



Rover Spirit, The Martian Explorer

Daryel Leon, Milton Tenesaca and Jairo Huaraca

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

November 20, 2019

Rover Spirit, El Explorador de Marte

Rover Spirit, The Martian Explorer

Daryel Leon, Milton Tenesaca, Jairo Huaraca
Telecomunicaciones y redes
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, Ecuador

daryelazo-15@hotmail.com, tenesaca1000ton@hotmail.com, jairopatito97@gmail.com.

Resumen- Este documento presenta información minuciosa acerca del Rover Spirit desde el inicio de su lanzamiento hasta sus últimos días de operación, además se detallará los dispositivos con los que cuenta su infraestructura y se explicará el funcionamiento del sistema de comunicación que fue utilizado entre la estación terrena y el Rover Spirit y finalmente se abarcará investigaciones de la actualidad pensadas para futuras misiones de exploración en Marte.

Palabras Clave- Rover, Spirit, Exploración, Marte.

Abstract- This document presents detailed information about the Rover Spirit from the beginning of its launch until its last days of operation, in addition it will detail the devices with which it has its infrastructure and explain the operation of the communication system that was used between the earth station and the Rover Spirit and finally cover current research designed for future exploration missions on Mars.

Keywords- Rover, Spirit, Exploration, Mars.

I. INTRODUCCIÓN

Un *Rover* es un vehículo motorizado que se desplaza por la superficie, estos vehículos son capaces de examinar áreas de territorio amplio, además que pueden situarse en lugares para recibir luz solar y recargar energía y todo esto controlado de forma remota. A lo largo de la historia ha existido varios *Rovers* que han operado con éxito, el *Rover Spirit* es uno de los robots del programa de exploración de Marte de la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*.

II. METODOLOGÍA

A. Historia y principales descubrimientos.

El *Rover Spirit* formó parte de la misión *Mars Exploration Rover (MER)*, despegó en un cohete Delta II 7925 desde Cabo Cañaveral el 10 de Junio del 2003, y llegó a Marte el mes de Enero del 2004 [1], pues tuvo la misión de investigar los diferentes factores que componen el planeta rojo, como su clima, geología y sobre todo indagar acerca del pasado del planeta y la posibilidad de que hubiera existido vida.

El tiempo de vida fue de 90 días marcianos o soles, pero la gran sorpresa fue que funcionó por alrededor de 6 años terrestres aproximadamente. El *Spirit* dejó de comunicarse con

la Tierra el 22 de marzo del 2010, ya que había quedado atrapado en una trampa de arena.

Cuando el *Rover Spirit* aterrizó en la superficie de Marte, lo hizo en el cráter *Gusev*, ya que se sospechaba que el cráter poseía agua en la antigüedad. Luego de ello se encontró evidencia de carbonato y hemanita, los cuales son minerales que están relacionados con ambientes acuáticos.



Fig. 1. Rover Spirit

Los éxitos y evidencias que obtuvo el *Rover Spirit* a lo largo de su tiempo de vida son [2].

- **Antiguos manantiales en ebullición:** se logró gracias a que la rueda delantera derecha dejó de funcionar y por lo tanto tuvo que arrastrarla consigo, de esta manera la rueda dejó surcos en la superficie del planeta dando a descubrir depósitos de silicio amorfo, los cuales están relacionados con los sistemas hidrotérmicos, por lo que dio apertura a la posibilidad de que en algún momento el planeta rojo haya tenido agua y la energía para calentarla.
- **Atmósfera densa y de agua dulce:** gracias a los carbonatos que descubrió el *Spirit* en la superficie, es un indicio de que la vida en Marte no siempre fue como la conocemos hoy en día. Pues los carbonatos encontrados se formaron en superficies de agua, las cuales solamente hubieron podido existir en una atmósfera densa que previniese su evaporación de manera rápida, ya que, al estar sometido a una atmósfera tan tenue, ningún organismo viviente hubiera sobrevivido.
- **Ciclo activo de agua:** se logró debido a que el *Spirit* quedó atrapado en *Troya*, y para liberarse tuvo que girar sus ruedas, y debido a esta acción tuvo la oportunidad de

descubrir sulfatos, los mismos que podían haber estado en contacto con agua hace ya más de un millón de años.

El *Rover Spirit*, además de realizar en su gran mayoría descubrimiento relacionado con el agua, también fotografió varios remolinos de polvo y nubes marcianas, y capturo la primera imagen del planeta Tierra tomada desde la superficie de otro planeta, observada en la Fig.2. Y ya al final de su ciclo de vida se logró registrar un total de 7,73 km recorridos en su odómetro [3].



Fig. 2. Foto de la Tierra tomada desde la superficie de Marte

B. Diseño y construcción

En julio de 2000 la NASA anunció la selección del Rover para la misión de 2003 con el nombre de *Mars Exploration Rover (MER)*. El administrador de dicho proyecto Dan Goldin decidió modificarlo a ultimo momento, por lo que propuso enviar dos naves idénticas, esta acción pretendía garantizar el aterrizaje exitoso de por lo menos un *Rover*.

En comparación al *Rover-Sojourner* de 10 [kg], los MER serían robustos. Su masa alcanzaría los 174 [kg] y tendrían una altura de 1,5 [m] una vez desplegado el mástil con las cámaras. La base de las ruedas tenía unas dimensiones de 1,4 [m] de largo y 1,2 [m] de ancho. Con los paneles solares desplegados, las dimensiones alcanzaban los 2,25 x 1,7 [m]. La altura entre la parte inferior del chasis y el suelo era de 30 [cm]. Las seis ruedas, de 26 [cm] de diámetro y 16 [cm] de ancho cada una, estaban fabricadas en aluminio y disponían de su propio motor eléctrico [4]. El diseño del *Rover* se detalla en la Fig. 3.

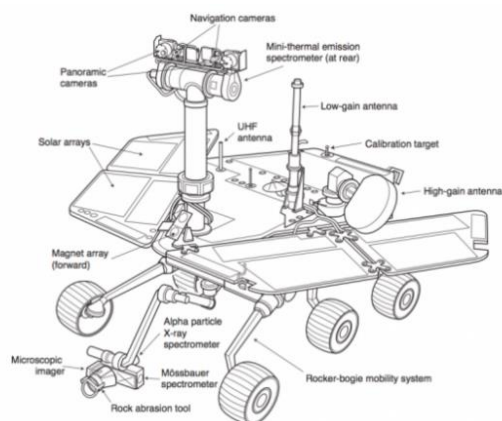


Fig. 3. Rover MER (NASA)

Las partes del *Rover Spirit* al igual que las de su hermano gemelo *Rover Opportunity* se detalla a continuación [5].

- **Cuerpo:** estructura que resguarda componentes internos de vital importancia.
- **Cerebros:** computadoras para el procesamiento de la información.
- **Controles de Temperatura:** calefactores internos y una capa de aislamiento entre otros.
- **“Cuello y cabeza”:** un mástil donde se ubican las cámaras dando a los *Rovers* una vista a escala humana.
- **“Ojos y otros sentidos”:** cámaras e instrumentos que brindan a los *Rovers* información sobre su entorno.
- **Brazo:** extremidad robótica que permite extender su alcance
- **Ruedas y "patas":** extremidades que permiten movilidad.
- **Energía:** baterías y paneles solares
- **Comunicaciones:** antenas para la comunicación.

El cuerpo del *Rover* también llamada *Warm Electronics Box (WEB)* es una capa externa rígida cuya función es resguardar las computadoras, las baterías y dispositivos eléctricos y mantener una temperatura óptima.

Las computadoras “cerebros” del *Rover* están dentro de su cuerpo, ubicada dentro de un módulo llamado *The Rover Electronics Module (REM)*. La interfaz de comunicación que permite que la computadora principal intercambie datos con los instrumentos y sensores del móvil se llama “bus”. Este bus *Versa Module Europa (VME)* es un bus de interfaz estándar enfocada a la comunicación y control de todos los motores móviles, instrumentos científicos y funciones de comunicación [6].

Los dispositivos primordiales del *Rover* como las computadoras, baterías y dispositivos electrónicos se mantienen a una temperatura adecuada debido a los calefactores que se encuentran ubicado dentro del cuerpo del *Rover*. Se sabe que a temperatura de Marte oscila entre 20 [°C] en verano y -140 [°C] en las noches de invierno en las regiones polares [7]. Por lo que los sistemas de control de temperatura juegan un factor muy relevante evitando que el *Rover* se congele.

Lo que se conoce como “Cuello y cabeza” es la *Pancam Mast Assembly* ensamblada en la parte superior del mástil la cual está conformada por dos cámaras iguales separadas 30 [cm]. Son 2 los propósitos de la ubicación *Pancam* en la parte superior del mástil y son: Proporcionar imágenes estereoscópicas, es decir tendrá la capacidad de recoger información tridimensional y/o crear la ilusión de profundidad y proporcionar altura y mejor punto de vista para la *Pancam*.

El *Rover* posee nueve “ojos”. Seis cámaras de ingeniería ayudan en la navegación móvil y tres cámaras realizan investigaciones científicas. Cuatro *Hazcams* de ingeniería (cámaras de prevención de riesgos), dos cámaras de navegación de ingeniería (cámaras de navegación), Dos cámaras de ciencia (cámaras panorámicas) y por último *One Science Microscopic Imager*.

El *Rover* posee un brazo móvil robótico también llamado *Instrument Deployment Device (IDD)* sostiene y maniobra los instrumentos que ayudan a los científicos a acercarse y ser personales con las rocas y el suelo marcianos. Al igual que un

brazo humano, el brazo robótico tiene flexibilidad a través de tres articulaciones: el hombro, el codo y la muñeca del Rover. El brazo permite que un cinturón de herramientas de instrumentos científicos se extienda, doble y ángulo con precisión contra una roca para trabajar como lo haría un geólogo humano: esmerilar capas, tomar imágenes microscópicas y analizar la composición elemental de las rocas y el suelo [8].

El Rover posee 6 ruedas, las cuales cada una tiene su propio motor. Dos ruedas delanteras y dos delanteras también poseen motores de dirección individual, esta configuración de ruedas permite que el vehículo gire y se movilice 360° completos.

La principal fuente de energía del Rover son los paneles solares múltiples, cuando estos están completamente iluminados generan alrededor de 140 [w] de potencia hasta 4 horas. Y para su conducción el Rover requiere alrededor de unos 100 [w]. El sistema de alimentación también incluye dos baterías recargables que proporcionan energía al Rover cuando el sol no brilla, especialmente de noche.

Una de las antenas del Rover es de baja ganancia y la otra de alta ganancia, y actúan como “voz” y “oídos” y su ubicación está en la parte posterior de la Rover Equipment Deck (RED) [6].



Fig. 4. Uno de los MER junto a una réplica de Sojourner (NASA/JPL).



Fig. 5. Antena de alta ganancia de los MER (NASA/JPL).

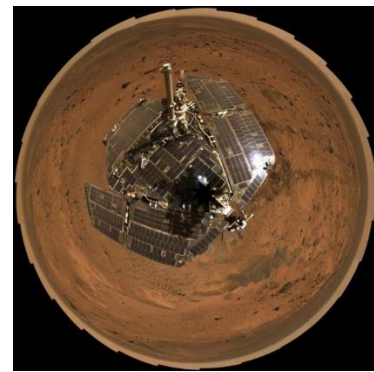


Fig. 6. Vista de los paneles solares de Spirit en el cráter Gusev (NASA/JPL)

C. Sistema de Comunicaciones

El Rover cuenta con dos antenas (Fig. 3), la una de ganancia baja y omnidireccional que está montada dentro de un anillo interior a la sonda de navegación y utiliza esta antena en lugares próximos a la tierra, la segunda antena de media alta ganancia es más direccional y está montada en el exterior del anillo de la sonda de navegación, a medida que la nave se aleja más de la tierra comienza a utilizar esta antena. La comunicación se puede hacer directamente a la tierra o bien a los vehículos Mars Odyssey y Mars Reconnaissance que se encuentran en órbita alrededor de marte [9]. Para la sonda de navegación se emplea la Banda X cuyas frecuencias se detallan en la siguiente tabla.

Tabla I
BANDA DE FRECUENCIAS

Banda	Frecuencias (GHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40

Como se puede observar esta banda es de alta frecuencia que consiguen un buen rendimiento con un menor gasto de energía y sobre todo antenas más pequeñas.

La comunicación a Tierra específicamente hace referencia a las antenas Deep Space Network (SDN). La DSN es una red internacional de antenas los cuales proporcionan comunicación entre los científicos en Tierra y las diferentes misiones espaciales, se forma por 3 estaciones de comunicación de espacio profundo situadas en diferentes partes del mundo todas en posiciones de 120 grados, de esta manera se cubre todo el espacio observable desde la Tierra. Una de las razones por las que es mejor una comunicación como nodos intermedios para transmitir grandes volúmenes de datos es que las velocidades de transferencia son muy reducidas. Una comunicación a través del Odyssey resulta más rápido en concreto hasta 256 Kbps, pero para envío de datos que requieren aun mayor ancho de banda se utiliza el Reconnaissance ya que puede llegar a velocidades de hasta 2 Mbps [10].

El tiempo de comunicación entre ambos considerando la distancia desde la Tierra a Marte y además la velocidad de propagación que sería la de la luz ya que está en el vacío, se logró aproximar mediante un pequeño cálculo (Ec. 1) detallado a continuación.

$$T = \frac{D}{V} \quad (1)$$

$$T = \frac{225000000000 \text{ m}}{300000000 \text{ m/s}}$$

$$T = 750 \text{ s} = 12.5 \text{ minutos}$$

Como se puede observar el tiempo en llegar la onda sería de 12.5 minutos por lo que un enviar y recibir tomaría el doble de estos aproximadamente 25 minutos

D. Investigaciones enfocadas en futuras misiones

Actualmente se llevan a cabo investigaciones enfocadas para futuras misiones en el planeta Marte y otros cuerpos planetarios, como la del grupo de micro y nano tecnologías (MNT) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), en colaboración con el centro de astrobiología, el cual tiene como objetivo el desarrollo de sensores miniaturizados para la exploración planetaria en futuras misiones.

El grupo MNT ha participado en el diseño, fabricación y calibración de los sensores de viento en tres misiones de la NASA a Marte las cuales son:

- Estación de monitoreo ambiental del *Rover* (REMS), lanzado en el 2011.
- Instrumentos *TWINS of InSight*, lanzado en el 2018.
- Analizador dinámico ambiental de Marte (MEDA), instrumento que va a ser lanzado en julio del 2020 junto con la misión *Mars2020*.

El objetivo del proyecto es llevar a cabo las Fases D y E del instrumento MEDA para el *Mars2020*. Además, el trabajo será desarrollado para los nuevos sensores miniaturizados que trabajan bajo controles inteligentes, destinados a misiones futuras. El instrumento MEDA se encuentra actualmente en ATLO (Prueba de ensamblaje y operaciones de lanzamiento)

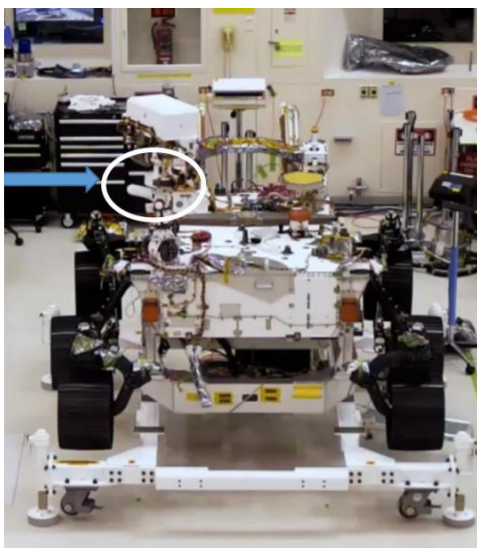


Fig. 7. Analizador dinámico ambiental de marte (MEDA)

La NASA tiene planificado el lanzamiento del *Rover Mars* 2020, el cual se dará a cabo entre el 17 de Julio y 5 de Agosto del 2020, la ubicación para su lanzamiento va a ser en la estación de la fuerza aérea de Cabo Cañaveral, y su aterrizaje se daría a cabo el 18 de Septiembre del 2021, el lugar de dicho aterrizaje será el cráter *Jezero*, tendrá una duración de al menos 687 días terrestres [11]. Uno de sus objetivos principales es la búsqueda de compuestos orgánicos y otra evidencia de vida antigua en la superficie marciana.

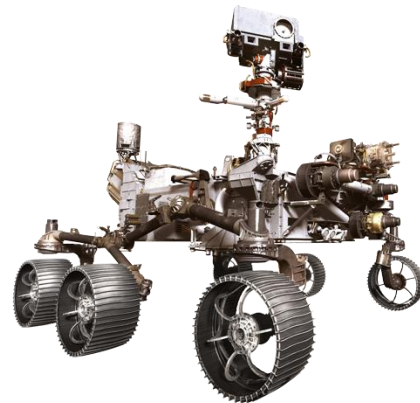


Fig. 8. Rover Mars 2020

III. RESULTADOS

El *Rover Spirit* excedió su vida de misión de inicialmente 90 días llegando a durar más de 20 veces del tiempo planificado, aterrizando en Marte el 3 de enero de 2004 en el cráter *Guasev* y continuo aproximadamente 6 años de operaciones continuas sobre la superficie marciana, logrando recorrer una travesía aproximada de 7.73 Km desde su punto de aterrizaje hasta su posición actual en *Troya*, donde lamentablemente quedo atrapado en una trampa de arena con un suelo lleno de piedras minerales, después de varios intentos fallidos por re direccionar sus paneles hacia el sol, el 26 de enero de 2010 la NASA renunció a intentar la liberación del *Rover Spirit*, hasta que finalmente se produjo la última señal de comunicación con la Tierra el 22 de marzo del 2010 cuando el *Rover* entro en estado de hibernación y nunca despertó.

Aunque los primeros objetivos de la misión de MER fue buscar y caracterizar una amplia gama de rocas y suelos, el *Rover Spirit* logro importantes hallazgos los cuales fueron fundamentales para entender la vida del planeta Marte. Dentro de los principales descubrimientos que se pudo hallar en el planeta rojo son:

- Antiguos manantiales en ebullición
- Una atmósfera densa y de agua dulce
- Un ciclo activo de agua

Todos estos descubrimientos dan como resultado que en Marte hubo evidencias de que en verdad existía agua hace miles de años atrás, pero debido a factores propios del planeta, esto ha ido desapareciendo. De la misma manera, gracias a las

fotografías tomadas por el *Spirit* se aprecia como es el ambiente en el planeta.

IV. CONCLUSIONES

El *Spirit* fue de gran relevancia en la misión MER de la NASA en junio del 2003, porque gracias a él se mostró la presencia de agua en Marte y ayudó a sentar las bases para futuras misiones de exploración al planeta rojo como lo es el *Rover Mars 2020*. Pese a que su tiempo de vida era originalmente de 90 días marcianos, el *Spirit* siguió comunicándose con la Tierra hasta marzo del 2010, recorriendo un total de 7.73km y recolectando información de mucha relevancia, pero dejó de comunicarse debido a que quedó atrapado en una trampa de arena en *Troya*, y como resultado de eso no tuvo la capacidad de reorientar sus paneles solares para ubicarlos en dirección al sol, por lo que paulatinamente quedaría sin batería hasta finalmente quedar obsoleto. Pese a caer en dicha trampa, logró seguir recolectando información, ya que en el intento de liberarse de la trampa, tuvo que girar sus ruedas y de esa manera descubrió sulfatos, los cuales estarían relacionados a la posibilidad de que hubiera agua en ese lugar. Gracias al *Spirit* se conoció como es la superficie del planeta rojo y que tipo de condiciones ambientales posee, y además logró capturar la primera fotografía del planeta Tierra visto desde otro planeta. Sin duda la información que tomó el *Rover Spirit* fue de gran ayuda para el entendimiento de Marte.

V. REFERENCIAS

- [1] E. Howell, "NASA's Spirit Rover: Revealing Mars' Early, Wet History," 12 09 2018. [Online]. Available: <https://www.space.com/18766-spirit-rover.html>. [Accessed 27 10 2019].
- [2] J. Callas, "Un homenaje a Spirit," 3 6 2011. [Online]. Available: https://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/03jun_spirit. [Accessed 24 10 2019].
- [3] "Se cumplen 13 años de la llegada a Marte del rover Spirit," 03 01 2017. [Online]. Available: <https://www.europapress.es/ciencia/misiones-espaciales/noticia-cumplen-13-anos-llegada-marte-rover-spirit-20170103182425.html>. [Accessed 27 10 2019].
- [4] D. Marin, "EUREKA," 22 Enero 2014. [Online]. Available: <https://danielmarin.naukas.com/2014/01/22/la-odisea-de-spirit-y-opportunity-los-infatigables-exploradores-marcianos-10-anos-de-los-mer/>.
- [5] NASA, "MARS Exploration Rovers," [Online]. Available: <https://mars.jpl.nasa.gov/mer/mission/rover/>.
- [6] D. Lane, Mars Exploration Rover "OPPORTUNITY", 2003-2004.
- [7] AEmetblog.es, "Agencia Estatal de Meteorología," [Online]. Available: <https://aemetblog.es/2016/04/13/climatologia-extraterrestre-como-es-el-clima-en-mercurio-venus-y-marte/>.
- [8] "Space Apps," 2018. [Online]. Available: <https://2018.spaceappschallenge.org/challenges/can-you-build/make-sense-out-mars/teams/team-atlas/project>.
- [9] P. RODRÍGUEZ, "Xataka," 13 Agosto 2012. [Online]. Available: <https://www.xatakamovil.com>.
- [10] A. H. Young, Lunar and planetary Rovers, Alemania: Springer, 2007.
- [11] NASA, "MARS 2020 Mission," [Online]. Available: <https://mars.nasa.gov/mars2020/>. [Accessed 28 10 2019].