

Robots en el Espacio

Iñaki Navarro Oiza

27 de abril de 2005

Índice general

1. Introducción	2
2. Aplicaciones	5
2.1. Robots en órbitas bajas	5
2.1.1. Robots internos	5
2.1.2. Robots externos	8
2.2. Robots Exploradores	15
2.2.1. Exploradores lunares Lunokhod 1 y 2	16
2.2.2. Rovers Spirit y Opportunity	16
2.2.3. Autonomous NanoTechnology Swarm	19

Capítulo 1

Introducción

Podemos entender como *robots espaciales* aquellos sistemas como brazos para la manipulación o de locomoción para exploración y que poseen flexibilidad para realizar diferentes tareas. Se excluyen las naves espaciales que aun siendo en mayor o menor grado autónomas carecen de la característica de flexibilidad. Los sistemas robóticos espaciales tienen diferentes grados de autonomía existiendo algunos puramente teleoperados.

Los robots espaciales difieren bastante de los robots terrestres no en su apariencia sino en sus características debido a una serie de condiciones y requerimientos que deben cumplir para su funcionamiento en el espacio, debido a las condiciones extremas que este impone. Además existen otra serie de limitaciones debidas a otro tipo de requerimientos de los programas espaciales en si mismos. Estas limitaciones y características especiales a la hora de diseñar un robot espacial han sido tomadas de [1], y se resumen a continuación.

Limitaciones ambientales

- Sobrevivir al lanzamiento con aceleraciones de hasta 16 g y ruido acústico de 145 dB. Para ello los diseños mecánicos deben ser especiales, así como los componentes electrónicos montados.
- Sobrevivir al aterrizaje para aquellos robots de misiones espaciales. El descenso a Marte implica una deceleración de 19 g y una velocidad de impacto de 40 m/s. Los requerimientos son los mismos que para los lanzamientos y además deben poseer *air-bags* para el choque.

- Funcionamiento en el vacío con atmósferas de entre 10^{-3} Pa y 10^{-15} Pa. Los lubricantes usados deben ser secos. No se pueden usar sensores ultrasónicos.
- Funcionamiento en condiciones de ingravidez, no por debajo de 10^{-3} g. Los efectos dinámicos están alterados respecto a la tierra ya que el término de la gravedad desaparece y comienzan a dominar determinados efectos no lineales.
- Funcionamiento bajo alta radiación de protones e iones pesados. Debido a esto el tiempo de vida de los materiales es limitado, la electrónica requiere de protecciones especiales y generalmente la última tecnología de ordenadores no puede ser usada.
- Funcionamiento bajo un amplio rango de temperaturas extremas, que van de los -120°C a los $+60^{\circ}\text{C}$ para la Estación Espacial, de los -130°C a los $+20^{\circ}\text{C}$ en Marte, y de los -230°C a los $+130^{\circ}\text{C}$ en la Luna. Además se puede unir el problema del vacío que hace que no exista convección a la hora de disipar el calor. Se usan para combatirlo varias capas aislantes y radiadores eléctricos.
- Funcionamiento bajo iluminación con alto contraste lo que dificulta las técnicas de visión artificial.
- Funcionamiento en un ambiente remoto en el que en misiones sin humanos no pueden arreglarse los problemas ocurridos. Por ello deben hacerse tests exhaustivos antes de mandar los robots.

Limitaciones debidas al programa espacial

- Se trata de sistemas de alta complejidad, usualmente con más de una docena de subsistemas de diferentes fabricantes. Por ello es importante una buena dirección del proyecto así como una buena descomposición del sistema.
- Son sistemas con un largo tiempo de vida, normalmente más de diez años. Deben funcionar durante el tiempo para el que esten proyectados y tener un software que pueda ser modernizado.
- Deben ser sistemas seguros, con unos índices de fiabilidad de más del 80 % para misiones en las que no hay humanos implicados y de más del 95 % cuando si los hay. Se usan standards especiales de ingeniería espacial y se pone un gran esfuerzo en la documentación. También se construyen sistemas redundantes de forma que sean más tolerantes a fallos. Existen problemas para usar sistemas no determinísticos como loas redes neuronales y la lógica borrosa.

- El peso está limitado y resulta muy caro, más de 10000\$/Kg. para las cargas lanzadas con el trasbordador espacial y mucho mayores cuando se trata de misiones a la Luna o Marte. Por ello los diseños deben ser extremadamente ligeros, lo que introduce efectos elásticos a la hora de controlar los brazos.
- La energía está limitada por ello debe usarse electrónica de bajo consumo y los recursos computacionales tienen restringida la memoria y frecuencia de reloj.
- Las comunicaciones están limitadas a determinadas ventanas temporales y además existen grandes retardos: de 10 segundos ida y vuelta para Estación Espacial y de hasta 40 minutos para las comunicaciones con Marte. Por ello se necesitan interfaces de operación especiales en la Tierra, existiendo diferentes grados de autonomía.
- Las pruebas realizadas en la Tierra están limitadas ya que no se puede recrear la falta de gravedad y los robots pueden ser demasiado débiles para trabajar con ésta. Se realizan simulaciones y también se trata de recrear condiciones de gravedad nula mediante suspensiones o tanques de agua.
- Se trata de proyectos de muy larga duración que pueden hacer mella en la moral de los diseñadores. Además cuando se va a producir el lanzamiento la tecnología puede estar ya obsoleta.

Además de las limitaciones citadas anteriormente hay que tener en cuenta que son sistemas con altos costes de fabricación y desarrollo, lo que junto con una falta de economía de escala ha impedido el amplio uso de sistemas robóticos en el pasado. Lo óptimo sería que existiese una transferencia tecnológica entre robótica espacial y terrestre en ambos sentidos, de tal forma que a la hora de realizar robots espaciales se utilizasen tecnologías terrestres, y que luego los resultados de la robótica espacial pudiesen ser aplicados comercialmente al mercado no espacial.

Capítulo 2

Aplicaciones

A continuación se va a realizar una clasificación de los posibles aplicaciones de robótica espacial atendiendo al entorno de funcionamiento. Algunos sistemas van a ser explicados en más detalle mientras que otros serán simplemente nombrados.

2.1. Robots en órbitas bajas

Se denomina órbita baja aquella que está comprendida entre 300 y 700km de altitud y es donde se encontraba la estación rusa MIR y donde se encuentra actualmente la Estación Espacial Internacional. Se encuentran a estas distancias para reducir los costes de lanzamiento. Se tienen condiciones de ingravidez. Se puede haber una división entre robots internos y externos según se encuentren dentro de la Estación o los trasbordadores o fuera de ellos.

2.1.1. Robots internos [1]

Dentro de la Estación Espacial y del trasbordador se realizan diferentes experimentos en los que el transporte y manipulación de los diferentes materiales podría ser automatizado mediante el uso de robots. La ESA comenzó el desarrollo de un sistema robótico para el laboratorio europeo de la Estación Espacial Internacional. Dicho proyecto, que finalmente fue abandonado por problemas económicos, constaba de un brazo con 7 grados de libertad que iba montado sobre un sistema cartesiano de 3 ejes.

El principal problema de estos robots es la competencia con los astronautas. Actualmente la NASA está trabajando en una serie de robots denominados Portable Satellite Assistant para su uso en el interior de la Estación Espacial que se comentan a continuación.

Portable Satellite Assistant (PSA) [2, 3, 4]

Se trata de un robot volador de forma esférica que está en fase de desarrollo para ser usado en la Estación Internacional. Tiene un diámetro de 30 cm. y posee 6 grados de libertad. La estimación de la posición y velocidad se realiza mediante el procesamiento de entre uno y cuatro pares de cámaras de visión estereoscópica. Seis ventiladores se encargan de propulsar al robot en los seis grados de libertad.

El robot posee un LCD que le permite mostrar información generada localmente así como recibida vía radio. En la Figura 2.1 se puede ver un dibujo del PSA mostrando los componentes más significativos.

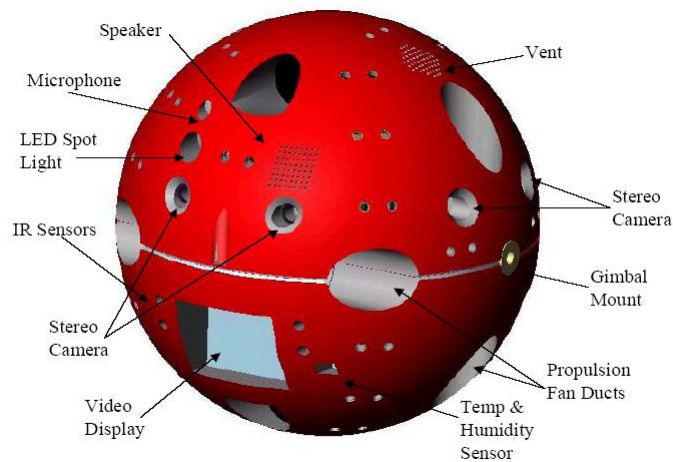


Figura 2.1: Partes del robot PSA.

Para poder probar el robot en la Tierra antes de mandarlo al espacio ha sido necesario desarrollar una herramienta especializada que se muestra en la Figura 2.2. Esta herramienta sujeta al robot en un entorno que es una reproducción del laboratorio americano de la Estación Espacial Internacional, permitiéndole 2 grados de libertad (yaw y pitch). Puede ser usado en diferentes modos uno de los cuales es el que permite reproducir las condiciones

de ingravidez. La herramienta posee una serie de sensores de fuerza que son interpretadas para mover al robot de la forma adecuada de tal forma que es como si el robot flotase permitiéndole moverse a velocidad constante o acelerarle o decelerarle en presencia de fuerzas. Hay que resaltar la dificultad de depuración de estos sistemas al no poder ser probados plenamente hasta que no se encuentran en su lugar de operación.

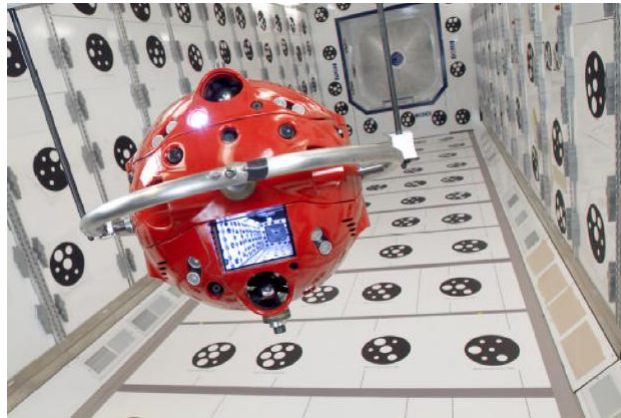


Figura 2.2: Robot PSA y herramienta de test.

El robot esta siendo diseñado para funcionar: en modo completamente autónomo, controlado directamente en posición y velocidad por un humano o bien en un rango intermedio de las dos situaciones anteriores.

Algunas de las funciones del PSA son las siguientes:

Monitorización El robot patrullará las diferentes zonas de la Estación Espacial monitorizando los niveles de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.

Comunicaciones Una de las funciones del robot es de terminal móvil para datos de experimentos y del sistema de la Estación Espacial. El robot posee interfaces de entrada y salida como micrófono, altavoces, display y cámara, permitiendo entre otras cosas videoconferencias.

Ayuda en operaciones remotas Los operadores de Tierra e investigadores principales serán capaces de comunicarse con el robot y llevarle hasta el lugar requerido. Una vez allí y a través de sus sensores podrá monitorizar el estado de diferentes experimentos.

Ayuda a la tripulación El robot proveerá a los astronautas con información útil para sus misiones, tales como estado de la Estación Espacial, planificación de la misión, alarmas, etc.

El PSA se encuentra en fase de desarrollo y aun no ha sido enviado a la Estación Espacial Internacional.

2.1.2. Robots externos

Se trata de robots que realizan sus operaciones fuera de la Estación Espacial o del trasbordador.

Robots en la antigua Estación Espacial Rusa MIR [1]

En la MIR había dos brazos externos para tareas de transporte a lo largo de la estación. Estos carecían de motores y eran teleoperados mediante un brazo maestro acoplado mecánicamente desde el interior de la Estación.

Canadarm [5, 6]

El robot históricamente más importante en cuanto a manipuladores espaciales es *Canadarm* o *Remote Manipulator System*, desarrollado por Canadá por encargo de la NASA para el trasbordador espacial. Se comenzó a diseñar a finales de los años 70. Se utilizó por vez primera en noviembre de 1981, y se ha venido usando hasta la fecha en diferentes misiones espaciales con cuatro replicas del original. Ha servido para el montaje de la Estación Espacial Internacional, para paseos espaciales de los astronautas como en la reparación del telescopio Hubble.

Se trata de un brazo robótico que posee tres articulaciones: hombro (2 grados de libertad), codo (1 grado de libertad) y muñeca (3 grados de libertad); con 6 grados de libertad en total. Su peso es de unos 410 Kg. y es capaz de manejar cargas de hasta 14 toneladas a 0.6m/s que es su máxima velocidad. La carga máxima que puede soportar es de 265 toneladas. La longitud del brazo es de 15 metros. Tiene una precisión de ± 5 cm. y ± 1 grado cuando es controlado de forma automática. También puede ser controlado manualmente por los astronautas con la misma precisión mediante el uso de

dos controladores manuales y dos cámaras de televisión situadas en el codo y en la muñeca. En la Figura 2.3 se puede ver un esquema del brazo.

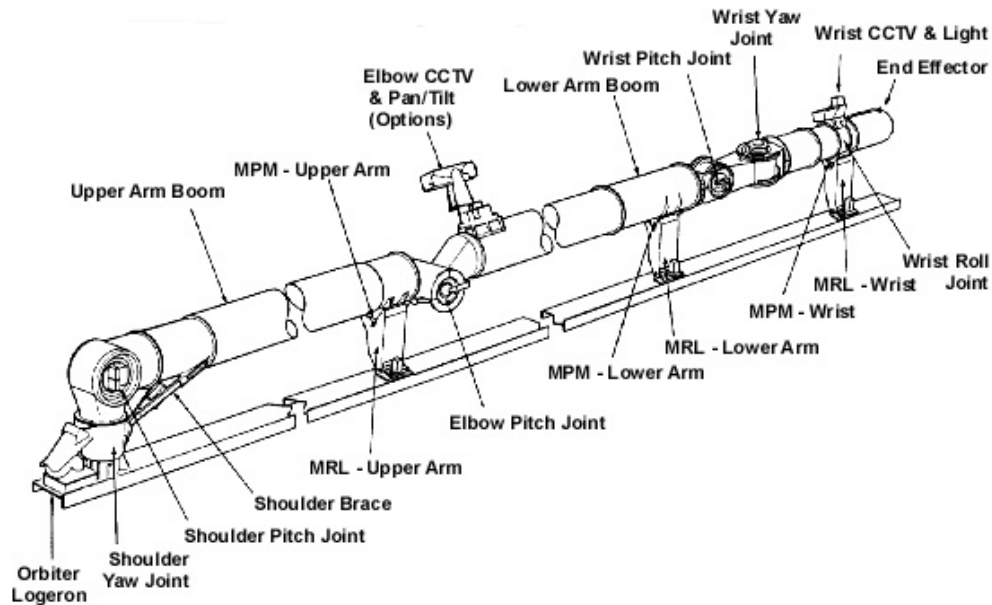


Figura 2.3: Canadarm.

La terminación del Canadarm es un cilindro de 20 cm. de diámetro y 10 cm. de profundidad que le permite mediante un mecanismo acoplarse a las diferentes cargas.

Para mantener el brazo a temperaturas apropiadas este está cubierto por un sistema de aislamiento multicapa en toda su extensión. En caso de condiciones de frío extremo posee unos calentadores resistivos eléctricos que se encuentran junto a las partes mecánicas y electrónicas más críticas del sistema.

Las pruebas de test en la Tierra fueron muy difíciles, el robot no es capaz de sostenerse a si mismo debido a la gravedad. Para ello se construyó un soporte especial de bajo rozamiento, colocandose el robot en un plano paralelo al suelo de tal forma que todos los movimientos se realizasen en éste, tal y como se puede ver en la Figura 2.4. Además se diseñó un simulador especializado.

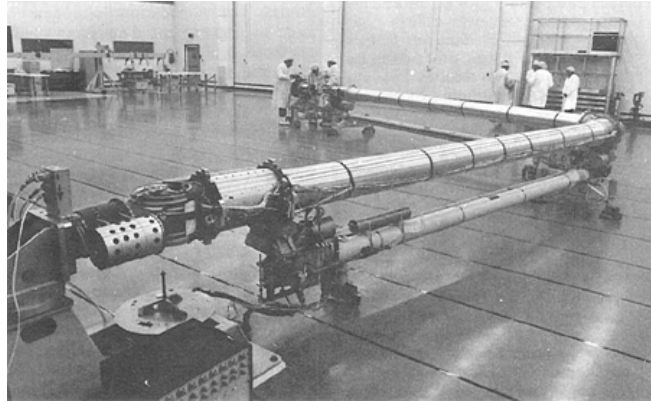


Figura 2.4: Test de Canadarm en la Tierra.

Mobile Servicing System [7]

El Mobile Servicing System es un sistema de transporte y manipulación de la Estación Espacial Internacional desarrollado por la Agencia Espacial Canadiense. Consta de tres módulos: Space Station Remote Manipulator System (Canadarm2), Mobile Base System y Special Purpose Dexterous Manipulator. Este último será instalado en 2007, mientras que los otros dos módulos ya se encuentran funcionando.

Space Station Remote Manipulator System o Canadarm2 es una evolución de Canadarm. La principal diferencia es que el robot puede estar anclado a la Estación o por la *base* o por la *mano*. Esto le permite irse moviendo de unas zonas a otras de la Estación Espacial uniéndose en los distintos puntos de anclaje que ésta dispone. Fue diseñado desde las primeras etapas así porque se vio que sino no iba a ser capaz de abarcar la amplia superficie de la Estación.

Canadarm 2 es más largo (17 metros) y pesado (1664 Kg.) que Canadarm y puede manejar cargas de 116 toneladas lo que le permite mover el trasbordador espacial y acercarlo a la Estación. Tiene además un sistema de visión que le permite la captura automática de cargas, así como un sistema automático anticolidión. Posee 4 cámaras en lugar de las 2 de su predecesor. Posee 7 grados de libertad en lugar de 6. Otra diferencia importante es que Canadarm2 no va a volver a la Tierra por lo que posibles modificaciones o reparaciones deberán realizarse en órbita.

El Mobile Base System es una estructura móvil a la cual se puede fijar Canadarm2 para moverse a lo largo de su recorrido que constituye todo el

ancho de la Estación Espacial.

El conjunto Canadarm2 junto con el rail móvil permite ensamblar y reparar la Estación Espacial Internacional. En la Figura 2.5 se puede ver a ambos.



Figura 2.5: Canadarm2 unido al Mobile Base System.

El Special Purpose Dexterous Manipulator, Dextre en adelante, es una herramienta muy importante para el mantenimiento de la Estación. Se trata de un robot con dos brazos capaz de realizar delicadas tareas de ensamblado de tal forma que puede sustituir a los astronautas en los peligrosos paseos espaciales. Aunque aun no está instalado en órbita, estará equipado con luces y cuatro porta herramientas. Puede estar unido a uno de los extremos de Canadarm2 o directamente al Mobile Base System. Será manejado por los astronautas desde dentro de la Estación y observado a través de diferentes cámaras.

Dextre tiene apariencia de cuerpo humano con una parte superior que puede girar por la cintura y dos hombros de los que salen ambos brazos. Esos brazos terminan en una pinza que permite agarrar los objetos. En total consta de 15 grados de libertad. Sólo uno de los brazos se puede mover a la vez, esto evita que ambos choquen. Además el brazo que está inmóvil permanece agarrado a la estructura de la Estación Espacial de forma que da más estabilidad al robot. En la Figura 2.6 se puede ver un esquema de Dextre.

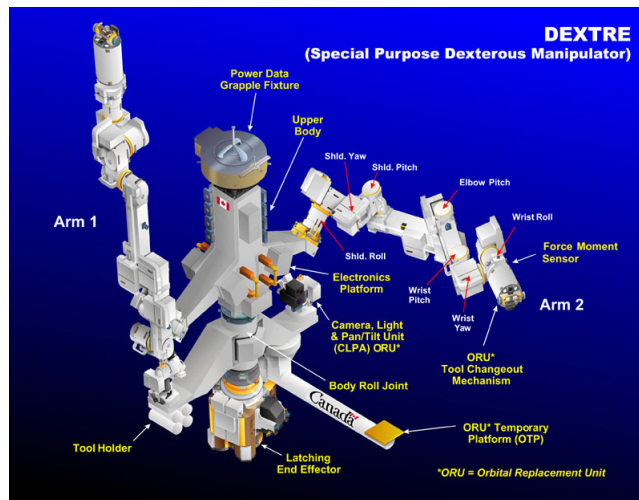


Figura 2.6: Dextre.

European Robotic Arm (ERA) [8]

Se trata de un brazo diseñado por la ESA para la parte rusa de la Estación Espacial Internacional. Al igual que Canadarm2 ambos extremos pueden actuar como mano o como base. Posee un codo y dos muñecas con un total de 7 grados de libertad. Como se puede ver un esquema en la Figura 2.7 es completamente simétrico.

Puede actuar como herramienta para la instalación y mantenimiento de diferentes unidades de la parte rusa de la Estación y ayuda en los paseos espaciales a los cosmonautas. Está planificado su lanzamiento para noviembre de 2007. Pude ser teleoperado tanto desde el interior de la estación a través de un ordenador o desde fuera con un interfaz especial.

Tiene una longitud de 11.3 metros, una precisión de 3 mm. Pesa 630kg y es capaz de soportar cargas de hasta 8 toneladas.

Robonaut [9]

Robonaut es un robot humanoide diseñado por la NASA en colaboración con DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). El objetivo del robot es funcionar a semejanza de un astronauta a la hora de realizar paseos espaciales, en tareas que no hayan sido diseñadas específicamente para robots.



Figura 2.7: ERA.

Necesita que un astronauta lo teleopere a través de realimentación mediante numerosos sensores. El robot posee un cuerpo, dos brazos con sus respectivas manos y dedos y una cabeza, muy semejantes al aspecto de un humano, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.8. Los sensores utilizados son térmicos, de posición, táctiles, de fuerza, de torque, hasta un total de 150 por brazo.

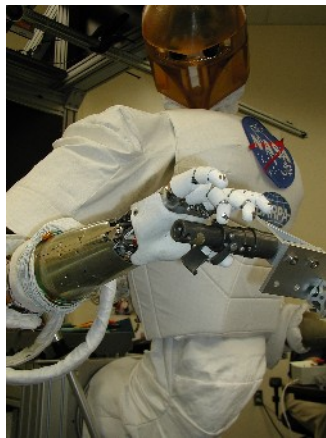


Figura 2.8: Robonaut.

El paso inicial a la hora de diseñar el robot fue ver que tipo de herramientas utilizan los astronautas en los paseos espaciales, para llegar a desarrollar una mano con dedos y un brazo a semejanza de los humanos con incluso más rango de movimientos. Otras limitaciones en el diseño vienen dadas por el tamaño de los pasillos de acceso al exterior, que están diseñados para los astronautas.

Históricamente se han diseñado diversas pinzas para la manipulación en el espacio, pero nunca una con tanta destreza como ésta para su utilización en el exterior, y tan similar a la mano de un astronauta. Tanto la mano como la muñeca fueron dimensionadas para poder llegar a los niveles de fuerza realizados por un astronauta cuando realiza tareas en el exterior. Los diferentes materiales que forman la mano son tolerantes a los cambios bruscos de temperatura que se producen en el exterior. Además los motores utilizados son sin escobillas para una mayor duración en el vacío. Cada mano tiene un total de 14 grados de libertad. Esto da una idea de la complejidad de ésta ya que debe alojar en su interior 14 motores, 12 tarjetas electrónicas y todo el cableado. En la Figura 2.9 se puede ver una foto de la mano y un esquema de ésta.

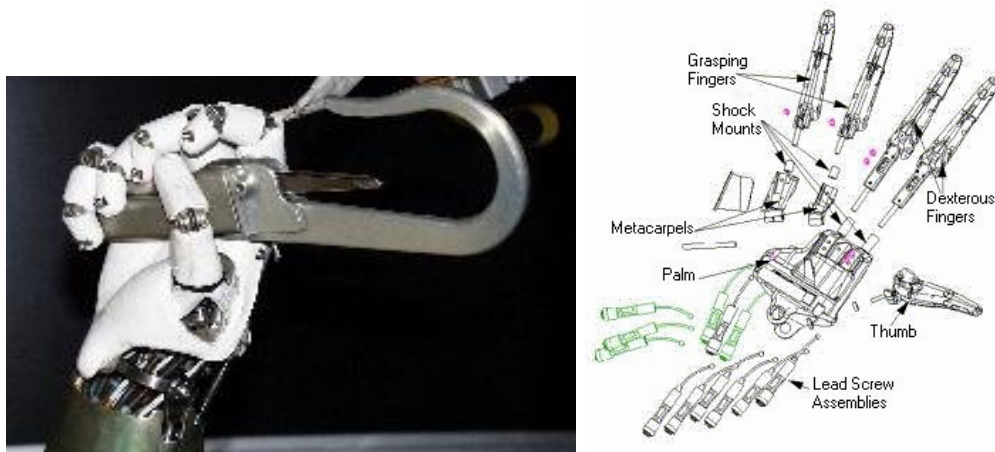


Figura 2.9: Mano de Robonaut.

La cabeza del robot tiene dos cámaras que permiten visión estereoscópica y un cuello con dos grados de libertad.

Robonaut posee dos brazos que han sido diseñados para ser equivalentes a los humanos en fuerza, destreza y tamaño y además poder funcionar en las extremas condiciones del espacio. El esqueleto del brazo contiene los motores especiales para funcionamiento en vacío, frenos de seguridad y 16 sensores por cada articulación. Para una mayor integración los encoders, sensores de posicionamiento angular, etc. han sido desarrollados específicamente a medida para la aplicación. El brazo está cubierto por una serie de capas sintéticas a modo de piel que le protegen de los cambios bruscos de temperatura. En experimentos se ha probado con éxito en una cámara de vacío con variaciones de temperatura de entre -25°C y $+105^{\circ}\text{C}$.

El sistema completo posee 47 grados de libertad que deben ser controlados de forma segura y en tiempo real. Su control debe ser directamente teleoperado, control compartido o completamente autónomo. Para ello se están utilizando teorías de control avanzado en áreas como el agarre, control de fuerza, control inteligente y control compartido. El sistema de control está construido en forma de submódulos. Cada submódulo posee sus propios controladores, sistemas de seguridad, inteligencia de bajo nivel, etc. Cada submódulos interacciona con los demás y además pueden ser agrupados de forma jerárquica de forma que algunos de ellos realizan tareas de alto nivel y otros de bajo.

A la hora de teleoperar el robot el operador debe controlar más de cuarenta grados de libertad y el uso de los clásicos controladores manuales lo haría realmente muy complejo. Debido a que el Robonaut es antropomórfico parece lógico controlarlo mediante una copia de los movimientos del operador que son trasladados al robot. El sistema usado por el operador es similar al de los sistemas de realidad virtual: un casco con visión estereo, guantes con realimentación de fuerza y de tacto, y estimadores de posición. A través de la visión estereo del casco el operador ve lo mismo que el robot percibe a través de sus cámaras situadas en la cabeza. La posición de los dedos del teleoperador es medida a través de sensores de posición en el guante, de tal manera que las tareas de manipulación son tan intuitivas como hacerlas de forma real con las manos. Además la fuerza es realimentada desde los dedos del robot a través una serie de sensores, hasta el guante del teleoperador que posee un exoesqueleto

Una de las funciones de visión artificial que posee el robot es el tracking del objeto más cercano. Esto puede ser de gran utilidad en tareas de manipulación de objetos ya que el robot mirará siempre al objeto más cercano que será aquel en el que se realizarán las diferentes operaciones. Las imágenes de ambas cámaras son pasadas a través de un filtro paso banda que enfatiza los bordes. Después se realiza una correlación entre los puntos característicos de ambas imágenes y se calculan las profundidades.

Robonaut está aun en fase de desarrollo y aun no ha sido puesto en órbita.

2.2. Robots Exploradores

Los robots exploradores han sido usados en misiones a Marte y la Luna por las agencias soviética y americana para recabar datos de estos lugares.

El objetivo es hacer aterrizar una nave que contiene un robot móvil con instrumental de medida y sensado y que explorará el lugar con mayor o menor grado de autonomía.

2.2.1. Exploradores lunares Lunokhod 1 y 2 [10, 11, 12]

Se trata de dos robots móviles exploradores enviados por la Unión Soviética en otoño de 1970 y enero de 1973. Lunokhod 1 poseía 8 ruedas con 8 motores controlados independientemente, 2 antenas para comunicaciones, 4 cámaras de televisión y dispositivos especiales para la prospección del suelo lunar y realización de determinadas medidas. Medía 2.22 m. de largo por 1.60 m. de ancho y tenía un peso de 756 kg. En la Figura 2.10 se puede ver una imagen de éste.

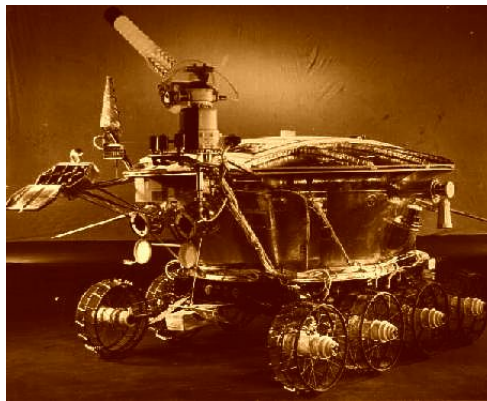


Figura 2.10: Lunokhod 1.

El robot era teleoperado desde la URSS por 5 personas. El tiempo esperado de duración de la misión era de 3 meses y finalmente el robot estuvo funcionando durante 11, recorriendo más de 10km en total, enviando más de 20000 imágenes de televisión y realizando más de 500 tests del suelo lunar.

Lunokhod 2 era una mejora de Lunokhod 1.

2.2.2. Rovers Spirit y Opportunity [13, 14]

Los robots gemelos Spirit y Opportunity llevan funcionando en Marte desde enero de 2004 y hasta el momento, como laboratorios geológicos móviles. Poseen diferentes herramientas para estudiar la superficie rocosa de Marte.

Se diferencian en varios aspectos de su único predecesor el Sojourner, que estuvo funcionando en Marte durante los meses de julio, agosto y septiembre de 1997. El Sojourner medía 65 cm. de largo y pesaba 10 Kg., mientras que los rovers gemelos miden 1.6 m y pesan 174 Kg. cada uno. Sojourner viajó una distancia total de unos 150 m mientras que Spirit y Opportunity han viajado ya varios kilómetros. Además las comunicaciones de Sojourner con la Tierra se realizaban mediante una base fija, mientras que Spirit y Opportunity llevan los sistemas de comunicaciones abordo.

Los materiales usados en la estructura principal del robot han sido específicamente diseñados para éste y tienen grandes propiedades aislantes. En la parte superior del robot se encuentran tres antenas, un mástil para una cámara y paneles solares, tal y como se puede ver en la Figura 2.11. Los paneles solares se encontraban plegados para ocupar menos espacio y fueron desplegados una vez que el robot amartizó, disponiendo de una superficie total de 1.3 metros cuadrados de células solares de triple capa. Pueden producir alrededor de 900 vatios hora por cada día marciano, aunque dicho valor va decreciendo por la deposición de polvos sobre los paneles. Se encargan de recargar continuamente dos baterías de ion de litio que se encuentran en el interior del robot.

Cada robot posee seis ruedas motrices y un sistema de suspensión basado en articulaciones en lugar de muelles. Éste permite al robot superar obstáculos mayores que el diámetro de la rueda (26 cm.). El robot puede girar sobre si mismo o con diferentes arcos.

Aunque cada robot es teleoperado desde la tierra, debido a los grandes retardos en las comunicaciones debe poseer cierto grado de autonomía. Tiene un software de navegación y de evitación de obstáculos que le permite llegar al destino dado desde la tierra, con unos pocos comandos, trazando su propia ruta. Se pueden mover hasta 5 cm./seg. en suelo duro y plano, pero en modo automático y con evitación de obstáculos tiene una media de velocidad de 1cm/seg.

Para la navegación se utilizan imágenes estereo. A partir de éstas se genera un mapa tridimensional del entorno. Se determina en función de la densidad y de la altura de las rocas y rugosidad del terreno si la zona es transitable y segura. Docenas de posibles caminos son considerados antes de que el rover elija el más seguro y corto al punto de destino que ha sido fijado desde la Tierra. El robot se mueve entre medio metro y dos metros y se para para volver a recalcular la ruta. [15]

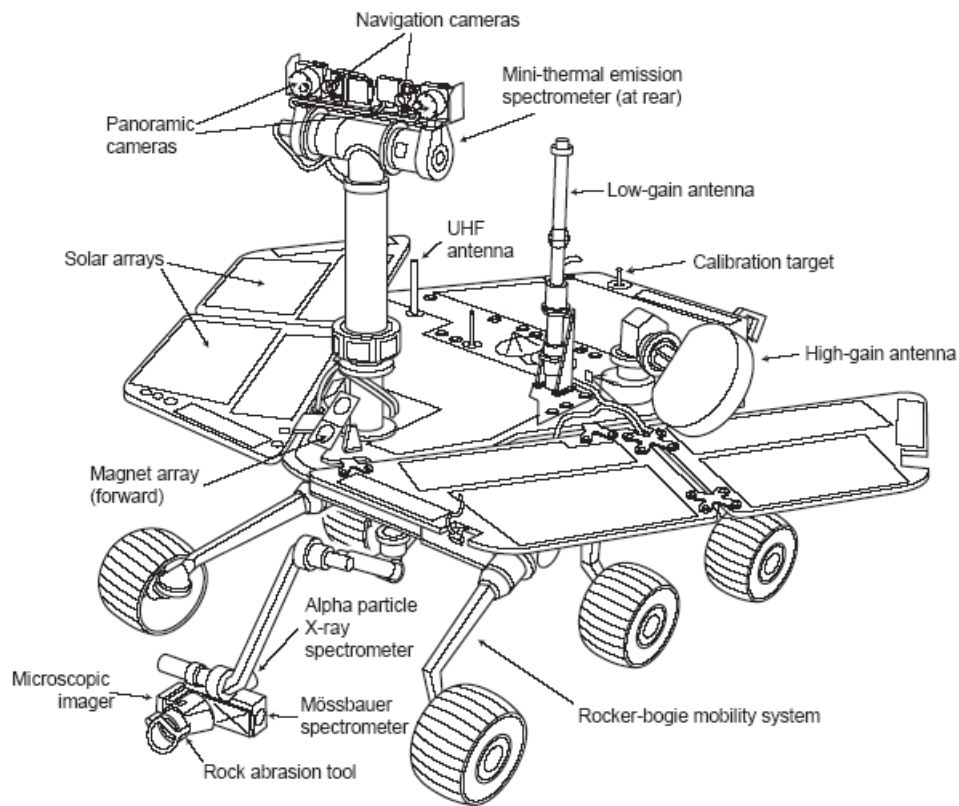


Figura 2.11: Esquema de un Mars Exploration Rover.

Dos pares de cámaras estereo para la identificación de peligros se encuentran montadas en la parte baja del robot tanto delante como atrás. Además de ayudar para la navegación automática la cámara delantera realimenta lo que el brazo esta haciendo. El robot dispone de dos cámaras más situadas en el mástil, una de ellas panorámica y con fines científicos. El mástil se puede ampliar como un periscopio y posee un espectrómetro térmico en miniatura como instrumento científico.

El resto de los instrumentos científicos se encuentran al final del brazo que se encuentra pegado al robot cuando este se mueve y que se mueve cuando el robot esta parado y debe examinar alguna roca o zona del suelo marciano.

Las baterías y otros componentes que no pueden sobrevivir al frío de Marte se encuentra en el interior del robot en la llamada *caja electrónica caliente*. Las temperaturas de la noche marciana bajan hasta los -105°C y las baterías deben mantenerse por encima de -20°C cuando dan corriente y

por encima de 0°C cuando son recargadas. El calor dentro de esta caja viene dado por calentadores eléctricos y por la energía disipada por los componentes electrónicos.

El ordenador de cada rover tiene un microprocesador de 32 bits llamado Rad 6000, que es una versión espacial preparada para la radiación de los PowerPC usada en los Macintosh, funcionando a 20 MIPS. Tiene 128 MB de RAM y 256 MB de memoria Flash que le permiten guardar información sin necesidad de energía.

Debido a que las ruedas resbalan en la arena no se puede hacer una buena estimación odométrica partir de la información de su movimiento. Por ello los MER poseen un sistema visual de odometría. Funciona comparando la imágenes tridimensionales tomadas después de un pequeño desplazamiento, identificando diversas características del terreno como por ejemplo rocas, huellas del rover, dunas, etc. [15]

Los robots que llevan funcionando más de un año han dado pruebas para suponer que con mucha seguridad hubo agua en Marte en un pasado, cuestión de gran relevancia en la misión que éstos tienen en Marte.

2.2.3. Autonomous NanoTechnology Swarm [16]

El proyecto Autonomous NanoTechnology Swarm (ANTS) tiene como objetivo el diseño de un robot modular para ser enviado en exploraciones espaciales. Cada módulo del robot consiste en una estructura con forma de tetraedro en la que los vértices pueden cambiar sus ángulos y los lados su longitud. El robot estará formado por acumulación de estos módulos y debido a la flexibilidad de estos podrá adoptar diferentes formas y movimientos.

Por el momento hay construido un prototipo de un módulo pero a tamaño mucho mayor que el que se pretende para el sistema completo. Dicho prototipo consiste en un tetraedro con motores en los vértices y lados que pueden cambiar de tamaño mediante un sistema telescópico. En la Figura 2.12 se puede ver dicho prototipo que es denominado TETwalker, que ha sido ya probado con éxito en zonas de características similares a las de Marte.

El objetivo es hacer cada módulo mucho más pequeño, por ejemplo utilizando micro y nano sistemas electromecánicos en lugar de los motores que se utilizan en el prototipo actual. Así los microrobots tetraédricos se unirían formando un conjunto que tendría multitud de ventajas con respecto a los



Figura 2.12: TETwalker.

robots actuales. Podría adoptar una forma aerodinámica a la hora de entrar en la atmósfera de un planeta para luego adoptar forma de serpiente y desplazarse. Otra ventaja es que si uno de los módulos es dañado podría desconectarse y dejarse fuera del sistema. Gracias a esta redundancia el sistema al completo sería mucho más tolerante a fallos que los robots actuales.

Se están realizando investigaciones en inteligencia artificial para hacer los robots se muevan, naveguen, etc. como un todo.

Bibliografía

- [1] P. Putz, *Space robotics in Europe: A survey*, Robotics & Autonomous Systems 23, Elsevier, 1998.
- [2] Web oficial del proyecto PSA.
URL: <http://ic.arc.nasa.gov/projects/psa/overview.html>
- [3] Gregory A. Dorais, Keith Nicewarner, *Adjustably Autonomous Multi-agent Plan Execution with an Internal Spacecraft Free-Flying Robot Prototype*.
- [4] Yuri Gawdiak, *R2D2 in a Softball: The Portable Satellite Assistant*.
- [5] Web de la Agencia Espacial Canadiense sobre Canadarm
URL: <http://www.space.gc.ca/asc/eng/exploration/canadarm/>
- [6] Información de IEEE Canda sobre Canadarm.
URL: http://ieee.ca/millennium/canadarm/canadarm_technical.html
URL: http://ieee.ca/millennium/canadarm/canadarm_floor.html
- [7] Web de la Agencia Espacial Canadiense sobre Mobile Servicing System
URL: <http://www.space.gc.ca/asc/eng/iss/mss.asp>
- [8] Información de la ESA sobre ERA.
URL: http://www.esa.int/esaHS/ESAQEI0VMOC_iss_0.html
- [9] Web oficial del proyecto Robonaut. URL: <http://robonaut.jsc.nasa.gov/>
- [10] Información de la NASA sobre Lunokhod.
URL: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1970-095A.html>
- [11] Información de la NASA sobre Lunokhod.
URL: <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap990109.html>

- [12] Otra información sobre Lunokhod.
URL: <http://www.astromia.com/glosario/lunokhod.htm>
- [13] Web oficial de los Mars Exploration Rovers.
URL: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/home/index.html>
- [14] Mars Exploration Rover Landings Press Kit. NASA. Enero de 2005.
URL: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/merlandings.pdf>
- [15] Artículo de JPL sobre la movilidad de los Mars Exploration Rovers.
URL: [http://marsrovers.jpl.nasa.gov/technology/
is_autonomous_mobility.html](http://marsrovers.jpl.nasa.gov/technology/is_autonomous_mobility.html)
- [16] Web oficial del proyecto ANTS. URL: <http://ants.gsfc.nasa.gov/>