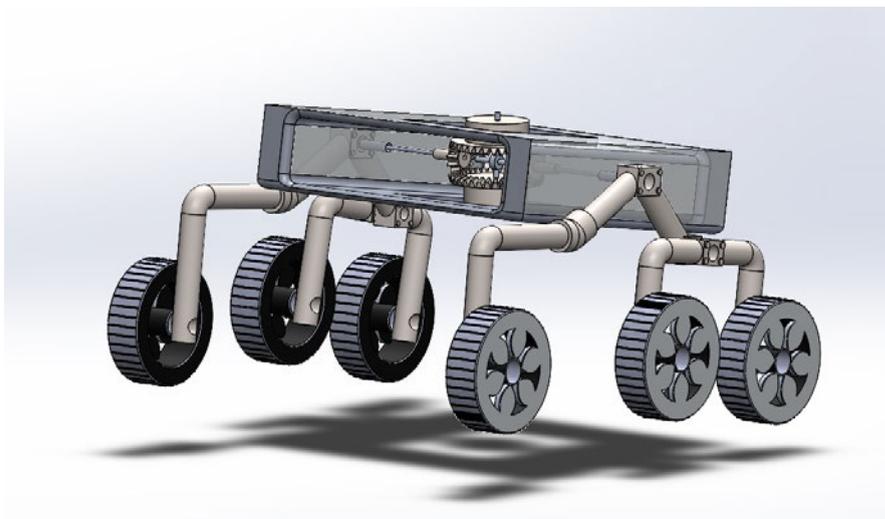


FIGURA 9.1: Prototipo final con los materiales añadidos

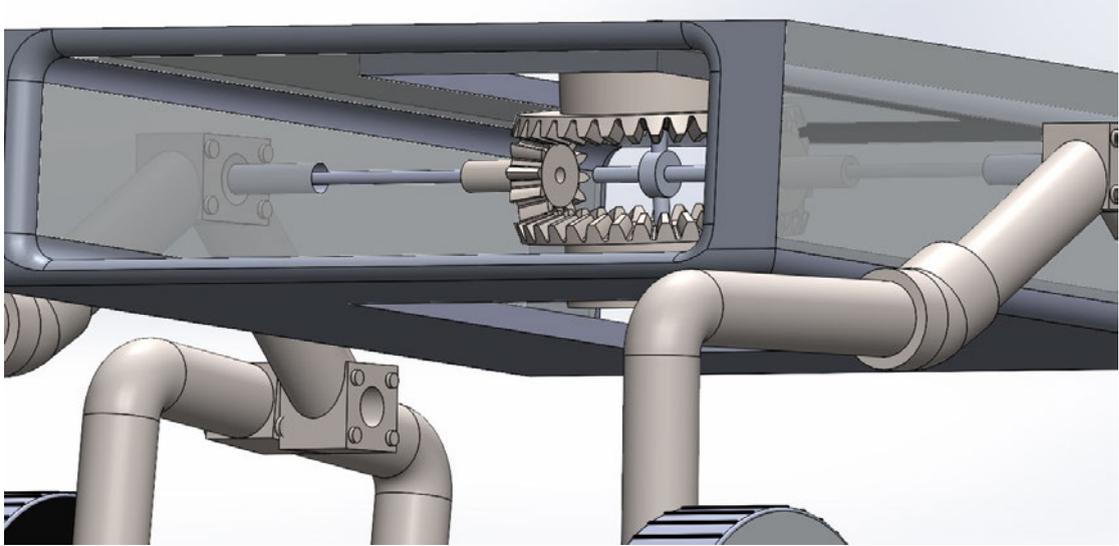


FIGURA 9.2: Estructura y unión del tren diferencial con el chasis y el rocker

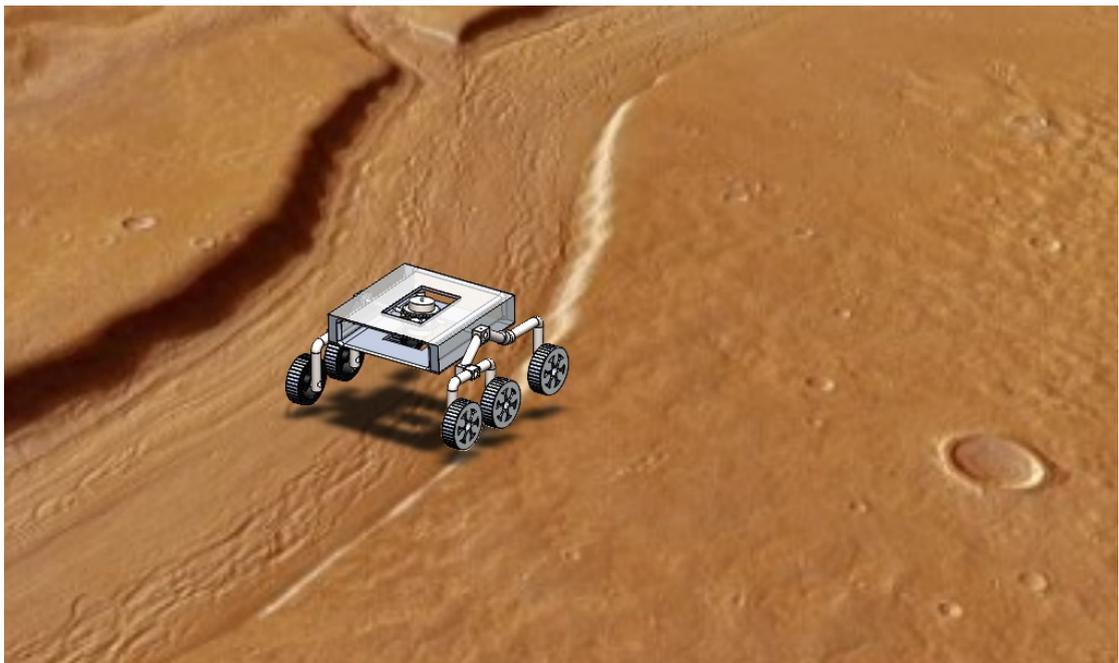


FIGURA 9.3: Render simulando el recorrido del rover por un río seco en Argyre Planitia

9.2. Futuros pasos del estudio

Los futuros pasos del estudio consistirán en realizar pruebas de movimiento, teniendo el rover que superar obstáculos, poniéndolo a prueba tanto de una forma

estructural como de diseño, conociendo sus limitaciones de obstáculos como se nombró anteriormente en el estudio y se puede comprobar en la Figura 9.4

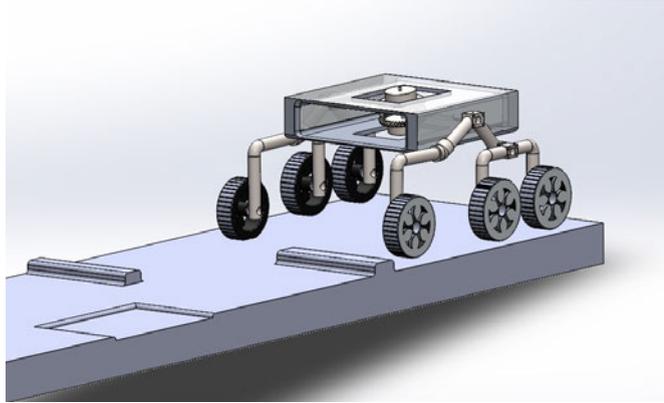


FIGURA 9.4: Simulación de superación de obstáculos por parte del r3ver

Tambi3n, debido a que este estudio es de car3cter te3rico e informativo, un futuro paso ser3a verificar el dise1o con profesionales del sector, adem3s de seleccionar los materiales desde su informaci3n y opini3n.

Por 3ltimo y a modo de inter3s, se intentar3 imprimir en 3D el modelo de CAD como recuerdo y para comprobar su uso y utilidad que tanto ha llamado la atenci3n durante el desarrollo.

Capítulo 10

Conclusiones

Llegado a este punto del estudio, se cierra el documento de memoria del estudio de la suspensión rocker-bogie de un r ver para misiones por la superficie marciana.

Cabe destacar que durante los 10 capítulos de esta memoria, se intenta explicar y exponer de una manera lúdica y técnica diferentes curiosidades englobadas en el estudio. Desde explicar la historia de los primeros viajes espaciales y el por qué al ser humano les fascina conocer que hay más allá. También, conocer Marte en gran detalle, desde su paisaje y relieve, superficie, climatología, lugares interesantes donde intentar encontrar vida o posibles lugares donde establecer una colonia humana en el planeta rojo.

Más tarde, el estudio se ha centrado en detalles más específicos, desde conocer las diferentes configuraciones de suspensiones que existen y cuál y por qué es la más conveniente para el terreno irregular de Marte. Finalmente, se decide por establecer una misión, elegir Argyre Planitia, una llanura localizada en las tierras altas meridionales de Marte, ubicación propicia para la búsqueda de vida.

Una vez quemada esta etapa, se comienza a diseñar el prototipo inicial del r ver por los diferentes componentes que tiene de una manera individual. Primero se empieza estudiando y conociendo las soluciones actuales que presentan los róvers, su geometría, materiales, formas y capas para, más tarde, comenzar con el diseño en 3D mediante el software de CAD Solid Works. De esta manera, se crean bocetos iniciales de las piezas como el rocker, bogie, chasis, diferencial... de los que se van

generando pasos de mejora a la vez que se acaba de diseñar, para dotar al rover de un mejor diseño para cualquier imprevisto que surja durante la misión.

Una vez se han diseñado las piezas por separado, se prosigue a ensamblar las piezas para crear un prototipo inicial, que se va actualizando a medida que los componentes individualmente se van desarrollando. En paralelo, se eligen los diferentes materiales de los componentes del rover, siguiendo criterios imprescindibles como el peso, dureza, precio, corrosión, resistencia a las temperaturas extremas y al tiempo elevado de la misión, etc. Una vez se definen todos estos parámetros, se relacionan para completar el diseño del rover, generando un prototipo final. Sobre esto, se exponen una serie de renders y resultados finales que corroboran el éxito del diseño y que en la vida real conseguiría funcionar correctamente. Además, se incluye un estudio estructural como anexos para demostrar y verificar que el rover sería capaz de soportar los efectos de gravedad de Marte más una carga bastante elevada, simulando un balanceo o el aterrizaje del vehículo en Marte. De esta manera, se consigue demostrar con garantía la seguridad de los materiales, ensamblajes y arquitectura del rover y lograr con éxito los objetivos planteados en el estudio.

Sobre estos objetivos planteados inicialmente, se cumple con creces las expectativas del estudio, se recoge más información de la que se pensaba y los resultados obtenidos corroboran todo este proceso. Desde este punto de vista, se consigue conocer Marte, elegir el lugar más idóneo y jamás visitado por los seres humanos y plantear soluciones innovadoras al rover como un nuevo diferencial, estudiar sus mejoras e inconvenientes para, más adelante, seguir avanzando con la resolución de este e incluir el equipamiento científico del rover, que no era objeto de estudio en este proyecto.

Para concluir y dar por finalizada esta tesis de final de grado, me gustaría recordar que este proyecto es la conclusión de 4 años de estudios, conocimientos, descubrimientos y esfuerzos de los que he tenido el placer y la suerte de poder cursar esta carrera, y que con la conclusión de esta línea, quedará por finalizada.

Apéndice A

Pruebas estructurales

En este estudio se han realizado una serie de pruebas estructurales de los componentes individualmente y luego del ensamblaje total para comprobar si la estructura diseñada es capaz de soportar los esfuerzos con los que convivirá en Marte.

Se ha creído conveniente incluir esto en el proyecto a pesar de que las simulaciones demuestran que la estructura es resistente y que aguanta hasta 10x los esfuerzos reales que se encontrará en el planeta rojo.

En la Figura [A.1](#), se muestra la simulación de unos de los componentes, en este caso llamado bogie, al que se le someten unas fuerzas perpendiculares además de la propia gravedad del planeta a la que estará sometido en la superficie marciana. Se puede verificar gráficamente que no se encuentra ningún riesgo de rotura.

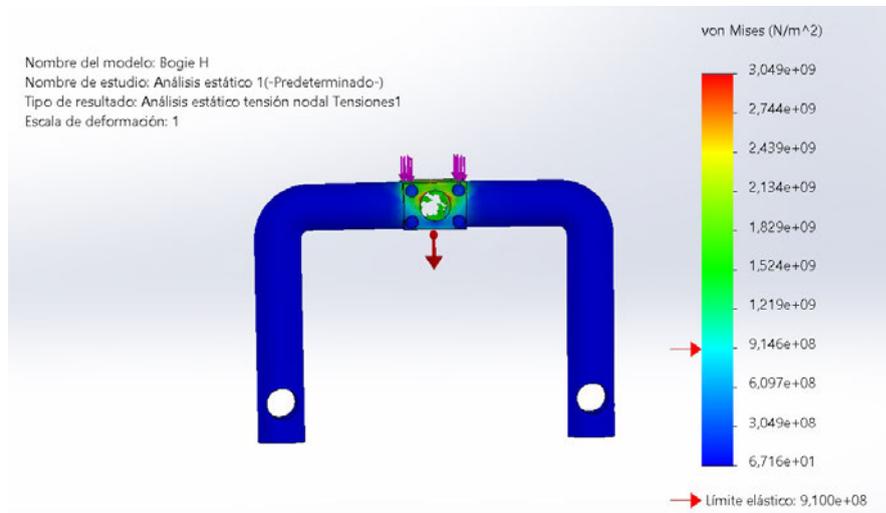


FIGURA A.1: Diagrama de tensiones en el bogie

Igual sucede en la Figura A.2, en este caso con la simulación del ensamblaje entre el rocker, bogie y las tres ruedas de ese lado del róver. Se obtienen resultados similares, se observa como el bogie sufre algo más que los otros componentes.

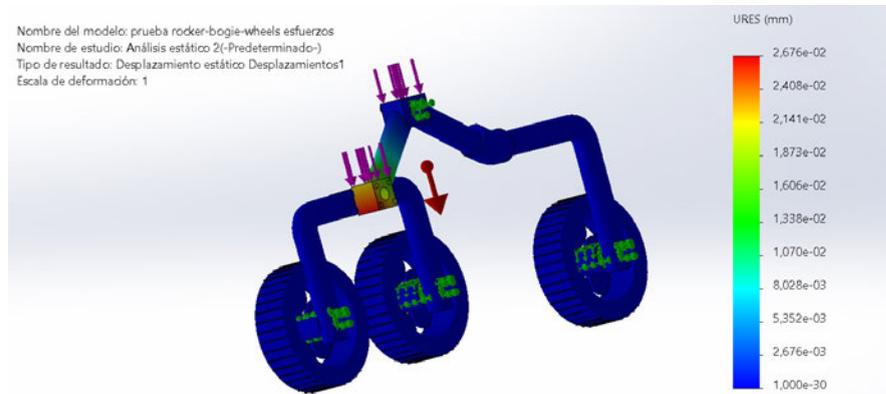


FIGURA A.2: Diagrama de deformaciones en el bogie, rocker y ruedas

A continuación, se muestra un diagrama de tensiones con el mismo ensamblaje que anteriormente.

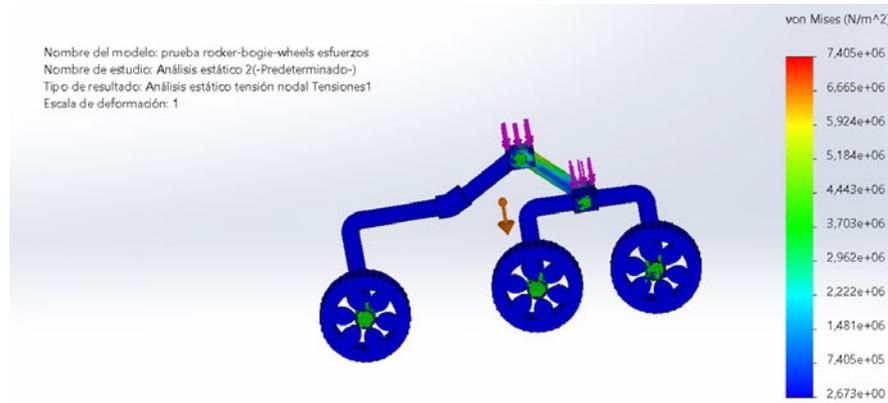


FIGURA A.3: Diagrama de deformaciones en el bogie, rocker y ruedas

Para finalizar con el estudio del diseño estructural y de esfuerzos, se realiza el mallado y la simulación del ensamblaje completo, como se muestra a continuación:

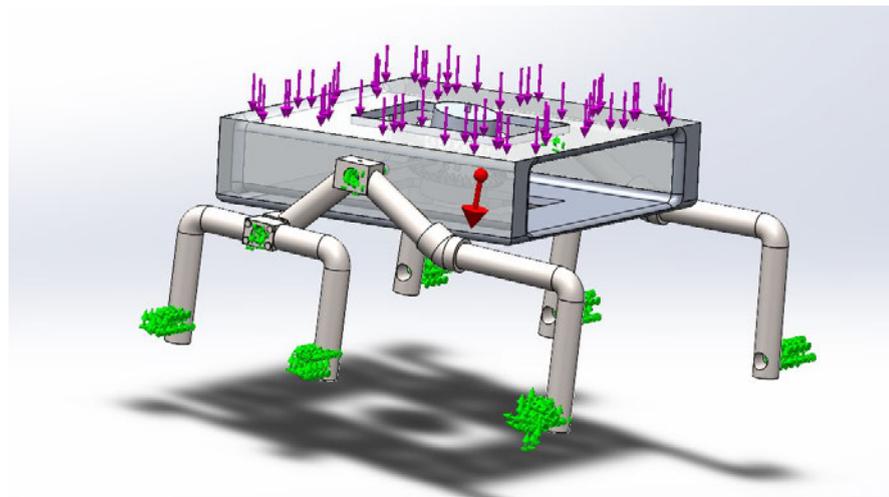


FIGURA A.4: Ilustración de la carrera espacial

Tras los gráficos expuestos, se demuestra que el diseño del prototipo final del róver es correcto, que los materiales elegidos cumplen con los requisitos mínimos y con el coeficiente de seguridad y que la misión tendría éxito cubriendo todos los requerimientos y necesidades básicas.

Referencias

- [1] Interesante, M., *Marte*. primera ed., 2017.
- [2] Construmática, “Cuadro comparativo acero-aluminio.” https://www.construmatica.com/construpedia/Cuadro_Comparativo_Acero-Aluminio.
- [3] AWS, “Fichas de datos técnicos aws 151 rev.1.” https://www.alloywire.es/wp-content/uploads/2016/08/AW-Fichas-de-datos-tecnicos-TITANIUM-GR5_6AI4V.pdf.
- [4] Indumaterial, “Calculadora de peso.” <https://indumaterial.com/es/#services>.
- [5] News, S., “Nasa’s perseverance rover has touched down on mars.” <https://www.sciencenews.org/article/mars-how-watch-nasa-perseverance-lander-touch-down>, Febrero 2021.
- [6] Screwdriver, N., “Copying curiosity rover suspension geometry for sawppy the rover.” <https://newscrewdriver.com/2018/05/24/copying-curiosity-rover-suspension-geometry-for-sawppy-the-rover/>, Mayo 2018.
- [7] ESPAÑOL, N. E., “El rover de la misión mars 2020 ya tiene sus ruedas.” <https://www.lanasa.net/misiones/marte/el-rover-de-la-mision-mars-2020-ya-tiene-sus-ruedas>, Junio 2019.
- [8] Aeroespacial, A., “El rover perseverance de la nasa supera pruebas de fuego, hielo, luz y sonido.” <https://actualidadaeroespacial.com/>

- [el-rover-perseverance-de-la-nasa-supera-pruebas-de-fuego/](#), Mayo 2020.
- [9] Cnet, “Mars 2020.” <https://www.cnet.com/es/como-se-hace/como-ver-lanzamiento-mars-2020-perseverance-nasa/>, Julio 2020.
- [10] de Historia, E., “Carrera espacial.” <https://enciclopediadehistoria.com/carrera-espacial/>, Enero 2020.
- [11] CurioSfera, “Historia de la carrera espacial.” <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-carrera-espacial/>, Febrero 2021.
- [12] 1200, T., “Yuri gagarin, el primer hombre que viajó al espacio.” <https://www.transponder1200.com/yuri-gagarin-el-primer-hombre-que-viajo-al-espacio/>, Abril 2019.
- [13] Geographic, N., “Las fotos icónicas del apolo 11 la primera misión que llegó a la luna.” https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/mision-apollo-llegada-hombre-luna_10547, Junio 2019.
- [14] de Historia, E., “rograma lunojod.” https://es.wikipedia.org/wiki/Programa_Lunojod, Enero 2020.
- [15] Wikipedia, l. e. l., “Lunar roving vehicle.” https://es.wikipedia.org/wiki/Lunar_Roving_Vehicle, Octubre 2020.
- [16] Eureka, “40 años de la sonda soviética mars 3.” <https://danielmarin.naukas.com/2011/12/03/40-anos-de-la-sonda-sovietica-mars-3/>, Diciembre 2011.
- [17] CNN, “Explora el cráter jezero, el futuro hogar del rover perseverance de la nasa.” <https://cnnespanol.cnn.com/2021/02/16/rover-perseverance-crater-jezero-marte-nasa-mision/>, Febrero 2021.
- [18] Wikipedia, l. e. l., “Sojourner on mars.” https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Sojourner_on_Mars_PIA01122.jpg, Marzo 2011.

-
- [19] Periódico, E., “La nasa localiza el rover marciano opportunity, desaparecido en junio.” <https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20180926/nasa-marte-opportunity-7054962>, Septiembre 2018.
- [20] Wikipedia, l. e. l., “Curiosity.” <https://es.wikipedia.org/wiki/Curiosity>, Febrero 2021.
- [21] Science, N., “Perseverance rover.” <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/wheels/>, Febrero 2021.
- [22] Conocedores, “Rover perseverance: así es el helicóptero ingenuity que volará en marte.” <https://conocedores.com/rover-perseverance-asi-es-el-helicoptero>, Julio 2020.
- [23] Wikipedia, l. e. l., “Mars rovers.” https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Driving_Distances_on_Mars_and_the_Moon.png, Febrero 2021.
- [24] interesante, M., “Marte, el planeta rojo.” <https://www.muyinteresante.es/ciencia/fotos/marte-el-planeta-rojo/extrana-luz-en-la-superficie-de-marte>, Noviembre 2017.
- [25] Eureka, “Cómo viajar a marte.” <https://danielmarin.naukas.com/2011/10/24/como-viajar-a-marte/>, Octubre 2011.
- [26] Reviw, M. T., “Marte no está muerto.” <https://www.technologyreview.es/s/11959/marte-no-esta-muerto-sufre-terremotos-y-tiene-agua-y-magnetismo>, Febrero 2020.
- [27] Sur, A., “Monte olimpo: la montaña más alta del sistema solar.” <https://www.aristasur.com/contenido/monte-olimpo-la-montana-mas-alta-del-sistema-solar>, Mayo 2017.
- [28] Wikipedia, l. e. l., “Composición de marte.” https://es.wikipedia.org/wiki/Composición_de_Marte#Polvo_y_suelos, Marzo 2021.
- [29] Astronomía, “Lunas de marte: Fobos y deimos..” <http://astronomiaparatontos.blogspot.com/2015/09/lunas-de-marte-fobos-y-deimos.html>, Septiembre 2015.

- [30] Cienciaplus, “Un gran impacto marcó las diferencias entre los hemisferios de marte.” <https://www.europapress.es/ciencia/astronomia/noticia-gran-impacto-marco-diferencias.html>, Enero 2015.
- [31] Wikipedia, l. e. l., “Geología de marte.” <https://br.pinterest.com/pin/354517801901193112/>, Abril 2021.
- [32] Troppovero, “Monte olimpo en relieve.” <https://br.pinterest.com/pin/354517801901193112/>, Marzo 2018.
- [33] Geographic, N., “Vacaciones en marte, pasando por cantabria.” https://viajes.nationalgeographic.com.es/a/astroland-cantabria-expedicion-marte_14405, Mayo 2017.
- [34] Wikipedia, l. e. l., “Casquetes polares de marte.” https://es.wikipedia.org/wiki/Casquetes_polares_de_Marte#/media/Archivo:NorthMars.jpg, Enero 2021.
- [35] Esa, “Reull vallis: atravesado por un río en el pasado.” https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Reull_Vallis_atravesado_por_un_rio_en_el_pasado, Enero 2013.
- [36] Wikipedia, l. e. l., “Atmósfera de marte.” https://es.wikipedia.org/wiki/Atmósfera_de_Marte, Abril 2021.
- [37] digital, C., “Las estaciones en marte.” <https://cerebrodigital.org/post/Las-estaciones-en-Marte/>, Enero 2018.
- [38] Physics, C., “Martian seasons.” <http://coccweb.cocc.edu/bemerson/PhysicsGlobal/Courses/GS107/GS107Materials/GS107HW/GS107HWEarthMoon.html>, Mayo 2013.
- [39] Hargitai, H., “Mars climate zone map based on tes data.” <http://planetologia.elte.hu/mcdd/climatemaps.html>.
- [40] periódico, E., “El planeta de los robots.” <https://www.elperiodico.com/es/especiales/sociedad/planeta-robots-sh/>.
- [41] Wikipedia, l. e. l., “Casquetes polares de marte.” https://es.wikipedia.org/wiki/Casquetes_polares_de_Marte, Enero 2021.

-
- [42] Wikipedia, l. e. l., “Valles marineris.” https://es.wikipedia.org/wiki/Valles_Marineris, Septiembre 2020.
- [43] ESA, “Las profundidades de marte.” https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Las_profundidades_de_Marte, Agosto 2014.
- [44] Wikipedia, l. e. l., “Tharsis(marte).” [https://es.wikipedia.org/wiki/Tharsis_\(Marte\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tharsis_(Marte)), Noviembre 2018.
- [45] Ciencia, A., “Este es el mejor sitio para buscar vida en marte.” https://www.abc.es/ciencia/abci-este-mejor-sitio-para-buscar-vida-marte-201604041101_noticia.html, Abril 2016.
- [46] Guioteca, “Curiosity: Todo sobre el gran robot explorador de marte.” <https://www.guioteca.com/exploracion-espacial/curiosity-todo-sobre-el-gran-robot-explorador-de-marte/>, Julio 2012.
- [47] Roman, M. J., *Design and analysis of a four wheeled planetary rover*. University of Oklahoma, primera ed., 2005.
- [48] Kassel, S., *Lunokhod-1 Soviet Lunar Surface Vehicle*. Rand Santa Monica, 189-1 ed., 1971.
- [49] Wikipedia, l. e. l., “Lunokhod suspension system.” https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lunokhod_suspension_system.jpg, Septiembre 2009.
- [50] Wikipedia, l. e. l., “Lunar roving vehicle.” https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_Roving_Vehicle, Marzo 2021.
- [51] ResearchGate, “Masokhod.” <https://www.researchgate.net/figure/Marsokhod-at-the-1999-Mojave-Field-Test-Ames-Marsokhod>, Junio 1999.
- [52] Wikipedia, l. e. l., “Rocker-bogie.” <https://es.wikipedia.org/wiki/Rocker-bogie>, Marzo 2020.

- [53] cloud, T., “Rocker bogie suspension system for a mobile robot.” <https://chandula-nethmal.blogspot.com/2019/05/rocker-bogie-suspension-system-for.html>, Mayo 2019.
- [54] Platea, “Robots móviles: diseño.” http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm.
- [55] actualidad.rt, “El robot de cuatro patas de boston dynamics.” <https://actualidad.rt.com/actualidad/342920-robot-boston-dynamics-trabajo-plataforma-petrolera-noruega>, Febrero 2020.
- [56] HIIH, C., “Tecnología de orugas.” <https://www.caseih.com/emea/es-es/nuestras-innovaciones/tecnolog%C3%ADa-de-orugas>.
- [57] AliExpress, “Chasis de tanque.” <https://es.aliexpress.com/item/4000448381242.htm>.
- [58] Express, “¿cómo y cuándo ver el aterrizaje de la sonda perseverance en marte?” https://elexpres.com/2015/nota.php?story_id=248473, Abril 2021.
- [59] Wikipedia, l. e. l., “Argyre planitia.” https://en.wikipedia.org/wiki/Argyre_Planitia, Marzo 2021.
- [60] ESA, “Invierno en argyre.” https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Invierno_en_Argyre, Septiembre 2014.
- [61] Facts, N., “Marte 2020/perseverance.” <http://www.ciencia.nasa.gov/>.
- [62] Rodríguez, M., “Rocker bogie.” <https://www.pinterest.es/pin/820077413372057421/>.
- [63] Eureka, “Las ruedas marcianas de perseverance.” <https://danielmarin.naukas.com/2020/04/05/las-ruedas-marcianas-de-perseverance/>, Abril 2020.
- [64] Diana, D. y. J. A., “Diseño y construcción de un vehículo autónomo tipo rover.” <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37506.pdf>, Enero 2005.

-
- [65] Luquez, J. C. L., “Tecnología e innovación.” <https://unihorizonte.edu.co/test/teckne/vol-9-2/>, Diciembre 2011.
- [66] Infobae, “La ruta de perseverance en marte.” <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2021/02/19/la-ruta-de-perseverance-en-marte-y-los-peligrosos-obstaculo>, Mayo 2021.
- [67] Astroinfo, “Mars rover rocker-bogie differential.” <http://alicesastroinfo.com/2012/07/mars-rover-rocker-bogie-differential/>, Julio 2013.
- [68] Robotics, B., “Differential for mars rover.” <https://beatty-robotics.com/differential-for-mars-rover/>, Julio 2011.
- [69] Jimenez, A., “Rocker-bogie suspension system.” <https://www.arxterra.com/rocker-bogie-suspension-system/>, Abril 2018.
- [70] GP, M., “Análisis técnico: engranaje diferencial.” <https://www.momentogp.com/analisis-tecnico-engranaje-diferencial/>, Julio 2018.
- [71] in China, M., “Recto avanzado / el engranaje cónico diferencial.” https://es.made-in-china.com/co_czzhjh/product_Advanced-Spur-Bevel-Gear-in-Differential-Gear_rnonehuug.html, Enero 2015.
- [72] Eureka, “Las ruedas marcianas de perseverance.” <https://danielmarin.naukas.com/2020/04/05/las-ruedas-marcianas-de-perseverance/>, Abril 2020.
- [73] aluminum association, T., “Aluminum goes to mars.” <https://www.aluminum.org/aluminum-goes-mars>, Mayo 2021.
- [74] Tecnika4, “Aluminio 7075.” <https://www.teknika4.com/es/aluminio-7075>.
- [75] Materia, T., “Propiedades del titanio.” <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelTitanio&LN=ES>.
- [76] 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](#), Mayo 2021.
- [77] Energy.gov, “Lightweight materials for cars and trucks.” <https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks>.
- [78] Mecasinc, “Mecanizado de acero inoxidable.” <https://www.mecanizadossinc.com/mecanizado-de-acero-inoxidable/>.
- [79] CDL, “El aluminio.” <https://www.cdl.es/productos-servicios/el-aluminio/>.
- [80] Science, N., “2020 mission perseverance rover.” <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/>, Febrero 2021.
- [81] Diario, O., “Características del titanio.” <https://okdiario.com/curiosidades/caracteristicas-del-titanio-563533/fotos/titanio-caracteristicas-usos-2>, Noviembre 2016.
- [82] Aeroexpo, “Titanio en barras.” <https://www.aeroexpo.online/es/prod/western-superconducting-technologies-co-ltd/product-170825-35639.html>.
- [83] Semana, “Histórico: el rover perseverance fabricó oxígeno en marte.” <https://www.semana.com/mundo/articulo/historico-el-rover-perseverance-fabrico-oxigeno-en-marte/202143/>, Abril 2021.
- [84] Villareal, M. G., “Optimización de las propiedades mecánicas.” <http://eprints.uanl.mx/4165/1/1080253846.pdf>, Octubre 2014.
- [85] Inalcoa, “Barra aluminio 7075.” <https://www.inalcoa.net/catalogo/aluminios-2/barra-aluminio-7075/>.
- [86] wire international, A., “Titanium grade 5 / 6al4v.” <https://www.alloywire.es/products/titanium-grade-5-6al4v/>.
- [87] Alacero, “Características del acero.” <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/caracteristicas-del-acero>.

- [88] wikipedia, l. e. l., “Fibra de carbono.” https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_carbono, Mayo 2021.
- [89] Lenntech, “Hierro - fe.” <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>.
- [90] Ecofiestas, “Aluminio y bauxita.” <https://www.ecofestes.com/aluminio-bauxita-impacto-socioambiental>, Abril 2018.
- [91] la selva, S., “Titanio.” <https://www.salvalaselva.org/temas/materias-primas/titanio#start>, Noviembre 2012.