

Curiosity, el robot explorador de Marte

Pilar Navarro García

Daniel Pérez Figueras

Enero 2021



1. Introducción al *Curiosity*

Se ha decidido realizar un estudio en profundidad del robot *Curiosity*, un vehículo de exploración tipo *rover* diseñado para la exploración de Marte [1]. Su desarrollo fue llevado a cabo para la misión espacial *Mars Science Laboratory* (MSL) dirigida por la NASA. El *Curiosity* posee instrumentos científicos más avanzados que los que poseían los vehículos utilizados en las misiones anteriores en Marte.

Los objetivos de la misión que cumple el robot *Curiosity* son la búsqueda de vida anterior en Marte, la caracterización del clima y la geología de Marte y la preparación para la futura exploración humana de Marte.

El robot fue lanzado en el vehículo *Atlas V 541* el 26 de noviembre de 2011 y aterrizó finalmente en Marte el 6 de agosto de 2012. La misión prevista tenía una duración de 1 año marciano (1,88 años terrestres), pero actualmente sigue operativa debido a que está investigando la habitabilidad en Marte.

2. Información técnica

El *Curiosity* cuenta con un ordenador de abordo basado en una placa monolítica RAD750 con un procesador PowerPC 750 [2], siendo este un sistema embebido de tiempo real muy potente. Posee 256 MB de DRAM, 256 MB de EEPROM y 2 GB de memoria flash que se utiliza principalmente para almacenar fotos, vídeos y la información tomada a través de sus diversos sensores.

La placa aguanta niveles de radiación de hasta 1000 gray y un rango de temperatura de entre -55 y 70°C. También posee un ordenador de abordo extra similar que se utiliza en caso de fallo del primero.

En cuanto a las comunicaciones, para transmitir la información obtenida sobre el entorno en el que se encuentra, el robot tiene dos alternativas: comunicarse directamente con la antena DSN (*Deep Space Network*) en la banda X (8 GHz) o interconectarse a través de los orbitadores *Mars Odyssey* o *Mars Reconnaissance* en la banda UHF (300 MHz - 3 GHz).

La alimentación de energía del rover se consigue con el *Multi-Mission Radio-isotope Thermoelectric Generator* (generador termoeléctrico de radioisótopos mul-

timisión), una batería nuclear basada en plutonio desarrollada especialmente para misiones espaciales de la NASA. Este generador convierte el calor de la descomposición natural de un radioisótopo en electricidad, sin dependencia del Sol [3].

El control del robot se realiza desde la Tierra con una velocidad máxima de 130 m/h. Cuando el rover emplea navegación autónoma para moverse, su velocidad máxima disminuye a 90 m/h. Además, debido a la dificultad del desplazamiento en diferentes terrenos debido al deslizamiento y la visibilidad, se estima que la velocidad media sea de 30 m/h.

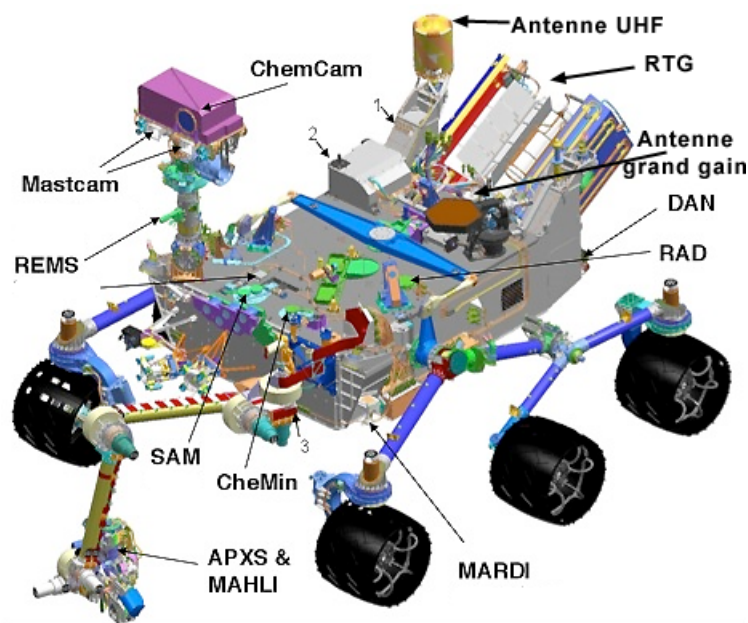


Figura 1: Instrumentación del *Curiosity*.

La instrumentación del *Curiosity* puede observarse en la Figura 1. El *rover* integra 17 cámaras de 2 megapíxeles cada una. La cámara principal (*MastCam*) puede grabar vídeo a color de 720p y 10 fps, mientras que las cámaras de evasión de peligros (*HazCams*) y las cámaras de navegación (*NavCams*) solamente toman imágenes del entorno. Con las imágenes de las primeras se realiza la reconstrucción de un mapa en 3D del entorno, utilizado posteriormente para el proceso de navegación autónoma y evitación de obstáculos. También posee una cámara en el brazo robótico para tomar imágenes microscópicas del suelo y rocas de la superficie de Marte.

La cámara llamada *ChemCam* forma parte de un sistema de espectroscopía de quiebre inducido por láser, cuya misión es vaporizar rocas (Figura 2) y analizar la



Figura 2: Resultado de una perforación realizada por el *Curiosity*.

muestra para obtener información de la muestra de radiación, presencia de agua e hidrógeno y otros análisis.

Algunas de las imágenes tomadas y procesadas por el *Curiosity* pueden verse en su cuenta de Twitter oficial.

3. Tareas del robot

Para que el *Curiosity* logre sus objetivos ha de desempeñar una serie de tareas:

- Movimiento por un terreno desconocido evitando obstáculos.
- Mapeado de todo el entorno alrededor del robot.
- Aumento de la vida útil de las ruedas.
- Diversas tareas científicas de exploración.

4. Algoritmos empleados por el robot

El *software* para la entrada, descenso y aterrizaje utiliza el algoritmo de *Monte-Carlo* para predecir con gran precisión la dispersión del punto de aterrizaje en base a diferentes modelos paramétricos del sistema de entrada del multicuerpo, atmósfera y aerodinámica operando en un bucle cerrado con una copia del *software* de vuelo.

Con este sistema se buscaba conocer la zona de menor riesgo para el aterrizaje. Para una mayor seguridad y validación de los datos, se comparó el resultado con otro simulador de ingeniería de alta precisión (POST, desarrollado por la NASA) [4].

Adicionalmente se ha desarrollado un *framework* que realiza una reconstrucción o mapeado del entorno durante el proceso de entrada, descenso y aterrizaje en base a los datos recibidos. Este *framework* puede trabajar con la telemetría a tiempo real o la proveniente de los datos de una simulación.

Para el control del *rover* se utiliza una arquitectura dividida en varios niveles. En la programación de alto nivel utiliza el *ROVER Fligth Software* (FSW) y a bajo nivel el *Motor Control Fligth Softrware* (MCFSW).

Para mover el robot, los operadores humanos le envían un entorno por el cual el robot debe avanzar, actualizándose este entorno cada día. El robot estudia cómo realizar esa ruta de manera más segura dentro de esta zona de movimiento. Utiliza las cámaras estéreo para predecir cualquier posible escalón pendiente o peligro del terreno accidentado que se pueda encontrar. Para evitar estos obstáculos el *rover* se detiene cada 0,5-1,5 metros, toma 4 imágenes, evalúa los obstáculos y elige el camino a tomar. La auto navegación permite que el robot avance por terrenos a los cuales nunca antes había llegado.

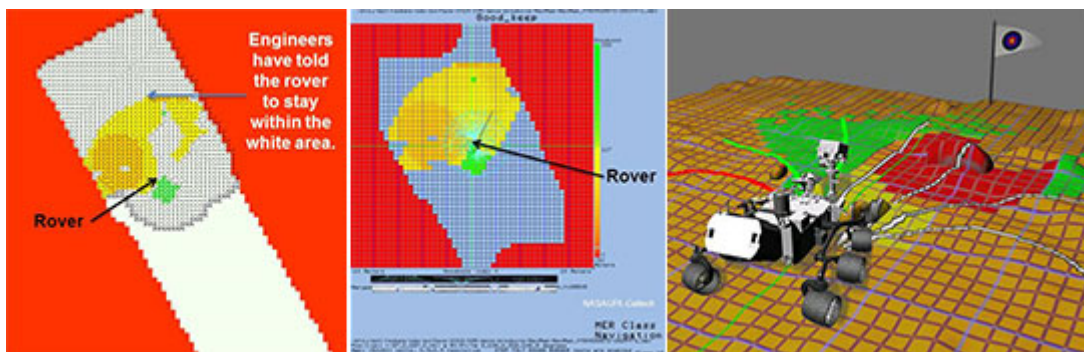


Figura 3: Representación del MSL en conducción autónoma (de izquierda a derecha): límites del operador, interpretación del terreno del *rover* y simulación 3D de la vista del rover.

El *Curiosity* realiza un *traking* de su posición gracias a un acelerómetro y un giroscopio para medir sus movimientos haciendo uso de la odometría de la rueda.

Adicionalmente, para corregir la posición, utiliza odometría visual parando cada metro y tomando fotos del entorno para saber cuánto ha cambiado y corregir la posición del robot basado en un análisis de los 6 grados de libertad (Figura 3).

El *Robot Sequencing and Visualization Program* (RSVP) que dispone el *Curiosity* está diseñado para la exploración del terreno generando las trayectorias y reconstrucciones 3D del entorno en base a imágenes estéreo para posteriormente enviarlas al robot. Se puede apreciar la calidad de las reconstrucciones llevadas a cabo con las imágenes en este enlace.

Debido al desgaste sufrido por las ruedas durante su vida útil (como puede observarse en comparación de la Figura 4) se decidió desarrollar un algoritmo para minimizar el desgaste de las ruedas en las situaciones críticas que estas pudieran sufrir tales como: rocas que tengan que ser escaladas, rocas puntiagudas que consigan penetrar en la cubierta de la rueda o “caballitos” realizados por alguna rueda.

Este algoritmo controla la tracción del vehículo utilizando datos en tiempo real para ajustar la velocidad de cada rueda, reduciendo así la presión que ejercen las rocas sobre las ruedas. Se calculan los cambios en el sistema de suspensión para determinar los puntos de contacto de cada rueda y, finalmente, se calcula la velocidad adecuada para evitar deslizamientos, consiguiendo así una mejora en la tracción del *rover*. También detecta posibles “caballitos” llevados a cabo por alguna de las ruedas al ascender un obstáculo y modifica la velocidad del resto de ruedas para conseguir que la rueda que está flotando en el aire vuelva a entrar en contacto con la superficie [5].

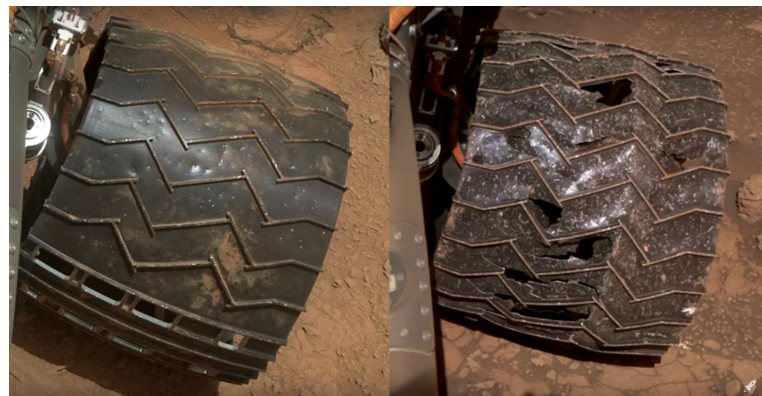


Figura 4: Deterioro de las ruedas del Curiosity entre 2012 y 2018 [6].

5. Bibliografía

A continuación se encuentran los enlaces utilizados como bibliografía para la realización de este trabajo:

- [1] Curiosity. 2020. (wikipedia.org)
- [2] Hardware y Software del Mars Rover MSL "Curiosity". 2012. (tecbolivia.com)
- [3] Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator. 2020. (wikipedia.org)
- [4] Flight projects - Mars Science Laboratory. 2011. (nasa.gov)
- [5] El algoritmo que ayuda a proteger las ruedas del Curiosity en Marte. 2017. (transporter1200.com)
- [6] Las ruedas marcianas de Perseverance. 2020. (danielmarin.naukas.com)