

PBL

Diseño de la estructura del sistema motriz de un vehículo de exploración planetaria

**Ignacio García Guerrero
Pablo Ruiz Royo
Imanol Sardón Delgado
Sergio Zambrano Hoyas**

21/01/2019

Índice

1	Introducción	3
1.1	Objetivos	3
1.2	Documentos aplicables	3
2	Nomenclatura y jerarquía CAD	4
3	Diseño 3D.....	6
3.1	Chasis	6
3.2	Sistema diferencial	7
3.2.1	SD de balanceo	7
3.2.2	SD de engranajes.....	7
3.3	Rocker-bogie	9
3.4	Motores	10
3.5	Ruedas	11
4	Planos del conjunto	12
5	Materiales	16
6	Modelos y tamaños	18
7	Parámetros de usuario	20
8	Simulación cinemática	21
9	Observaciones y conclusiones	22

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

El objetivo principal del trabajo es el diseño de un Rover, es decir, un vehículo de exploración planetaria. Como el diseño de dicho vehículo es muy complejo y detallado, el trabajo se centrará principalmente en el sistema motriz, que es la parte fundamental del mismo, dejando el chasis simplemente como elemento de soporte.

La peculiaridad de este tipo de vehículos es el elemento de suspensión utilizado. Se trata de un *rocker-bogie*, una estructura que permite, gracias a la acción de un sistema diferencial, que todas las ruedas del vehículo estén apoyadas sobre el terreno en todo momento. De esta forma, el Rover es capaz de cruzar cualquier superficie irregular sin ningún riesgo de vuelco.

El trabajo tendrá como base el diseño 3D en CATIA del Rover. A partir de él, se obtendrán los planos del conjunto y se realizará una simulación cinemática para verificar que todo el mecanismo se ha acoplado perfectamente.

Por último, se diseñará una interfaz de usuario que hará de catálogo para satisfacer las necesidades del cliente, en el cual se podrán elegir características del vehículo como el tamaño o el sistema diferencial.

1.2 Documentos aplicables

Los documentos de referencia y aplicables que se han utilizado para la realización del trabajo son los siguientes:

- ECSS-Q-ST-36C: *"Material selection for controlling stress-corrosion cracking"*.
- ECSS-E-HB-32-22A: *"Insert design handbook"*.
- ECSS-E-HB-32-32A: *"Threaded fasteners handbooks"*.
- ISO-4017
- ISO-7079
- ISO8730
- ISO4033
- <https://mars.nasa.gov/files/resources/MSLLithoSet2013.pdf>

2 NOMENCLATURA Y JERARQUÍA CAD

El diseño del Rover (numerado cuya nomenclatura es Rover1000) se ha dividido en varios módulos, en función de la estructura a la que hacen referencia: chasis, sistema diferencial de balanceo, sistema diferencial de engranajes, *rocker-bogie*, motores y ruedas. Para seguir un orden en el diseño, se ha utilizado la siguiente nomenclatura para cada elemento:

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NUMERACIÓN
Chasis			CH1100
	Base del chasis		CH1110
	Tapa del chasis		CH1120
	Rodamiento del diferencial		CH1130
Rocker-bogie			RB1200
	Barra Delantera		RB1210
		Codo Delantero	RB1211
		Unión con Motor	RB1212
	Barra Unión		RB1220
	Barra Media		RB1230
		Codo Trasero	RB1231
		Unión con Barra Media	RB1232
		Rodamiento	RB1233
	Barra Trasera		RB1240
		Unión con Motor	RB1241
Sistema Diferencial Balanceo			SDB1300
	Balancín		SDB1310
	Vástago		SDB1320
	Leva		SDB1330
	Rodamiento		SDB1340
Sistema Diferencial Engranajes			SDE1400
	Engranaje + Eje		SDE1410

		Engranaje	SDE1411
		Eje	SDE1412
	Estructura soporte		SDE1420
		Base	SDE1421
		Bridas	SDE1422
Motores			M1500
	Motor Pivotamiento		M1510
		Estator	M1511
		Rodamiento	M1512
		Rotor	M1513
	Motor Avance		M1520
		Estator	M1521
		Rotor	M1522
	Enganche Delantero		M1530
		Anillo	M1531
		Soporte	M1532
	Enganche Intermedia		M1540
		Anillo	M1541
		Soporte	M1542
	Enganche Trasera		M1550
		Anillo	M1551
		Soporte	M1552
Rueda			R1600
	Rueda pequeña		R1610
	Rueda mediana		R1620
	Rueda grande		R1630
	Interfaz Motor		R1640

Tabla 1. Nomenclatura usada en el diseño.

3 DISEÑO 3D

En este apartado, se detallará el diseño de cada módulo desarrollado, siguiendo el orden de la Tabla 1. Se acompañará además una figura con el diseño final de CATIA.

3.1 Chasis

Como se detalló en la introducción, no se ha profundizado en el diseño del chasis (1100), ya que se ha utilizado meramente como elemento de soporte. Tiene la forma de un prisma, siendo hueco por dentro para poder meter toda la instrumentación y el sistema diferencial de engranajes.

El elemento 1101 tiene dos agujeros en las bandejas laterales, por los cuales pasará el eje de ambos diferenciales. En dichos agujeros se han introducido dos rodamientos para que el eje pueda girar libremente con respecto al chasis.

El elemento 1102 es la tapa superior. En ella se colocan los soportes en los cuales irán los paneles solares. Además, para el caso en el que se elija el sistema diferencial por balanceo se añade un soporte con un eje fijo por el que rotará dicho diferencial.

El diseño en CATIA queda de la siguiente manera:

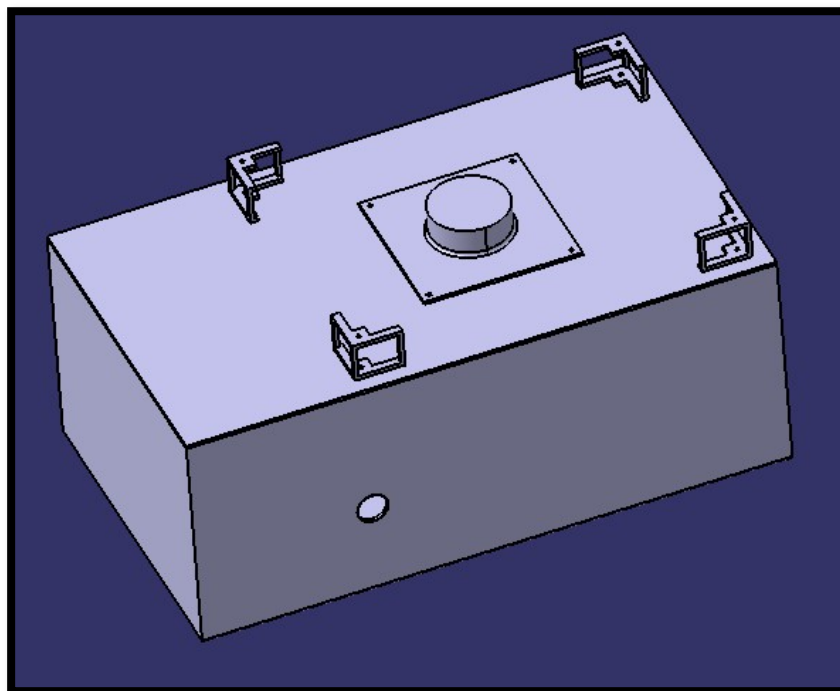


Ilustración 1. Chasis del Rover.

3.2 Sistema diferencial

Para el sistema diferencial se han elegido dos opciones diferentes para satisfacer los requisitos funcionales del trabajo: balanceo y de engranajes.

3.2.1 SD de balanceo

Este sistema diferencial (1300) se divide en tres elementos diferenciados, denominados “balancín”, “vástago” y “leva” (1310, 1320 y 1330 respectivamente).

El componente 1310 es el elemento principal que gira en torno al eje de la tapa superior del chasis. Para que pueda haber movimiento relativo entre ambos, se ha añadido un rodamiento. Tiene vaciados para aligerar el peso del sistema y termina en una especie de pinza sobre la que se insertará la rótula del componente 1320.

EL componente 1320 es el elemento de unión entre chasis y *rocker-bogie*. En ambos extremos del mismo hay una rótula, que permite el giro libre con los elementos 1310 y 1330.

Por último, el componente 1330 es elemento que une el sistema diferencial al *rocker-bogie* y al chasis. En un extremo tiene una pinza similar a la del 1310, donde irá la rótula, y en el otro un agujero por el que pasará el eje del *rocker-bogie* que lo une al chasis.

El diseño en CATIA es el siguiente:

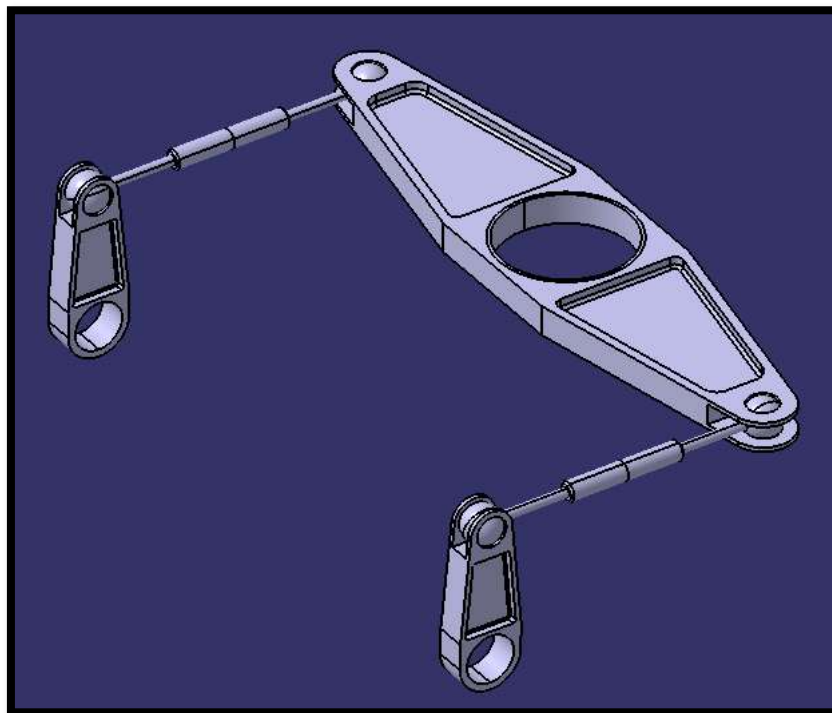


Ilustración 2. Sistema diferencial de balanceo.

3.2.2 SD de engranajes

Este sistema diferencial de engranajes (1400) está formado por tres elementos: el soporte principal, los elementos de sujeción y los engranajes.

El soporte principal y los ejes se han agrupado en uno mismo, el elemento 1420. El soporte va anclado al chasis en su interior, y los elementos de sujeción son bridas sólidas que van ancladas a éste, y por ellas pasarán los ejes de los engranajes.

Hay tres engranajes, dos de los cuales tienen un eje coincidente que se une al *rocker-bogie*. El otro es perpendicular a dicho eje, y gracias a él se consigue que los dos engranajes principales giren en sentido opuesto.

El diseño final de CATIA es el siguiente:

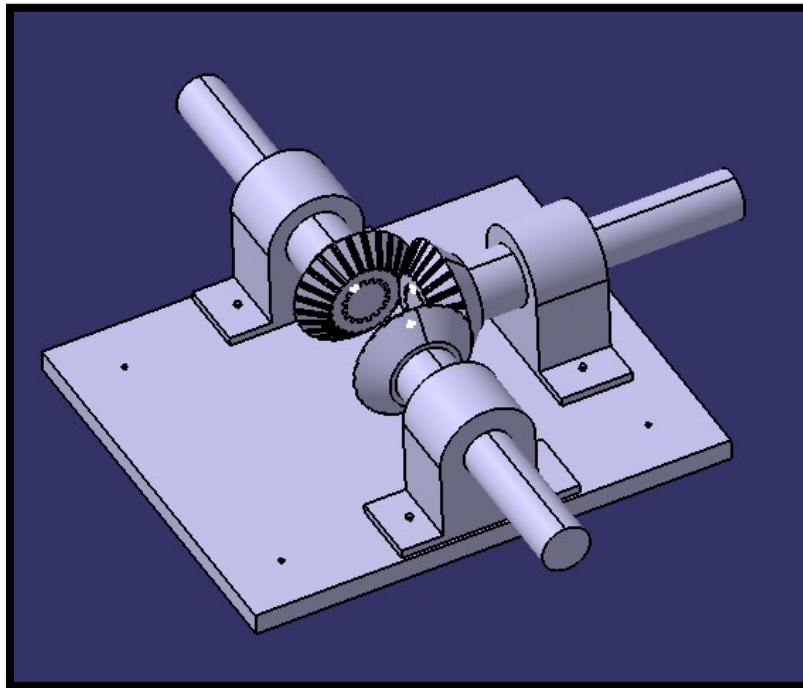


Ilustración 3. Sistema diferencial de engranajes.

3.3 Rocker-bogie

El *rocker-bogie* está compuesto por 4 elementos barra independientes: barra delantera, barra unión, barra media y barra trasera.

La barra delantera y la barra unión se unen mediante un codo en el que ambas barras se unen con apriete. Para asegurar que no rotan respecto al eje del agujero del codo, se unen mediante un tornillo pasante con tuerca, quedando así asegurada su sujeción. Esto formará la parte delantera del *rocker-bogie* que desplazará el balancín.

La barra media y trasera se une del mismo modo, mediante un codo y tornillos pasantes con tuerca, y formarán otro conjunto que girará de forma independiente respecto a la parte delantera del *rocker-bogie*.

Para unir ambas partes, se junta el codo trasero con la barra unión mediante un eje y un rodamiento. El eje es parte de una pieza (codo de la barra unión), en el cual está insertada la barra unión con el mismo procedimiento, es decir, con un tornillo. El eje de esa pieza se encaja con el codo trasero y mediante un rodamiento se desacoplan los giros de una parte respecto a la otra. El codo delantero, a su vez, servirá de unión con los sistemas diferenciales.

Para el sistema diferencial de tipo balanceo el eje forma parte del codo trasero y se une hasta el chasis pasando por la leva del sistema diferencial. En el chasis se ubicará un rodamiento para desacoplar giros.

Para el sistema diferencia de engranajes, el codo delantero cambia su geometría, dejando un agujero donde se ubicará el eje proveniente del propio sistema diferencial.

Finalmente, como parte del *rocker-bogie* se incluyen los elementos que se unen con los motores de pivotamiento los cuales irán unidos con apriete en los extremos de las barras delantera y trasera. En la barra media no se incluye ningún elemento, ya que no será rueda motriz y no tendrá motores de pivotamiento.

El diseño en CATIA, para el sistema diferencial de balanceo, queda de la siguiente manera:

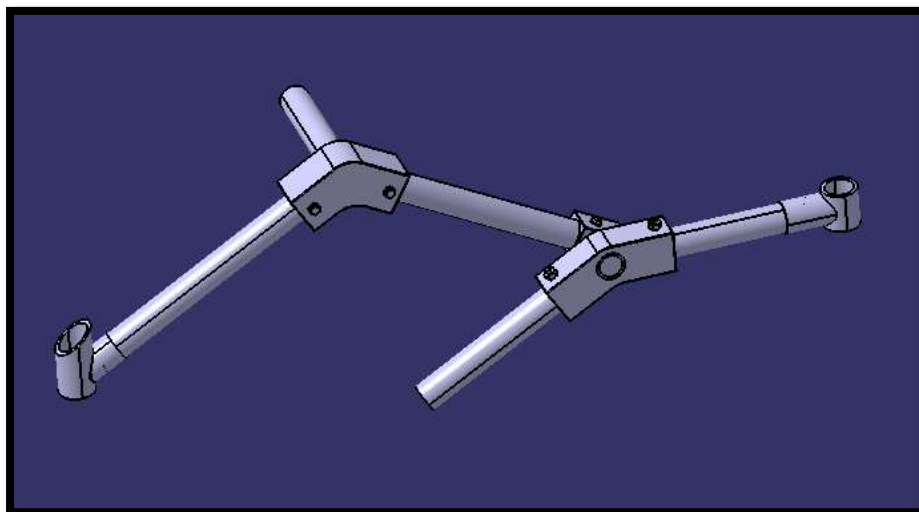


Ilustración 4. Rocker-bogie.

3.4 Motores

Por último, el movimiento del Rover se produce gracias a la acción de dos tipos de motores: los de avance y los de pivotamiento. Los primeros son los encargados del movimiento lineal del vehículo, ya que el rotor de estos va unido al eje de cada rueda para un total de 6. Los segundos son los que permiten el giro del vehículo y se ubican en las ruedas posteriores y anteriores que serán las ruedas motrices siendo 4 en total.

Al no disponer de un catálogo oficial de donde obtenerlos, a modo de simulación, se diseña su forma 3D sin entrar en más detalles. Se modelan del siguiente modo:

Los motores de pivotamiento constan de una parte fija el estator que se une a las barras del rocker-bogie mediante 2 elementos de unión. Junto al estator, cuentan con un rotor se adhiere con apriete un enganche que los une a las distintas ruedas. Esta unión se realiza con el estator del motor de avance. Además, se añade un rodamiento en su interior para desacoplar el giro de estator y rotor. Su tamaño varía en función del tamaño total del Rover.

Los motores de avance constan de un estator y un rotor, y tienen distinto tamaño en función de la rueda. Al motor de avance se acopla el enganche, que une el motor de pivotamiento al motor de avance para los motores de avance, para el caso de ruedas delantera y trasera y a la barra media para el caso restante. Mediante una chaveta que va atornillada a la rueda transmite el movimiento de su rotor a la rueda.

El diseño de ambos motores en CATIA queda de la siguiente manera:

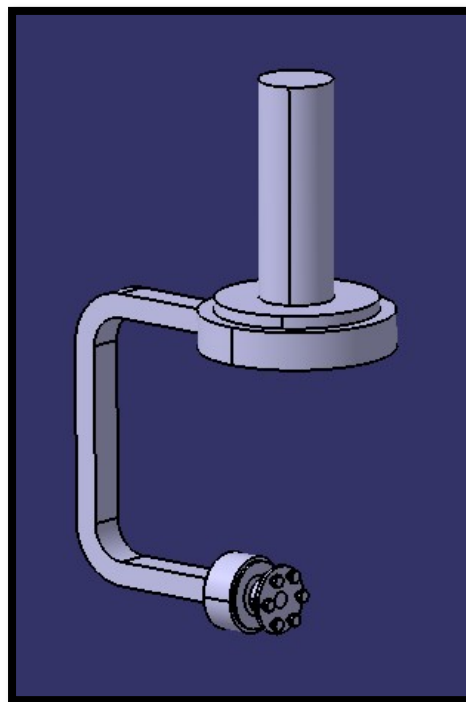


Ilustración 5. Motor de avance y de pivotamiento.

En la parte superior se muestra el motor de pivotamiento y en la parte inferior el motor de avance.

3.5 Ruedas

El rocker-bogie presenta diferentes ruedas, están variarán su geometría y tamaño en función del tamaño elegido por el usuario.

Estas ruedas han sido diseñadas como una parte íntegra, las cuales se unen a una interfaz en la llanta a un eje, que coincide con el rotor del motor de avance intentando minimizar la masa del interior de las mismas. Este eje incluye una chaveta para acoplarse a la pieza interfaz, y a su vez esta interfaz se une a la rueda por medio de seis pernos, cuya métrica varía en función de su tamaño (M4, M8, M10).

La pieza interfaz se une con el motor de pivotamiento para el caso de las ruedas motrices y con el la barra media del rocker-bogie RB1230 para el caso de la rueda intermedia.

El diseño final de CATIA es el siguiente:

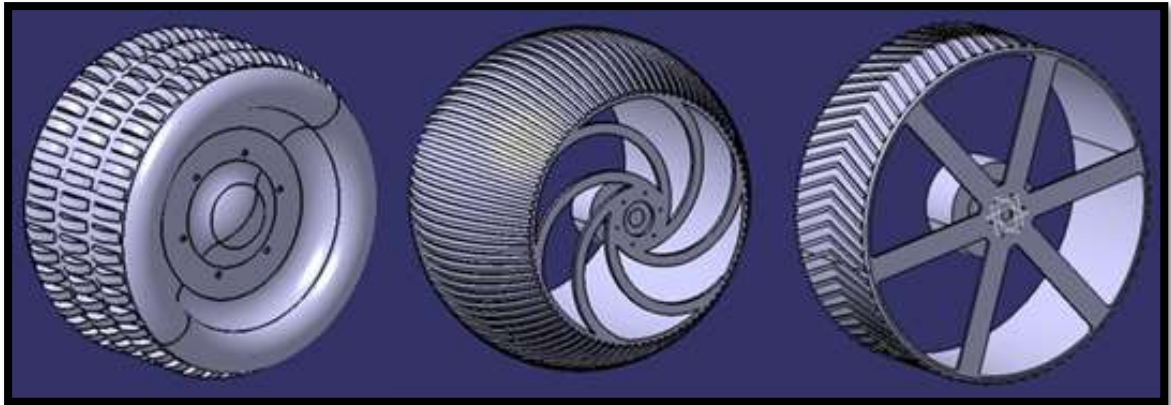


Ilustración 6. Ruedas del Rover. De izquierda a derecha, modelos S, M y L.

4 PLANOS DEL CONJUNTO

En este apartado se detallan los planos de conjunto del vehículo. En primer lugar, en la Ilustración 5 y la Ilustración 6 se adjuntan los “Top AssemblyDrawing” (TOP) del Rover para dos tamaños diferentes y los dos tipos de sistema diferencial:

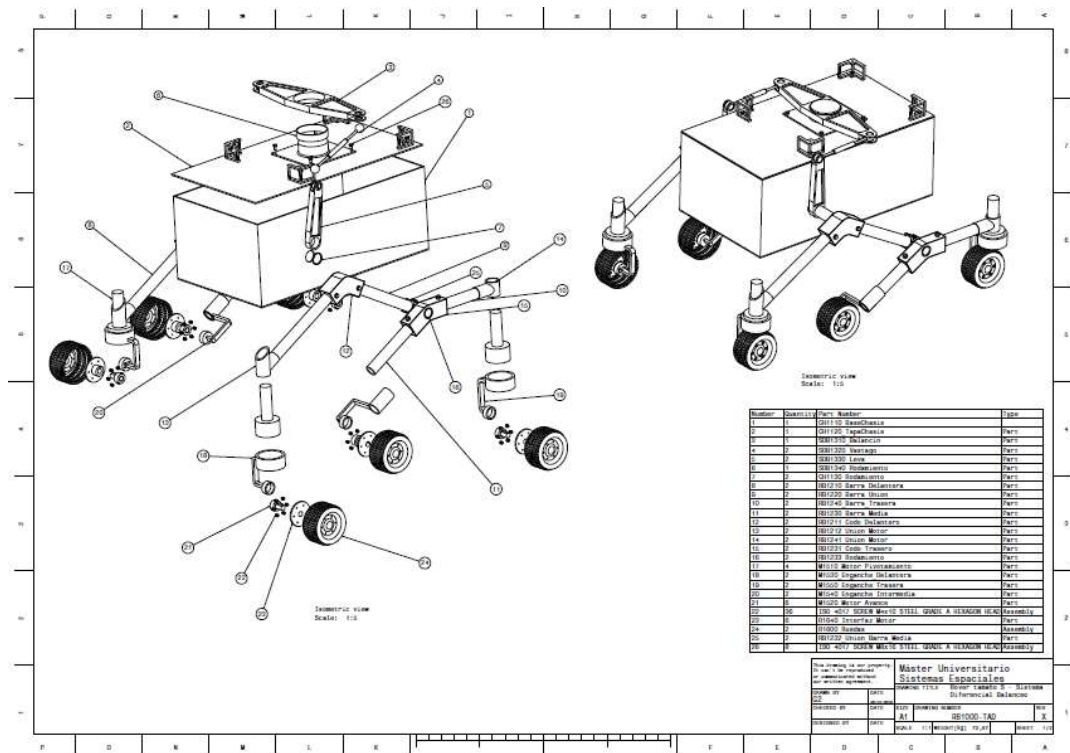


Ilustración 5. TAD del Rover (S) con sistema diferencial de balanceo.

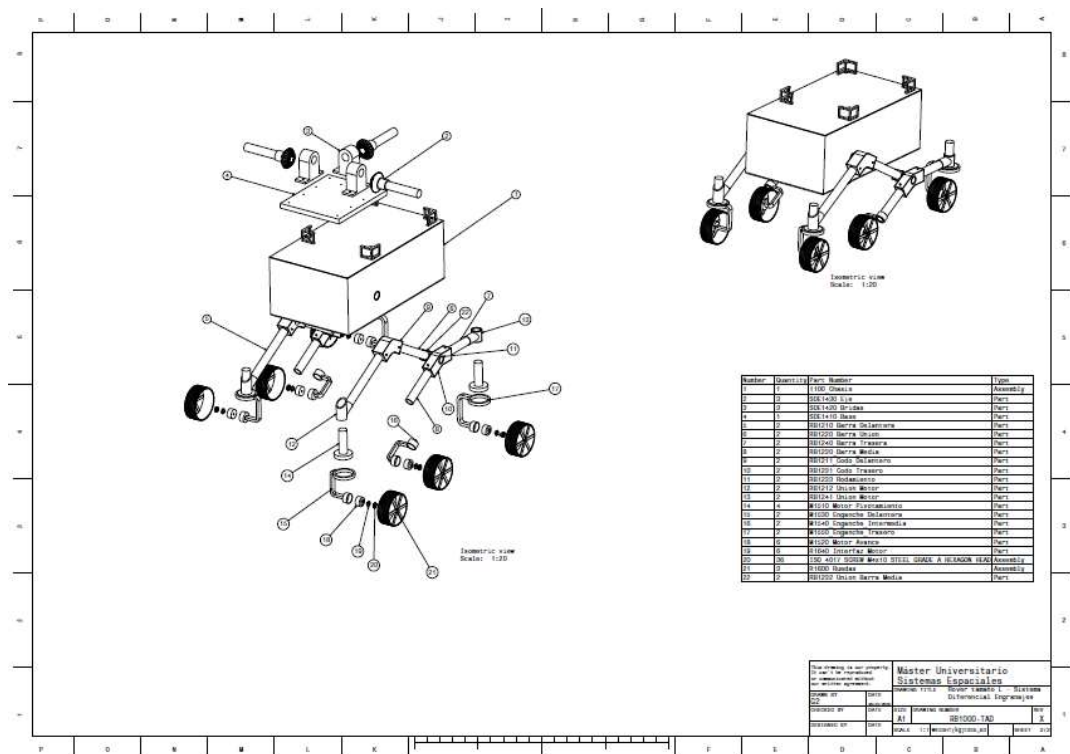


Ilustración 6. TAD del Rover (L) con sistema diferencial de engranajes.

PBL: Diseño de la estructura del sistema motriz de un vehículo de exploración planetaria.



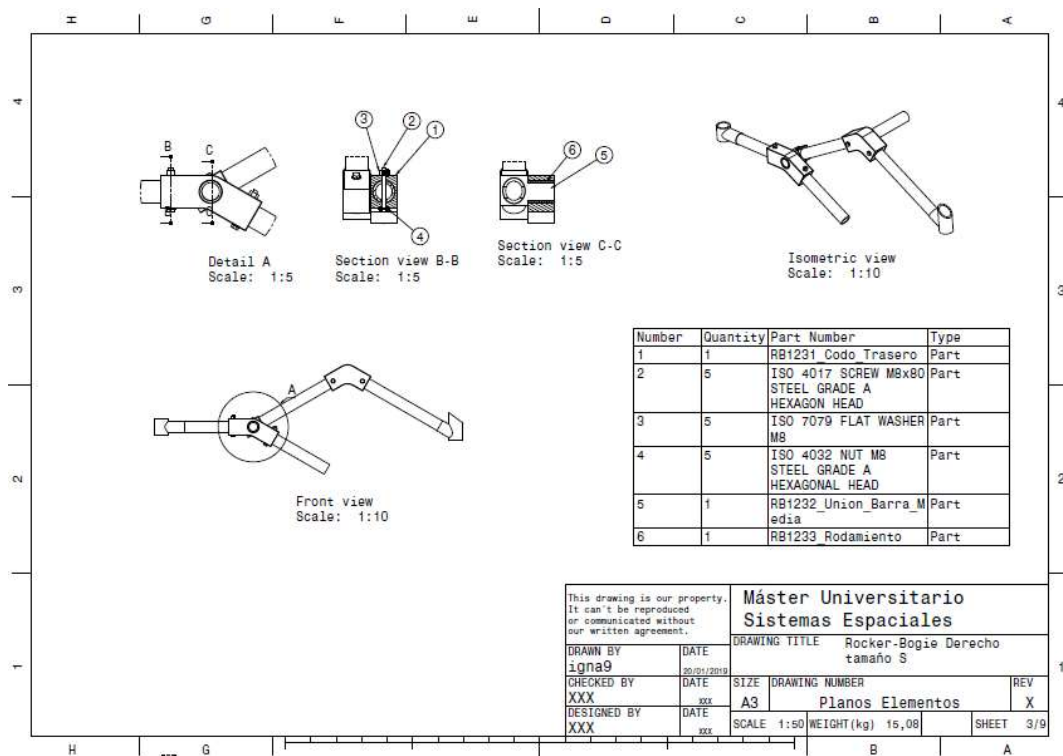


Ilustración 9. Plano del rocker-bogie.

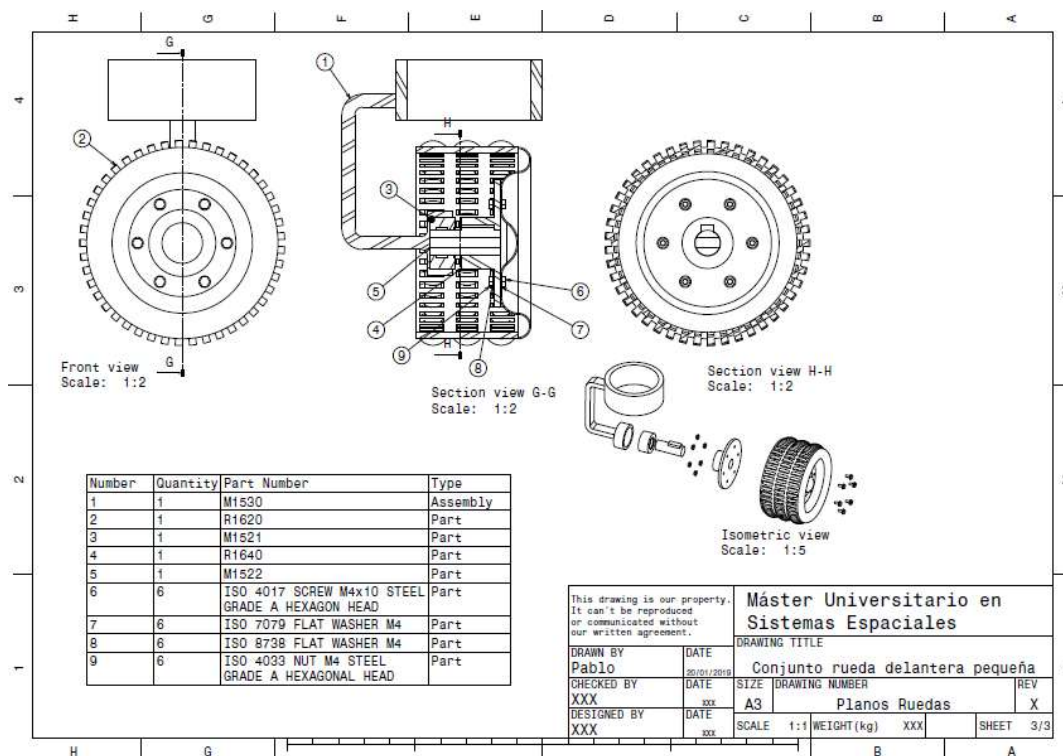


Ilustración 10. Plano de la interfaz rueda (S) con motores.

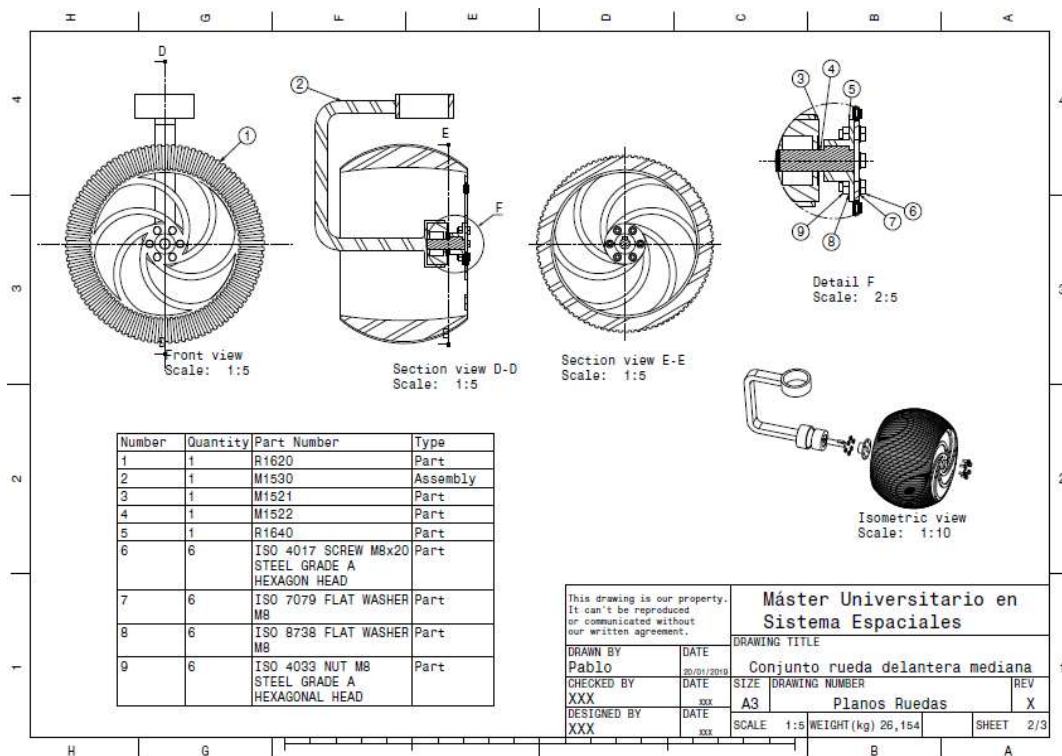


Ilustración 11. Plano de la interfaz rueda (M) con motores.

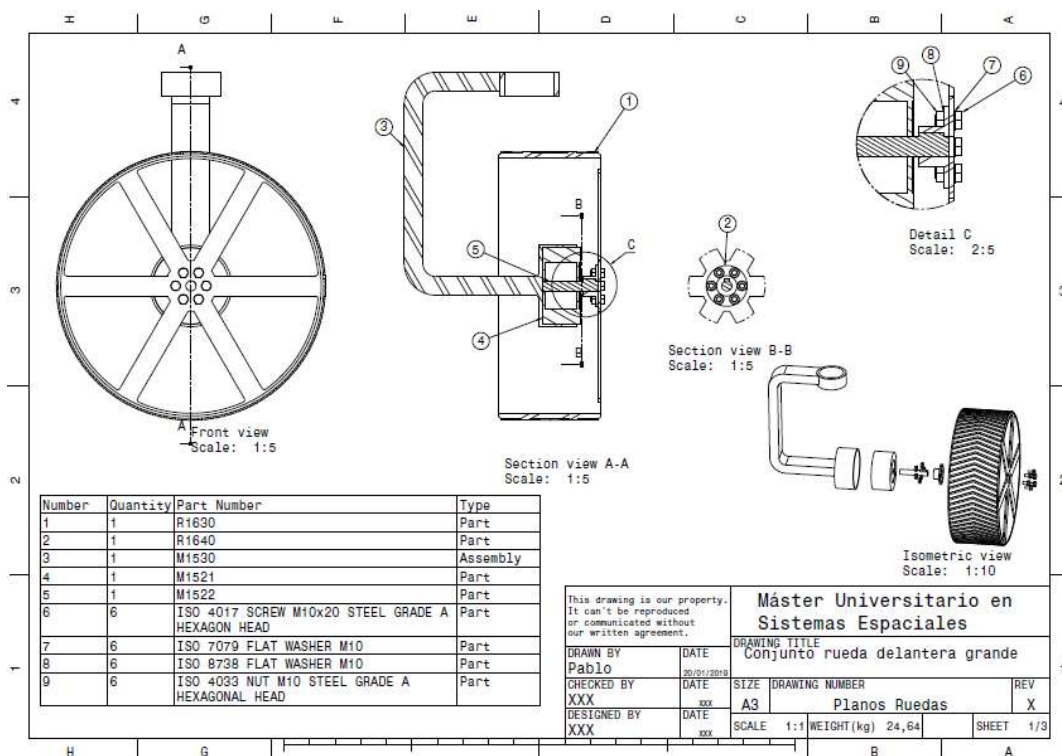


Ilustración 12. Plano de la interfaz rueda (L) con motores.

En el informe no se aprecian bien algunas imágenes debido al tamaño del formato. Debido a ello, se adjuntan todos los planos en formato PDF.

5 MATERIALES

Todos los materiales han sido seleccionados siguiendo la norma ECSS-Q-ST-70-36C. En la siguiente tabla se adjunta a modo de resumen los materiales asignados a cada elemento:

REFERENCIA	ELEMENTO	MATERIAL
CH1110/CH1120	Chasis	EN AW-7075 T76
CH1130	Rodamiento	Acero serie 5000
RB1210/RB1220/RB1230/RB1240	Barras	TI 6AL 4V
RB1211/RB1231/RB1232	Codos	TI 6AL 4V
RB1233	Rodamiento	Acero serie 5000
RB1212/RB1241	Uniones con motor	TI 6AL 4V
SDB1310	Balancín	EN AW-7075 T73
SDB1320	Vástago	EN AW-7075 T73
SDB1330	Leva	EN AW-7075 T73
SDB1340	Rodamiento	Acero serie 5000
SDE1410	Soporte	EN AW-7075 T73
SDE1420	Bridas	EN AW-7075 T73
SDE1430	Eje	Acero serie 1000
SDE1440	Engranajes	Acero serie 1000
M1511/M1513/M1521/M1522	Motores	Acero serie 3000
M1531/M1532/M1541/M1542/M1551/M1552	Anillo y soporte	TI 6AL 4V
R1610/R1620/R1630	Ruedas	EN AW-7075 T76
R1640	Interfaz Motor	EN AW-7075 T76

Tabla 2. Materiales de cada componente.

El chasis se fabrica con aluminio EN AW-7075 T76, debido a que no va a ser sometido a ningún tipo de esfuerzo elevado, por lo que se busca que sea lo más ligero posible.

Para los rodamientos de todos los conjuntos, se emplea un material típico, como es el acero inoxidable cromado de la serie 5000.

Para los elementos que conforman el *rocker-bogie*, como las barras y los codos, se ha escogido titanio, debido a que, aparte de ser un material ligero tiene una gran resistencia en comparación con el aluminio.

Para el sistema diferencial de balanceo, se ha elegido aluminio de alta resistencia EN AW-7075 T73 para sus tres componentes, debido a que dichos componentes van a estar sometidos a grandes esfuerzos.

Para el sistema diferencial de engranajes, se emplea acero de la serie 1000 para los engranajes y el eje, al ser los elementos más exigidos del diseño. Por otro lado, el soporte y las bridas son elementos de sujeción, por lo que estarán menos exigidos, pudiendo usarse un aluminio de resistencia moderada como el EN AW-7075 T73.

En cuanto a las ruedas, se fabrican con aluminio de la misma forma para intentar aligerar el peso lo máximo posible, pero con un tratamiento térmico T76 ya que están sometidas a un menor esfuerzo. La interfaz con el motor de avance se realiza del mismo material.

Los motores empleados son de la serie 3000 de acero inoxidable y los anillos y soportes que unen las ruedas con los motores de pivotamiento se diseñan en titanio 6AL 4V buscando mayor ligereza al no ser un sistema exigido críticamente.

6 MODELOS Y TAMAÑOS

Se ha diseñado el Rover con tres tamaños diferentes (S, M y L) intentado satisfacer al máximo las necesidades del usuario. Las medidas características de cada tamaño se reflejan en la siguiente tabla:

TAMAÑO	S	M	L	Unidades
Longitud	875	1750	2625	mm
Anchura	500	1000	1500	mm
Altura	350	650	1000	mm
Altura total	742	1390	2133	mm
Radio ruedas	70	150	260	mm

Tabla 3. Medidas características para cada tamaño del Rover

La longitud, anchura y altura representados son del chasis lo que proporciona al cliente la información necesaria para ubicar los instrumentos en su interior. Además, se aporta la información de la altura total del Rover medida desde la base de las ruedas hasta la parte superior del chasis.

Así mismo, se ha estimado con CATIA la masa de todos los tamaños con cada sistema diferencial, ya que es un parámetro fundamental a la hora de escoger el lanzador con el que se llevará el vehículo al planeta que se quiere investigar. Dichas masas se adjuntan en la siguiente tabla:

TAMAÑO	SD Balanceo	SD Engranajes	Unidades
S	86.6	119.1	kg
M	600.0	865.8	kg
L	1470.8	2416.0	kg

Tabla 4. Peso del Rover para cada tamaño.

Finalmente, se adjunta una imagen de cada tamaño disponible para el Rover, con ambos sistemas diferenciales:

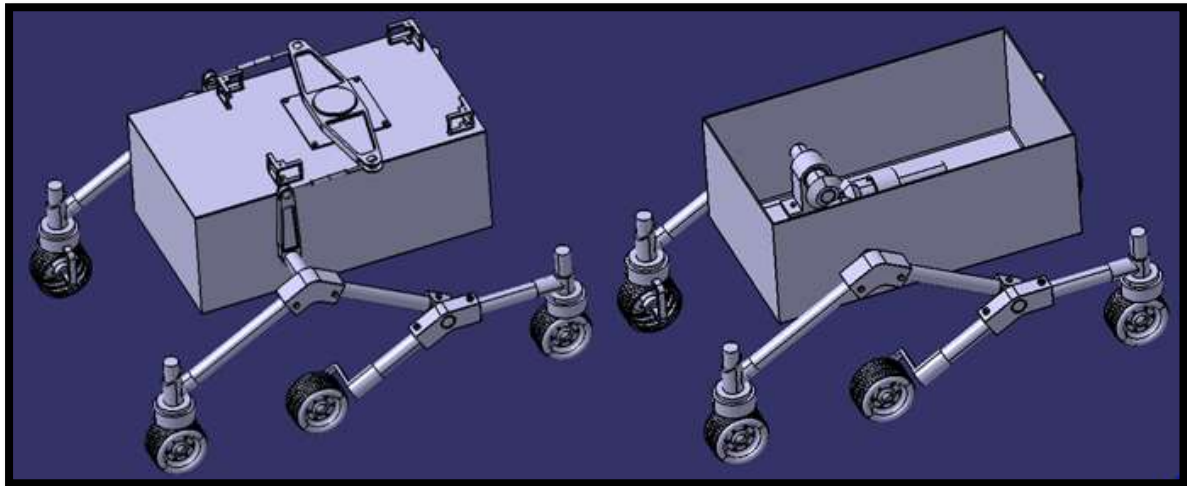


Ilustración 13. Modelo S del Rover, con ambos diferenciales.

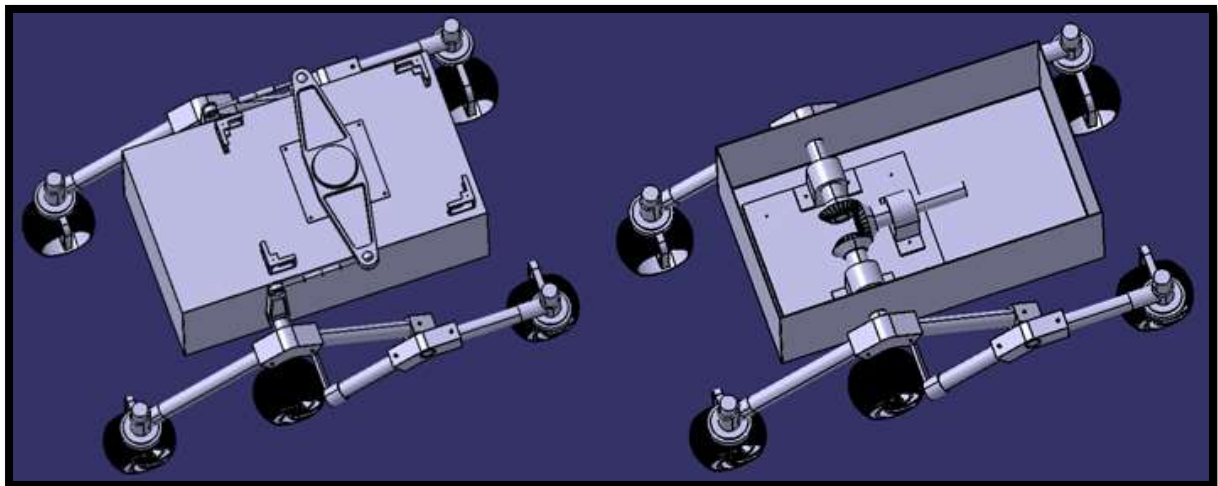


Ilustración 14. Modelo M del Rover, con ambos diferenciales.

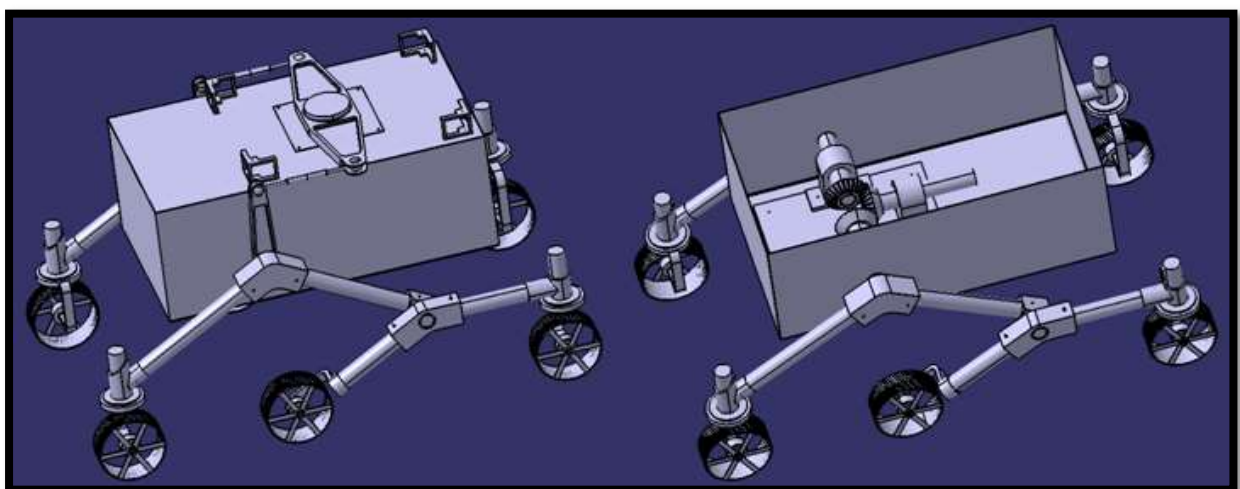


Ilustración 15. Modelo L del Rover, con ambos diferenciales.

7 PARÁMETROS DE USUARIO

Para finalizar el trabajo, en este apartado se detallan todos los parámetros del Rover que son modificables por el usuario y las herramientas disponibles para ello. Dicho usuario podrá modificar los siguientes parámetros con la aplicación “WbfRover.exe”:

- Tamaño: se podrá escoger entre los tamaños descritos anteriormente, S (pequeño), M (mediano) y L (grande).
- Sistema diferencial: se podrá elegir entre los dos tipos disponibles, de balanceo o de engranajes.

Además de la entrada de parámetros, la aplicación mostrará imágenes y datos del resultado final. Para ello es imprescindible que la carpeta “Resources” permanezca en todo momento en el mismo directorio que la aplicación.

El programa leerá y escribirá sobre el fichero “UserData.dat” el cual será usado por el programa Catia para modificar dichos parámetros automáticamente.

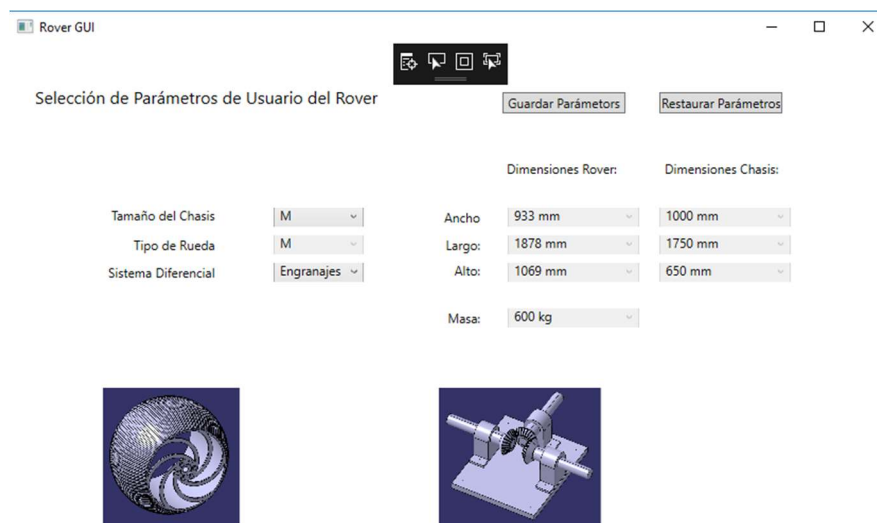


Ilustración 16. Interfaz de usuario del Rover.

8 SIMULACIÓN CINEMÁTICA

La simulación cinemática del Rover se ha realizado sobre un terreno irregular se ha usado el módulo “DMU Kinematics” del programa Catia. Para dar una idea preliminar del movimiento del vehículo se ha usado la configuración de tamaño grande con sistema diferencial de barra simplificada y sin uniones.

Para realizar la simulación con dicho módulo se ha ensamblado de nuevo el Rover con el objetivo de tener en el mismo nivel todas las partes y componentes que puedan tener movimiento relativo unos respecto a otros.

A continuación, se han aplicado las restricciones necesarias entre los elementos del Rover de forma que pueda moverse libremente en el espacio, incluyendo restricciones de revolución, coincidencias esféricas y cardanes entre otros (ver Ilustración 17).

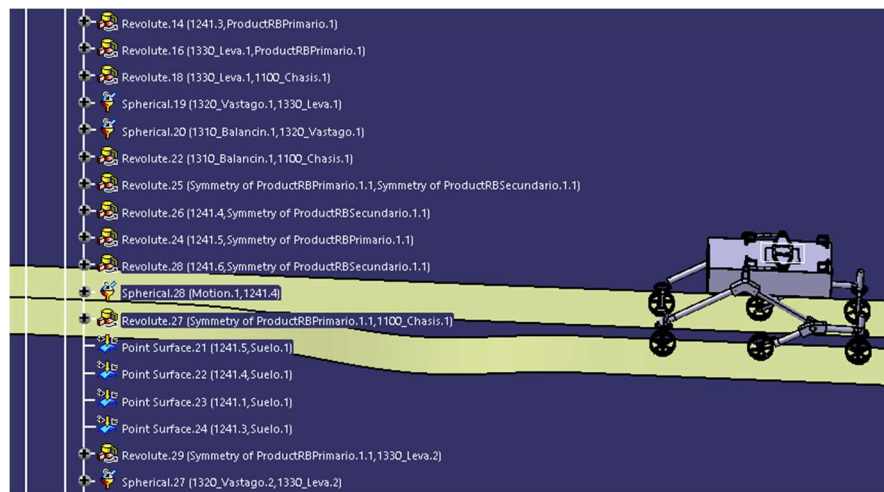


Ilustración 17. Modelo simplificado del Rover para el módulo DMU Kinematics.

Posteriormente se ha diseñado la superficie sobre la que se moverá el vehículo. A un lado el suelo será irregular, donde los centros de las correspondientes tres ruedas permanecerán en contacto todo el trayecto. Al otro lado, el suelo permanecerá liso, también con los centros de las tres ruedas restantes en contacto. Para simular el movimiento horizontal se ha añadido un sistema de referencia vacío con origen en el centro de giro de la rueda trasera sobre la superficie lisa, el cual se desplazará a lo largo del suelo siguiendo una línea. Para representar el suelo, se trasladarán las superficies mencionadas hasta estar en contacto con las ruedas y a éstas girarán sobre su eje de acuerdo a una ley dada.

Finalmente se ha generado la animación desplazando el sistema usando como grado de libertad el movimiento rectilíneo del centro de la rueda trasera. El proceso se ha automatizado por medio de leyes en el grado de libertad para facilitar la generación de fotogramas. La animación se guarda en el fichero “Kinematics.avi”.

9 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Las conclusiones que se han obtenido a lo largo del proyecto son las siguientes:

- El sistema diferencial de balanceo es más ligero que el sistema diferencial de barras debido a los materiales de los que se compone, por lo que podría usarse generalmente para el rover de tamaño pequeño.
- Se ha conseguido mostrar al cliente a través de una interfaz gráfica distintos modelos del Rover, lo cual le permite cierta flexibilidad para satisfacer sus necesidades.
- El Rover de menor tamaño consigue una masa muy baja, lo que hace que sea un diseño competitivo.
- El tiempo estimado de realización del proyecto fue de unas 50 horas, y el tiempo final empleado ha superado al estimado, siendo de 60 horas por persona.

Áreas de mejora del proyecto en las que se podría continuar:

- Al manipular el diseño 3D surgen 2 avisos en algunas situaciones cuya influencia es nula en la generación del diseño 3D, pero sería apropiado su supresión.
- Las uniones mecánicas realizadas mediante tornillos pueden ser optimizadas empleando remaches y otro tipo de elementos más eficientes, a pesar de que los empleados son válidos.
- Añadir la opción de material compuesto para el chasis, ya que es un material interesante debido a sus propiedades y está teniendo un elevado peso en misiones futuras, por lo que para añadir competitividad al diseño se debería adaptar. En consecuencia, se deberían adaptar distintos elementos debido a las características de las uniones de material compuesto que no pueden ser las mismas que las empleadas para materiales metálicos.
- Mejora en la modelización de los motores empleados, ya que el diseño realizado es preliminar únicamente obteniendo el volumen y forma 3D.