

Marte en la Tierra

Jesús Manuel Sobrado Vallecillo



MINISTERIO DE DEFENSA



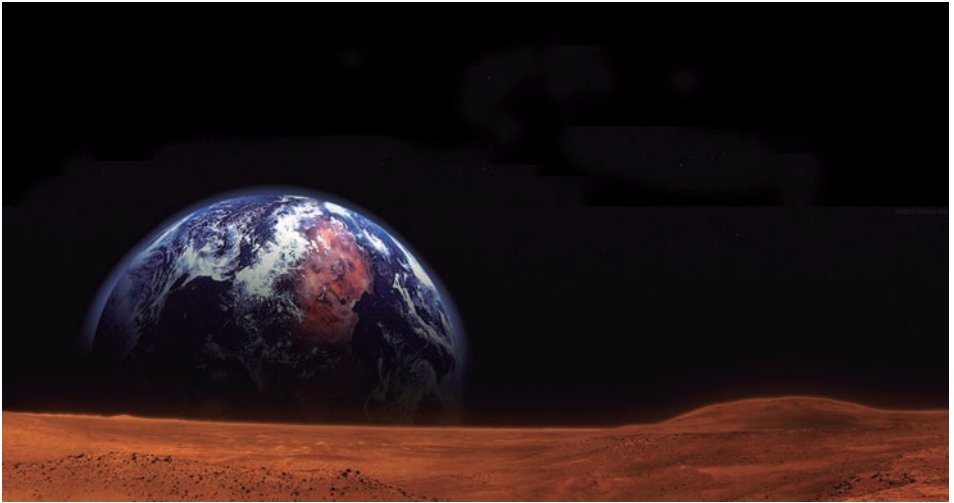
Jesús Manuel Sobrado Vallecillo es doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid. Inicia su carrera profesional en el año 2000 en INDRA Sistemas SA. En el 2003 entra en el Centro de Astrobiología (CAB), centro de investigación mixto que depende del INTA (*Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial*) y del CSIC (*Consejo Superior de Investigaciones Científicas*). Pertenece a la escala de Científicos Superiores de la Defensa. Desde 2009 es el coordinador del laboratorio de simulación de ambientes planetarios y microscopía.

Su área de especialización profesional se enmarca dentro de la ciencia y tecnología del vacío, la simulación espacial y la instrumentación. Los proyectos en los que participa son de gran desarrollo tecnológico asociado a objetivos científicos relevantes. Es el diseñador principal de la cámara de simulación marciana conocida como MARTE que constituye el simulador más completo actualmente para emular la atmósfera del planeta rojo. Con esta cámara se han probado algunos de los modelos de ingeniería de la estación meteorológica REMS (*Rover Environmental Monitoring Station*) de la misión MSL (*Mars Science Laboratory*) de la NASA (*National Aeronautics Space Administration*) a bordo del rover «Curiosity». La cámara MARTE continúa siendo un referente tecnológico como sistema de pruebas en los proyectos de instrumentación que se desarrollan en el CAB como MEDA (*Mars Environmental Dynamics Analyzer*) o SOLID (*Signs Of Live Detector*).

Actualmente forma parte del equipo de diseño y desarrollo del sistema de vacío «StarDust» dentro del proyecto NANO-COSMOS (*Gas and dust from the Stars to the Laboratory: Exploring the Nanocosmos*; ERC Synergy-Grant), que permitirá estudiar en el laboratorio la formación de polvo estelar, simulando la evolución de una gigante roja.

Su compromiso de desarrollo tecnológico tiene un componente transdisciplinar con el resto de áreas científicas del CAB, especialmente en el área de evolución molecular. Del fruto de este trabajo se diseñó un sistema de inyección de líquidos en vacío, permitiendo la coexistencia de estos dos mundos aparentemente opuestos. El resultado es un acuerdo de cesión de tecnología entre el CSIC, el INTA y la empresa Bihurcrystal SL, con el objetivo de desarrollar un producto comercial para la implantación de esta tecnología en laboratorios y empresas de biotecnología.

Continúa su investigación con un marcado enfoque tecnológico en la recreación de entornos extremos asociados al estudio de habitabilidad en distintos objetos planetarios de interés astrobiológico. (Currículum en la URL: www.txus.es).



Marte en la Tierra

Jesús Manuel Sobrado Vallecillo

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas»

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
<https://publicacionesoficiales.boe.es>



Los derechos de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. No podrá ser reproducida por medio alguno, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, sin permiso previo de los titulares del © Copyright.

© Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» (INTA)

Edita:



NIPO:

Impreso: 078-16-001-8

En línea: 078-16-002-3

ISBN: 978-84-938932-6-2

Depósito Legal: M-34118-2016

Diseño y Arte: Vicente Aparisi

Tirada: 150 ejemplares

Fecha de edición: Octubre 2016

Imprime: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado.



Todo lo que puedas imaginar es real

Pablo Picasso

good engineering takes time

El diseño en ingeniería es el uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, máquina o sistema que ejecute funciones específicas con el máximo de economía y eficiencia.

Rafael Cañadas Martínez

*A Marta,
Jesús y Carla*

Índice

Prólogo	11
Presentación y agradecimientos	13
Capítulo 1. Resumen	15
1.1 Hipótesis y organización del libro	16
Capítulo 2. Introducción a la simulación planetaria	19
2.1 El laboratorio de simulación de ambientes planetarios (LSAP).....	26
Capítulo 3. Vacío e instrumentación	33
3.1 Introducción al vacío	33
3.2 Instrumentación	37
3.2.1 Espectrómetro de masas cuadrupolar en radio frecuencia	37
3.2.2 Medidores de vacío	41
3.2.3 Bomba de vacío rotativa	46
3.2.4 Fuente ultravioleta de deuterio	47
3.2.5 Dispositivos para medir temperatura y humedad ambiental en sistemas de vacío	48
3.2.6 Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) de la temperatura y la presión.	52
Capítulo 4. MARTE	55
4.1 MARTE. Sistema de simulación planetaria.	55
4.1.1 Tapa inferior	58
4.1.2 Portamuestras.....	60
4.1.3. Cuerpo fijo	62
4.1.4. Cuerpo móvil	65
4.1.5. Tapa superior	67
4.1.6. Cámara del polvo	68
4.1.7. Configuraciones modulares de MARTE	70

Capítulo 5. Simulación de atmósferas planetarias. Marte	73
5.1 El planeta Marte y su atmósfera	73
5.2 MARTE	77
5.2.1 Presión	78
5.2.2 Composición de gases	82
5.2.3 Temperatura	82
5.2.4 Generación de polvo	87
5.2.5 Radiación solar ultravioleta.....	96
5.3 Estación meteorológica REMS de la misión MSL de NASA.....	97
5.3.1 Sensor de temperatura del aire (ATS)	100
5.3.2 Sensor de presión	108
5.3.3. Sensor de radiación ultravioleta	119
5.4 Composición gaseosa en MARTE en función de la temperatura	131
5.4.1 Atmósfera de MARTE con control dinámico de la presión	132
5.4.2 Atmósfera de MARTE en estático	139
5.5. Conclusiones.....	141
Capítulo 6. Futuro de MARTE	143
Capítulo 7. Anexos	145
7.1. Instrumentación virtual con LabView®	145
7.1.2. Instrumentación en MARTE	145
7.2. Diseño CAD en 3D. Reglas para el diseño de instrumentación.	148
7.3. Reducción microbiana por calor seco (DHMR).	152
7.4. Instrumentación específica sobre búsqueda de biomarcadores en ambientes espaciales, SOLID.	155
7.5. Premio	158
7.6 Tabla de Acrónimos	159
Capítulo 8. Bibliografía	161

Prólogo

La curiosidad es el principal motor de la ciencia. Un motor que viene operando desde los albores de la humanidad y que su funcionamiento ha dado lugar a la tecnología. Parece que fueron los astrónomos egipcios, ya en el segundo milenio antes de Cristo, los primeros que observaron e intentaron describir los movimientos de los planetas y en particular los de Marte. Después vinieron los astrónomos de Babilonia, sucedidos por los griegos, chinos e indios, y todos ellos quisieron comprender el baile de este planeta en el firmamento, que cada dos años parecía estar muy cerca de la Tierra.

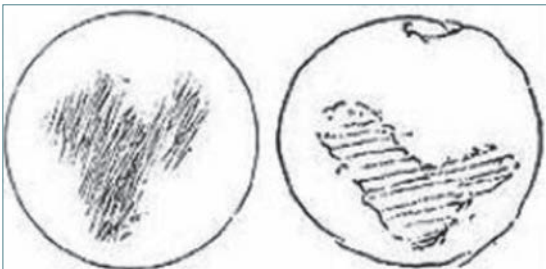
Este compañero errante no pudo verse de cerca hasta 1610 cuando Galileo Galilei lo enfocó con su recién inventado telescopio. Fue la primera persona, que de una manera muy particular, quiso acercarlo a la Tierra. Estos intentos por alcanzar al que los romanos llamaron dios de la guerra fueron perfeccionándose hasta que Huygens, unos años más tarde, dibujó el primer mapa de Marte donde se distinguía la presencia de los polos (ver figura). Marte seguía, a través del conocimiento y la ciencia, «aproximándose» a la Tierra, y se hacía de forma más decidida, patrimonio de todos. Desde entonces, a medida que avanzaba la tecnología, la manera de aproximar Marte a la Tierra fue cambiando y perfeccionándose. En el siglo XIX se vieron sus canales, y la humanidad no contenta con estas retratos a distancia se propuso arrimarse para fotografiarlo de cerca. Esto se consiguió por primera vez en 1964, con la sonda Mariner 4, y desde entonces el número de misiones espaciales que se acercaron a fotografiar el planeta ha sido enorme, hasta el punto que actualmente se dispone de una cartografía marciana muy detallada. Pero no era suficiente. No bastaban las fotos o los análisis de su atmósfera, hacía falta un poco más. Había que bajar a su superficie para, a través de robots, tocarlo y enviarnos a la Tierra esas sensaciones en forma de espectros, números y fotos. El primero que lo hizo fue el Viking 1, un módulo que en 1975 consiguió posarse sobre su superficie y enviarnos las primeras fotografías de ese paisaje rojizo y desolado. Y luego llegaron otros vehículos que han continuado acercándonos Marte a la Tierra. Si uno mira la historia, y es consciente de que todo viaje que pueda realizarse, el hombre acaba realizándolo, parece obvio que la humanidad no va a conformarse con información que envíen robots, y querrá que uno de los suyos pueda «tocar» con sus manos la superficie marciana.

Las misiones que se han realizado a Marte y las que vendrán, han pasado a ser algo a lo que nos hemos acostumbrado, y las fotografías de los paisajes y atardeceres en el planeta rojo han dejado de sorprendernos. Sin embargo, detrás de cada una de ellas, se esconde un gran desarrollo tecnológico y muchos años de preparación. Fotos, como las que nos envía Curiosity y podemos ver en la página web de la NASA, llevan asociadas 10 años de trabajo previos al lanzamiento y una inversión de unos 3000 millones de dólares. Una misión espacial es un reto tecnológico en el que no se puede fallar. Este es el primer factor por el que los equipos que diseñan estas misiones quieren disponer de entornos bien controlados donde reproducir las características físicas más importantes del planeta;

las que se va a encontrar la instrumentación espacial una vez que llegue allí, de manera que puedan realizar previamente pruebas con ellas en un entorno controlado. Una cámara de simulación debe de reproducir, por tanto, las condiciones más importantes como la presión, composición de la atmósfera, radiación solar o temperatura.

Pero no solo se trata de disponer de un entorno para probar instrumentación. También son un lugar donde experimentar procesos, reacciones químicas, que puedan pasar en otro planeta; donde comprobar o refutar ideas, corroborar modelos científicos basados en datos reales. En definitiva, un sistema que nos permite acercarnos a las verdaderas condiciones marcianas, y por tanto una manera diferente de poder aprender sobre Marte.

De esto habla este libro, que es parte de la tesis doctoral de Jesús Sobrado Vallecillo y del que se han extraído publicaciones científicas internacionales, de cómo utilizando la imaginación y buscando soluciones tecnológicas simples basadas en tecnología de vacío podemos tener, en el INTA (Madrid), tal vez la cámara de simulación más completa que exista en la Tierra para controlar las condiciones de Marte. Esta máquina, y todo el trabajo que ha llevado de diseño, puesta a punto e instalación, acerca a la humanidad a realizar un sueño que comenzó en Egipto hace 4000 años, el de conocer de cerca a ese bailarín errante del firmamento que llamamos planeta rojo.



Dibujo realizado por Huygens. El primer mapa que se hizo del planeta Marte en 1659. ■

José Ángel Martín Gago

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM) del CSIC.

Presentación y Agradecimientos

Estimado lector, tienes en tus manos el fruto de muchos años de trabajo en el laboratorio de simulación de ambientes planetarios del Centro de Astrobiología. El texto es una recopilación de conceptos, teoría y experimentos realizados con un sistema de simulación único en su género. Básicamente es una de las dos partes de mi tesis doctoral «*Diseño e implementación de instrumentación científica basada en tecnología de vacío*». La otra parte de la tesis doctoral es también un desarrollo instrumental en vacío, pero con un enfoque más alejado de la simulación y por tanto no forma parte del principal objetivo de este libro, que es la simulación planetaria y más concretamente la simulación del planeta Marte.

El título escogido recoge el concepto fundamental del libro: la simulación. Simular es captar la esencia de un sistema (en nuestro caso la atmósfera de un planeta) y ser capaz de recrearlo en un entorno de laboratorio, donde obviamente las condiciones físicas son muy distintas. De este modo podremos estudiar su dinámica y evolución teniendo en cuenta las restricciones de nuestro sistema experimental. En nuestro caso simulamos la atmósfera del planeta Marte. Para conseguir esto nos apoyamos de la tecnología de vacío y haciendo uso del ingenio construimos máquinas e instrumentos que nos permiten alcanzar nuestro objetivo.

Agradezco en primer lugar a mi director de tesis y responsable científico del laboratorio de simulación (LSAP) José Ángel Martín Gago el resultado final del texto que posee entre manos. Él me abrió las puertas para poder desarrollarme profesionalmente en el área en la que se encuentra enmarcado este libro, que es la ciencia e ingeniería del vacío. Debo de agradecerle a él, con gran afecto, el fruto de este trabajo por su dedicación, dirección y en momentos clave, su pasión por la ciencia. También a los miembros del tribunal de tesis, Celia Rogero, Pablo Fajardo, Gustavo Ceballos, Daniel Granados y Leonardo Soriano, por los comentarios y críticas realizadas durante la defensa de la tesis.

La cámara MARTE financiada principalmente a través del proyecto REMS, ha permitido que España envíe por primera vez un instrumento al planeta Marte. Este proyecto nos integró en el departamento de Instrumentación y ha sido nexo de unión con líneas de desarrollo instrumental espacial. También me ha permitido trabajar con personas excepcionales a las que siempre les estaré agradecido. Es el caso de Javier Martín Soler, con el que trabaje estrechamente en el desarrollo de la cámara MARTE y en la integración del sistema de polvo y que realizo la primera optimización del software de control y adquisición. Con Ricardo Ferrándiz, siempre dispuesto, con unas capacidades mecánicas y visión espacial sorprendentes, a la par que eficaz. Con Juan Manuel Manchado, que le dedicó parte de su tiempo mientras trabajaba en el SOLID en la cámara MARTE a mejorar el software de la máquina. Con Eduardo Sebastián, por sus preguntas concienzudas, que me han hecho reflexionar sobre detalles que parecían irrelevantes. Con Julio Romeral, que es capaz de aportar datos en

tiempo real sobre cualquier tema. Con Carlos Armiens, que cuestionaba cualquier conclusión hasta la incertidumbre. También al Jefe del departamento, José Antonio Rodríguez Manfredi, por escuchar nuestras necesidades en el trabajo. No me olvido de la empresa Tecnovac, que fue la que finalmente construyó la máquina en los talleres de Maques SL. Especialmente agradezco a Cesar Atienza y a German Dorado su aportación y soluciones de mercado para llegar a cubrir todas las especificaciones requeridas dentro del presupuesto disponible. A Andrés Buendía de la UAM, con el que se diseñó el criostato de la máquina.

Posteriormente ha habido otros proyectos que nos han permitido ir realizando mejoras en la máquina MARTE y equipando el laboratorio con componentes de vacío, que hemos empleado para realizar otros protocolos relacionados con el espacio. Gracias al proyecto de protección planetaria de Carlos Briones y con la colaboración de Jorge Pla, adaptamos la cámara MARTE para cumplir el protocolo de descontaminación biológica (DHMR) de la ESA. También con el proyecto SOLID de Víctor Parro, realizamos mejoras en el control de temperatura del portamuestras y realizamos adaptaciones mecánicas para muestras más grandes como las del instrumento SOLID.

Quiero agradecer a mis compañeros del CAB y especialmente a los del laboratorio de Simulación y al grupo ESISNA del Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid, que han dejado su tiempo y su esfuerzo en el laboratorio. Gracias a ellos, a sus preguntas y a sus necesidades en el día a día he ido adquiriendo cada vez más conocimientos en el laboratorio.

A Enrique Gómez por el interés demostrado en la publicación de la tesis doctoral en un formato adecuado dentro del contexto de innovación tecnológica que se desarrolla en el INTA.

Por último y con mucho cariño a Marta, que ha hecho todo lo posible para que pudiera dedicar tiempo a terminar este trabajo.

Gracias.

Madrid, septiembre del 2016

Capítulo 1.

Resumen

Las ideas que tenemos del universo en su conjunto y de los elementos que lo forman como son las estrellas, planetas, cometas, asteroides y otros cuerpos del sistema solar han provenidos de cuatro formas de estudio distintas pero que entrelazadas aportan todo el conocimiento que poseemos. La primera es la construcción de teorías físicas. La segunda forma de estudio proviene de aproximaciones o modelos matemáticos que permiten la comprobación de hipótesis. La tercera debida a la observación desde telescopios y la última al desarrollo de nuevos instrumentos y técnicas experimentales que nos permitan acercarnos a ese mundo lejano en la distancia pero tan próximo en nuestra imaginación [1]. Esta última aproximación, dedicada a la simulación en nuestro caso de ambientes planetarios, es la parte fundamental de este libro. Estas cuatro aproximaciones están conectadas ya que son complementarias. No entenderíamos un sistema atmosférico, si no poseyéramos datos *in situ* de todas las variables y no fuésemos capaces de construir modelos matemáticos fundamentados en leyes físicas, que nos ayuden a entender y a predecir lo que sucederá como consecuencia de la evolución de un sistema. El más claro ejemplo lo encontramos en nuestro planeta la Tierra, cuando hoy día somos capaces de prever las condiciones meteorológicas con cierta anticipación, ya que vamos entendiendo cómo se comportan sistemas complejos en los que hay multitud de cuerpos interaccionando fuera del equilibrio.

El nexo de unión que nos va a permitir enlazar cada una de estas aproximaciones es el vacío. El vacío forma parte imprescindible de la mayoría de técnicas analíticas que existen actualmente en ciencia de materiales [2] y, obviamente es el entorno más predominante fuera de la superficie de nuestro planeta. Este conocimiento es fundamental para entender, por ejemplo, cómo interactúan o se mueven dos cuerpos o sustancias cuando entran en contacto, como sucede con los gases en las capas más altas de la atmósfera.

El grueso del libro está dedicado a la simulación de ambientes planetarios, entrando de lleno en la ciencia e ingeniería del vacío. Describiremos la nueva cámara de vacío conocida como MARTE, destinada a la simulación de las condiciones ambientales del planeta rojo (Marte), de forma que sirva como banco de pruebas para nuevos desarrollos instrumentales. El contexto de este diseño es el de poder valorar nuevos dispositivos electromecánicos y equipos de detección biológica que han sido o serán enviados al espacio en misiones espaciales.

El alto coste y el tiempo necesario que supone enviar cualquier objeto al espacio, además del esfuerzo necesario que conlleva desarrollar instrumentación apta para trabajar en condiciones extremas de presión, temperatura y radiación, es lo que ha potenciado el diseño y concepción de nuevos sistemas experimentales de vacío que traten de cubrir el mayor campo de posibilidades de simulación.

En la cámara MARTE, se han realizado las pruebas de algunos de los dispositivos de la estación medioambiental REMS (*Rover Environmental Monitoring Station*), de la misión MSL (*Mars Science*

Laboratory) que se encuentran actualmente a bordo del vehículo Curiosity de la NASA (*National Aeronautics Space Administration*). En concreto se han realizado las pruebas de los siguientes instrumentos: dispositivo de medida de la presión, dispositivo de medida de la temperatura del aire y las de deposición de polvo y lectura de los fotodiodos del dispositivo UV.

En la cámara MARTE se hizo un esfuerzo de diseño para convertirla en una cámara funcional de pruebas más allá del planeta rojo. Su concepción modular ha permitido validar el protocolo de protección planetaria de la ESA (*European Space Agency*), y para realizar pruebas funcionales de instrumentos de detección de vida, que se están desarrollando para ser enviados al espacio en la siguiente década.

1.1 Hipótesis y organización del libro

Hemos partido de los datos climatológicos de misiones espaciales anteriores como: Viking [3], los vehículos Sojourner [4], Spirit y Opportunity, así como la sonda Phoenix [5], que nos han permitido establecer unos márgenes en cuanto a las variables meteorológicas del planeta rojo.



FIG 1.1. Modelos de papel a escala 1:12 de algunas misiones (vehículos y sondas) realizadas con éxito por la NASA a Marte. De izquierda a derecha Curiosity, Sojourner con Pathfinder, Viking y Spirit (1:20). Se aprecian las dimensiones con el modelo a escala del astronauta. ■

Los parámetros recogidos en estas misiones espaciales (**figura 1.1 y 1.2**), como los obtenidos desde el exterior por medio de los satélites Mars Express, Mars Odyssey, y Mars Reconnaissance Orbiter [6], son un buen punto de partida para reproducir la composición atmosférica [7]. Así, nos hemos propuesto:

- Diseñar y construir un sistema de vacío que simule las condiciones climatológicas del planeta rojo, permitiendo controlar las siguientes variables: presión, composición de gases, temperatura superficial, temperatura ambiental, radiación UV y un generador de polvo.
- Debe de ser una plataforma tecnológica para probar los sensores ambientales de la estación meteorológica REMS, actualmente a bordo del Curiosity (desde agosto del 2012).

- Debe adaptarse a diferentes entornos planetarios o ambientes extremos, con el fin de probar nueva instrumentación como carga útil de futuras misiones espaciales.
- Debe de ser modular, pensada para distintas geometrías y volúmenes, así como otras funcionalidades en relación con los procesos y procedimientos en el entorno espacial. Debe de poder cumplir los requisitos de protección planetaria [8] para descontaminación de carga biológica (DHMR. Dry Heat Microbiological Reduction) [9].



FIG 1.2. Modelos de papel a escala 1:48 de algunas misiones (orbitadores) realizadas con éxito por la NASA y la ESA a Marte. De izquierda a derecha MRO y Viking (1:24) de la NASA y Mars Express de la ESA. ■

Los capítulos del libro están organizados de la siguiente manera:

En el **capítulo 2** se introduce el trabajo en el contexto de la simulación en vacío, teniendo en cuenta regímenes de vacío distintos y por tanto de funcionalidades distintas, muy importante para la simulación de una atmósfera planetaria. Se realiza una introducción sobre el estado del arte en cuanto a otras cámaras de simulación y las principales novedades y nuevas funcionalidades desarrolladas para el caso de Marte. Por último, se describe el Laboratorio de Simulación del CAB como el lugar donde se ha construido y probado la cámara MARTE.

Las propiedades del vacío y los conceptos fundamentales del mismo, así como alguna instrumentación utilizada y toda la desarrollada a partir de componentes comerciales, se presentan en el **capítulo 3**.

En el **capítulo 4** se muestra la cámara MARTE, que es la utilizada para simular las condiciones ambientales planetarias, desde presión atmosférica hasta alto vacío.

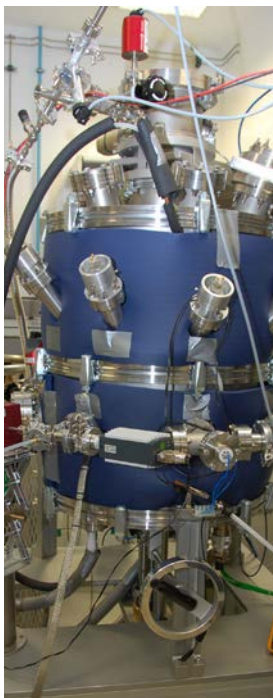
En el **capítulo 5**, se describen cómo se parametrizan todas las variables ambientales de Marte en la cámara que hemos llamado MARTE, utilizando tecnología de vacío. Esta constituye la demostración más fiable del diseño presentado en el capítulo anterior. En este capítulo se muestran algunos de los resultados de la estación meteorológica REMS que validan los requisitos funcionales en la cámara MARTE. También se detalla la simulación de las condiciones ambientales de Marte a distintas temperaturas.

El **capítulo 6** está dedicado al futuro de la investigación en simulación planetaria, así como las mejoras que se podrían desarrollar en la cámara MARTE.

En el **capítulo 7** se encuentran anexos importantes como son el diseño y desarrollo de instrumentación virtual (instrumentación no real, implementada mediante software a través de un GUI (*Graphical User Interface*)) utilizada para la optimización de los datos experimentales, así como para su explotación. También se detalla el proceso de diseño mecánico mediante software CAD de 3D, que ha permitido optimizar toda la geometría de los experimentos a la hora de calcular distancias y ángulos óptimos.

En el **capítulo 8** se recoge la bibliografía utilizada.

Utilizando la imaginación y buscando soluciones tecnológicas simples basadas en tecnología de vacío podemos tener, en el INTA (Madrid), tal vez la cámara de simulación más completa que exista en la Tierra para controlar las condiciones de Marte. Esta máquina, y todo el trabajo que ha llevado de diseño, puesta a punto e instalación, acerca a la humanidad a realizar un sueño que comenzó en Egipto hace 4000 años, el de conocer de cerca a ese bailarín errante del firmamento que llamamos planeta rojo.



INSTITUTO NACIONAL DE
TÉCNICA AEROSPAICIAL



CAB
ASOCIADO AL NASA AEROSPACE BIOTECH



El hombre siempre ha sentido una gran fascinación por Marte y ha tratado de poner al alcance de su mano el planeta rojo. Siglos de observación y décadas de desarrollo científico y tecnológico nos han llevado a ser capaces de

recrear en el laboratorio su atmósfera y su superficie. De eso trata este libro, de cómo es posible con imaginación construir un sistema de vacío para entender de primera mano los procesos físicos que ocurren en el planeta rojo.

ISBN 978-84-938932-6-2



9 788493 893262



GOBIERNO DE ESPAÑA

CENTRO DE ASTROBIOLOGÍA
ASOCIADO AL NASA ASTROBIOLOGY INSTITUTE



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

