A black and white photograph of a lunar crater. In the foreground, a large rock formation with distinct horizontal stripes is visible. The crater floor is covered in smaller rocks and debris. The background shows the dark, shadowed interior of the crater.

EL ESPACIO:
UN LUGAR PARA SER HABITADO

MIRELLA GIL NATIVIDAD

EL ESPACIO :
UN LUGAR PARA SER HABITADO



Universidad de Valladolid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Dpto. Urbanismo y Representación de la Arquitectura

2018 - 2019

Trabajo Final de Grado

El espacio : un lugar para ser habitado

Autora :

Mirella Gil Natividad

Tutora :

Noelia Galván Desvaux

RESUMEN

La arquitectura espacial entendida como el conjunto de herramientas para diseñar un espacio habitable fuera de nuestro planeta, es el concepto fundamental en el que se desarrolla esta investigación. El presente trabajo explica cuales son las estrategias principales para desarrollar un hábitat espacial dependiendo de las condiciones existentes. Se analizan los proyectos de hábitats lunares desarrollados desde los años 50, con el fin de poner en valor las características que podrían funcionar a la hora de plantear un nuevo proyecto. Por último, se realiza una propuesta proyectual de una base lunar que recoge las conclusiones y estrategias principales que deben estar presentes en un hábitat de superficie.

Palabras clave :

Arquitectura espacial, hábitat, estrategias, base lunar, Luna, proyecto, hábitat de superficie.

ABSTRACT

The spatial architecture understood as the set of tools to design a living space outside of our planet, is the fundamental concept in which this research is developed. The present work explains which are the main strategies to develop a spatial habitat depending on the existing conditions. The lunar habitat projects developed since the 50's are analyzed in order to assess the characteristics that could work when planning a new project. Finally, a project proposal of a lunar base is made that includes the main conclusions and strategies that must be present in a surface habitat.

Key words :

Spatial architecture, habitat, strategies, lunar base, Moon, project, surface habitat.

01	Introducción	9
	Estado de la cuestión	11
	Metodología	11
	Objetivos	11
02	Estrategias para desarrollar un habitat en el espacio	13
2.1	Condicionantes a tener en cuenta	14
	Entorno social de los espacios habitados	14
	Entorno psicológico y fisiológico de los espacios habitados	14
	Gravedad artificial inducida	16
	Gravedad Parcial	16
2.2	Hábitats espaciales	18
	Pasos de diseño	18
	Requerimientos funcionales a cumplir	19
	Elementos de un sistema de habitat espacial	21
	Tipos de hábitats	23
2.3	Habitats de superficie	26
	Soluciones constructivas	26
	Organización y diseño de espacios	26
	Fases de desarrollo evolutivo	26
	Estrategias concluyentes	26
03	Análisis de proyectos de bases lunares (1958 - 2019)	31
	Lunex Project (1958)	32
	Horizon Project (1959)	32
	Zvezda Lunar Base (1962)	33
	Lunar Stay - Time Extension Module (1964 - 1965)	33
	AES Lunar Base (1965)	34
	Lunar Roving Vehicle - LRV (1971)	34
	L3M (1972)	35
	LEK - Lunar Expeditionary Complex (1974)	35
	JSC Moon Base (1984)	36
	The Inflatable Lunar Habitat (1986 - 1989)	36
	The Lawrence Livermore Lunar Base (1989 - 1990)	37
	Artemis Project (1990)	37

Expandable Lunar Habitat (1996 - 1997)	38
Kopernikus Lunar Base (2002)	38
Tycho Rolling Lunar Base (2002)	39
Mobitat (2004)	39
Moonwalker Lunar Base (2005)	40
Solar Farm On The Moon (2006)	40
Cactus I (2006)	41
Lunar Outpost (2006)	41
Inflex Lunar Habitat (2007)	42
Moon Base Two (2007)	42
IHAB - Lunar Inflatable Habitation System (2008)	43
Evolutionary Growth Lunar Base (2008 - 2009)	43
Minimum Function Habitat (2009)	44
X-HAB Lunar Habitat (2010)	44
Moon Capital (2010)	45
Lunar Outpost Scenario (2010)	45
Lunar Habitation (2012)	46
Test Lab (2016)	46
Moon Village (2019)	47
Blue Moon (2019)	47
3.1 Localización de emplazamientos citados	48
04 Eleven - Hex Lunar Base (Propuesta Proyectual TFG)	51
4.1 Condiciones de proyecto	52
4.2 Emplazamiento	54
4.3 Concepto de despliegue	56
4.4 Planta hogar	58
4.5 Planta área de trabajo	60
4.6 Sección módulo y detalles	62
4.7 Entrada al módulo	64
4.8 Estancias hinchadas	66
4.9 Lámina resumen y plan de viaje	66
4.10 Conclusiones	66
05 Notas, bibliografía, imágenes y trabajo de campo	71
Notas	72
Bibliografía y trabajo de campo	75
Imágenes	76

01 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha soñado con la posibilidad de explorar más allá de los límites conocidos y, en consecuencia, imaginar posibles escenarios donde pueda desarrollarse nuestra forma de vida.

El desarrollo de la carrera espacial, la herencia visual de la ciencia ficción y el avance en el conocimiento tecnológico en el último siglo son los tres condicionantes principales que nos impulsan a continuar en la búsqueda de sistemas habitacionales que puedan llegar a funcionar en otras condiciones físicas.

El objetivo principal de este trabajo se centra en el estudio del satélite terrestre, "La Luna", como lugar idóneo para generar una base de investigación permanente en su superficie, que sirva de apoyo a las labores de investigación que se están realizando en la estación espacial internacional a día de hoy.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

La arquitectura espacial es una derivación de la arquitectura estudiada tradicionalmente destinada a diseñar y construir , tanto en la teoría como en la práctica, ambientes habitados en el espacio exterior.

A priori puede resultar un campo desconocido, pero en realidad es una rama de investigación fascinante que lleva en desarrollo desde los años 50.

La finalidad de este tipo de proyectos es lograr desarrollar espacios habitables para el ser humano en condiciones extremas, así como todos aquellos elementos y sistemas complementarios necesarios para generar un entorno funcional, seguro y confortable. El desarrollo de hábitats abarca desde aquellos preparados para funcionar en órbita, hasta los que desarrollan su función en la superficie de un planeta o satélite , sin olvidar los vehículos de transporte y los trajes espaciales, que son hábitats en si mismos.

La localización en la que se centra el trabajo , la Luna, es un objetivo complejo dada la presencia de agentes externos agresivos y su atmósfera prácticamente nula. Al mismo tiempo, es el lugar más coherente para llevar a cabo el primer hábitat de superficie por muchas razones:

- La cercanía a nuestro planeta, lo que facilitaría el transporte y el suministro de material y víveres.
- El conocimiento del lugar, desarrollado a partir del estudio de la composición del material extraído desde las misiones Apollo.
- El reconocimiento visual de varias áreas, tanto de la cara visible como de la cara oculta, gracias a múltiples sondas.
- La posibilidad de generar vida, la última sonda enviada a la superfi e del satélite, Chang'e 4, logró a inicios de 2019 que brotase una semilla de algodón, reforzando la esperanza de asentar misiones tripuladas de nuevo en su superficie.

METODOLOGÍA

Para poder desarrollar un hábitat en la superficie lunar, previamente es necesario estudiar cuales son la estrategias y herramientas habitacionales que vamos a tener que articular, las cuales se especifican en la primera parte del trabajo.

Seguidamente, se procede al análisis de los proyectos de bases lunares más interesantes que se han llevado a cabo desde 1958 hasta la actualidad. El análisis se realiza bajo unos criterios pautados para todos los proyectos, de tal forma que se pueda obtener no solo la información específica de cada uno de ellos, si no una rápida lectura y génesis de nexos comunes entre proyectos, que poco a poco van dejando ver cuales son la principales características que ha de tener un hábitat de superficie en esta localización. Los criterios analizados son los siguientes: agencia espacial a la que pertenece ; arquitecto, ingeniero o empresa que lo lleva a cabo; año de creación; período de aplicación; estado del proyecto; ubicación; número de tripulantes y tiempo de misión ; y por último una breve descripción que detalla la clase del proyecto, el objetivo de diseño, el concepto estructural ,material y medidas que lo componen, el concepto de despliegue y los aspectos habitacionales.

El trabajo finaliza con el desarrollo de una propuesta proyectual, la cual consiste en una base lunar permanente y evolutiva destinada tanto a la investigación complementaria de la EEI como al turismo espacial.

OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son los siguientes:

1. Despertar interés.
2. Promover la investigación en la Universidad sobre este tipo de arquitectura.
3. Desarrollar un módulo habitable que sea capaz de responder a las condiciones de habitabilidad humana en la Luna.
4. Conseguir una especialización de conocimiento que me permita seguir desarrollando este tema en el futuro a través del Máster en Arquitectura Espacial.

02 ESTRATEGIAS PARA DESARROLLAR UN HÁBITAT EN EL ESPACIO

2.1 CONDICIONANTES A TENER EN CUENTA



Imagen 1 : La Estación Espacial Internacional (hábitat orbital)
2019

Antes de desarrollar un hábitat espacial, hay que ser consciente del significado de este concepto, definido como la recreación del entorno terrestre con el propósito de sostener la vida humana más allá de nuestro planeta.

El entorno espacial en el que se va a desarrollar un hábitat cuenta con agentes externos agresivos diversos. Este estudio se va a centrar en la Luna, satélite de nuestro planeta, concebido como un lugar particularmente inhóspito para la vida humana, ya que presenta muchos desafíos para desarrollar un hábitat funcional. Los problemas a tener en cuenta son las restricciones de masa, los requisitos de volumen, el empaque eficiente, la gestión de riesgos para la tripulación, el vacío, los desechos orbitales, la radiación, la fluctuación de temperaturas entre el día y la noche, la microgravedad o gravedad parcial y el polvo planetario.

El objetivo es lograr desarrollar hábitats humanos cada vez más autosuficientes, de varios tamaños y funciones para su uso en el espacio y superficies planetarias. Para ello, es necesario comprender las necesidades psicológicas y fisiológicas de los humanos en entornos hostiles de aislamiento y confinamiento, con el fin de que la tripulación logre sobrevivir y trabajar en armonía.

ENTORNO SOCIAL DE LOS ESPACIOS HABITADOS

Los seres humanos son individuos sociales¹ por naturaleza y están acostumbrados a vivir en conexión con diferentes grupos sociales en el día a día, tales como la familia ,los amigos, los compañeros de trabajo...etc. Es por ello que la duración de las misiones espaciales tiene un impacto importante en el comportamiento de la tripulación, ya que son retirados temporalmente de ese entorno social habitual, presentándose

la necesidad de poner en valor ciertos requisitos espaciales de privacidad para que se sientan agusto en la nueva microsociedad de la que forman parte.

A diferencia de las misiones militares, las misiones espaciales no hacen diferenciación en la estructura de comando, dado que el volumen es escaso y por tanto debe ser equitativo para todos los miembros de la tripulación, sin importar el rango profesional que tengan individualmente.

Uno de los aspectos claves a considerar y que influye de manera directa en la organización espacial del hábitat, es la duración de la misión. Esta puede ser corta, media o larga como se explicará más adelante. En el caso de las misiones de media o larga duración, es recomendable separar los cuartos masculinos de los cuartos femeninos y las instalaciones de higiene personal, tal y como se haría en un ambiente más tradicional , así como considerar si los miembros de la tripulación son individuos desconocidos o si existe alguna pareja entre ellos , en cuyo caso deberán diseñarse cuartos con la posibilidad de ser conectados para poder facilitar la convivencia.

Es importante que antes de someter a la tripulación a una vivencia de estas características, sean entrenados en escenarios de confinamiento similar mediante simulación.

ENTORNO PSICOLÓGICO Y FISIOLÓGICO DE LOS ESPACIOS HABITADOS

Los efectos psicológicos y fisiológicos² en la tripulación son una consecuencia directa del diseño del hábitat , de la duración de la misión , del tamaño de la tripulación y de las condiciones gravitatorias del lugar. Cuanto mayor sea la duración de la misión, mayor será el grado de

privacidad requerido y la necesidad de espacios lúdicos sociales. Así mismo, el incremento de la tripulación aumenta la necesidad de soledad en momentos concretos. En este apartado, se analizan los efectos que tienen el tamaño de la tripulación y la duración de la misión en los requisitos de privacidad y habitabilidad.

· EL DESACONDICIONAMIENTO:

La pérdida de las características gravitatorias a las que el cuerpo humano está acostumbrado en la Tierra, se ven alteradas en entornos de microgravedad. La microgravedad afecta al sistema cardiovascular, musculoesquelético, inmunitario, reproductivo, además de alterar los líquidos corporales. Estas alteraciones provocan la debilidad del corazón y otros músculos, pérdida de densidad ósea, alteración en el equilibrio, cambios en las funciones pulmonares y renales e incluso pérdida del apetito. Sin embargo, estos efectos se ven reducidos en presencia de gravedad parcial, como sucede en la Luna, pero no dejan de ser efectos peligrosos para la salud. Por ello, a la hora de diseñar el hábitat, es necesario que los materiales y el propio espacio puedan reducir estos efectos sobre los miembros

del equipo.

· LA DURACIÓN DE LA MISIÓN :

Las misiones pueden ser de duración corta, media o larga y, en función de ello, exigirán unos requisitos específicos de diseño.

En el caso de misiones de corta duración, comprendidas entre unos pocos días a un par de semanas, la tripulación puede compartir los cuartos personales por turnos rotativos y no es necesario dotar al hábitat de espacios adicionales a los estrictamente necesarios para la supervivencia, lo que reduce considerablemente el volumen útil.

En el caso de misiones de duración media, comprendidas de dos semanas a seis meses, cada miembro de la tripulación requerirá de su propio cuarto para dormir, para su ocio y para su higiene personal, y las estancias comunes tendrán mayor peso que en el caso anterior, siendo necesaria la existencia de áreas de recreación, ejercicio o reunión, por ejemplo.

Por último, en el caso de las misiones de larga duración, con una duración superior a seis meses, los habitantes requieren de todas las comodidades

T1 : VOLÚMENES RECOMENDADOS PARA HABITATS ESPACIALES			
DURACIÓN DE LA MISIÓN	VOLUMEN TOTAL PRESURIZADO	NIVEL	VOLUMEN TOTAL RECOMENDADO /4 TRIPULANTES /180 DIAS
Corta (3 -14 días)	5 - 15 m ³ / tripulante	Tolerable	20 - 60 m ³
Media (2 semanas - 4 meses)	30 - 50 m ³ / tripulante	Funcional	120 - 150 m ³
Larga (+ 6 meses)	60 - 80 m ³ / tripulante	Óptimo	240 - 320 m ³



Imagen 2 : Cúpula de la Estación Espacial Internacional (hábitat orbital) 2019



Imagen 3 : Tripulación mixta de la EEI, expedición 59-60 2019

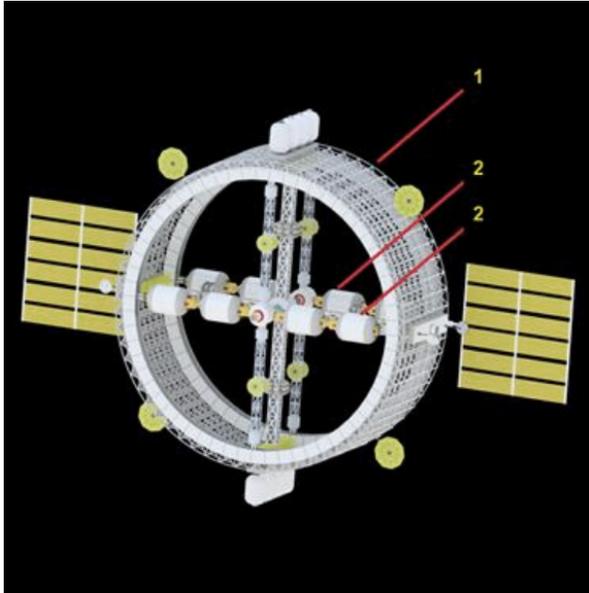


Imagen 4 : Hábitat orbital con gravedad artificial inducida por rotación.

del hogar a las que están acostumbrados en la Tierra. Cada miembro contará con un área privada completamente equipada y los espacios comunes de interacción y recreación adquirirán más importancia y volumen, sin olvidar la dotación de una instalación de mantenimiento de la salud completa.

· EL VOLUMEN PRESURIZADO BRUTO:

Esta variable se ha estimado contrastando datos históricos de la exploración espacial realizada por el ser humano hasta la fecha y datos de los entornos remotos analizados de nuestro planeta. La estimación se fundamenta bajo dos condicionantes, la duración de la misión y el número de tripulantes, como se muestra en la "Tabla 1"³.

GRAVEDAD ARTIFICIAL INDUCIDA

La gravedad artificial inducida⁴ es una posible solución que plantean los fisiólogos espaciales para reducir los efectos degenerativos a los que se ve sometida la tripulación en una misión.

Consiste en crear de manera artificial un ambiente gravitatorio de condiciones similares a las terrestres en un hábitat en el espacio. Hasta la actualidad, la manera conocida para lograrlo es mediante la rotación, la cual es posible en hábitats orbitales. Sin embargo, si se trata de hábitats de superficie estáticos, está por desarrollar un sistema que pueda generar estas condiciones. Otras medidas que están siendo estudiadas son los regímenes de ejercicio rígido, las camas rotativas, productos farmacéuticos y dispositivos de tensión para reducir el deterioro de huesos y músculos.

Los tres factores que caracterizan la gravedad artificial inducida son el nivel de gravedad, el gradiente de gravedad y la fuerza de Coriolis.

GRAVEDAD PARCIAL

La gravedad parcial⁵ es un condicionante al que se ven sometidos los hábitats de superficie.

- Gravedad en la Tierra : $G_T = 9,8 \text{ m/seg}^2$
- Gravedad en la Luna : $G_L = 1,62 \text{ m/seg}^2$
- Gravedad en Marte : $G_M = 3,711 \text{ m/seg}^2$

La gravedad lunar es un sexto de la terrestre, y la gravedad de Marte algo menos de la mitad. Las consecuencias principales que tiene la gravedad parcial son la alteración en la locomoción, afectando a los requisitos volumétricos del hábitat, tal y como se muestra en la "Tabla 2"⁶ de la siguiente página.

T2 : EFECTOS DE LA GRAVEDAD PARCIAL EN LOS HUMANOS		
CONSIDERACIONES	DIFERENCIAS GRAVITACIONALES FRENTE A LA TIERRA	IMPACTOS EN EL DISEÑO DEL HABITAT (En condiciones gravitacionales interiores inferiores a la Tierra)
Andar y correr	<ul style="list-style-type: none"> · La gravedad reducida cambia el paso debido a un cambio en la fuerza. · La reducción de la fuerza reduce la tracción y aumenta las distancias de arranque y parada. · El rebote sucede cuando los humanos usan la misma fuerza que en la tierra hasta acostumbrarse al medio. 	<ul style="list-style-type: none"> · Las vías principales de circulación requieren superficies de tracción. · Los pasillos deben estar libres de construcciones y deben existir elementos que ayuden a la movilidad. · Alturas de techo bajas en espacios personales y más altas en circulaciones y espacios públicos (2.10 - 3 m).
Postura corporal	<ul style="list-style-type: none"> · En ambientes de gravedad reducida, a medida que aumenta la velocidad de locomoción, aumenta la inclinación del cuerpo en comparación con las condiciones terrestres, lo que disminuye la tracción. 	<ul style="list-style-type: none"> · Las vías principales de circulación requieren superficies de tracción.
Saltar	<ul style="list-style-type: none"> · Los humanos pueden saltar 7 veces más alto en la gravedad Lunar, que es 1/6 de la terrestre. · Proporcionalmente en Marte podrían saltar 3 o 4 veces más alto que en la Tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> · Al permitir una adaptación parcial a lo largo del tiempo, las escaleras externas deben estar a 0.5m sobre el suelo en la Luna y 0.4m en Marte. · Las áreas de recreación deben tener techos altos (< 6.1m en la Luna y 4m en Marte).
Manejo de equipos	<ul style="list-style-type: none"> · La gravedad reducida permite a los humanos mover más masa, ya que los equipos pesan menos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Permite la movilidad de equipo pesado sin ayuda mecánica.

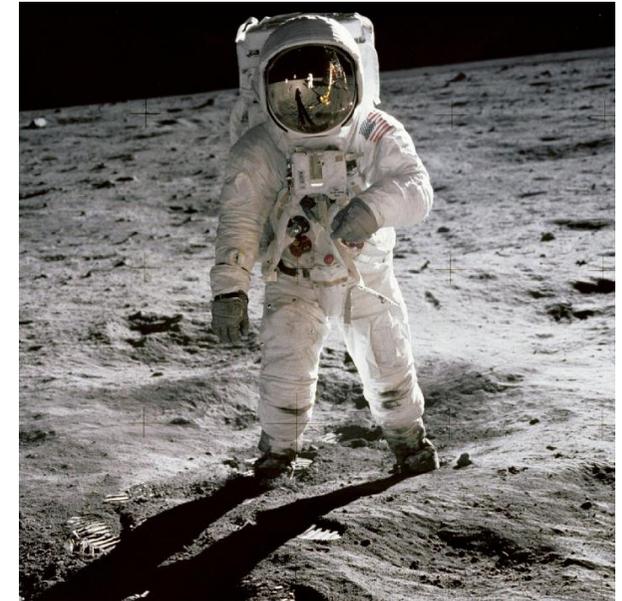


Imagen 5 : Posición de Aldrin en la gravedad lunar (Apollo XI) 1969

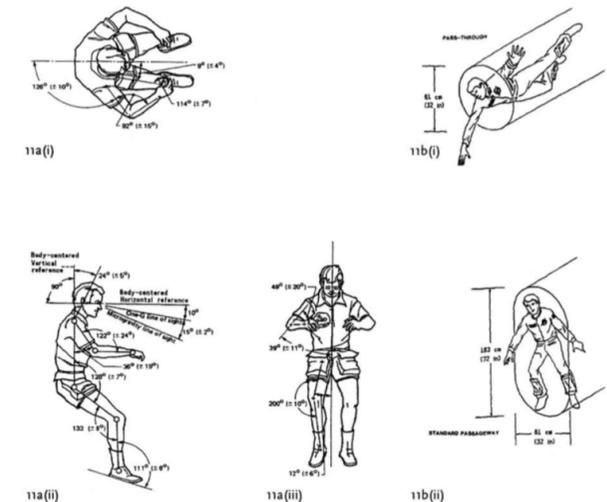


Imagen 6 : Posturas corporales en estado de ingravidez.

2.2 HÁBITATS ESPACIALES



Imagen 7 :Infografía de la cocina del proyecto Ai - Spacefactory (hábitat de superficie en Marte) 2019

Tras haber evaluado los condicionantes de los hábitats espaciales, es el momento de analizar el proceso de diseño necesario para crear entornos productivos y seguros para la tripulación que vive y trabaja en ellos. Los hábitats son elementos presurizados complejos, costosos y pesados, alrededor de los cuales se organizan funcionalmente otros subsistemas, tanto de transporte como instalaciones permanentes, estaciones orbitales y futuras bases planetarias.

A continuación, se van a abordar las consideraciones de diseño del entorno social y su impacto en la tripulación, los elementos del sistema habitacional e interfaces, el proceso de análisis de diseño para evaluar y crear los sistemas de habitación adecuados y la aplicación de éstos

a diversos entornos.

PASOS DE DISEÑO

Para comenzar a diseñar un hábitat espacial hay dos conceptos que van a ser especialmente condicionantes, como son la duración de la misión y la distancia del emplazamiento respecto a la Tierra, ya que agravan el problema de aislamiento y confinamiento. En cuanto al espacio a diseñar⁷, un factor que puede ayudar son los elementos o módulos, que se utilizan en múltiples configuraciones para dar solución a diferentes problemas, como se puede ver en la "Tabla 3"⁸.

Cada tipo de hábitat requiere de un enfoque de diseño diferente, pero todos ellos deben cumplir la garantía de presurización y los siguientes

T3 : PASOS PARA DISEÑAR UN HABITAT ESPACIAL	
PASOS	ELEMENTOS A CONSIDERAR
1. Evaluar las limitaciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> · El vacío · Los escombros espaciales · Las condiciones gravitatorias · La radiación · El polvo (lunar en el caso que estamos estudiando)
2. Evaluar las necesidades del ser humano	<ul style="list-style-type: none"> · Psicológicas · Fisiológicas
3. Definir los elementos que constituyen el sistema habitacional	<ul style="list-style-type: none"> · Subsistemas internos · Sistemas externos e interfaces
4. Determinar las decisiones y actuaciones de diseño claves	<ul style="list-style-type: none"> · Entorno · Factor humano · Subsistemas
5. Evaluar la aplicación del diseño	<ul style="list-style-type: none"> · Hábitat en órbita · Hábitat de transferencia o vehículo · Hábitat de superficie planetaria

requisitos comunes :

- Soporte fisiológico y psicológico aceptable para el ser humano.
- Integridad estructural, con márgenes de seguridad adecuados.
- Resolución exitosa de los objetivos de la misión.
- Márgenes de fallo tolerables (fuga antes de ruptura).
- Capacidad de integración con los sistemas de lanzamiento disponibles.
- Capacidad de ser probado con alto nivel de confianza antes de ser puesto en servicio.
- Equipamiento sencillo y útil.
- Mantenimiento sencillo.

- Larga vida útil del diseño.
- Aspectos comunes a nivel de sistema o subsistema

Aunque la configuración de habitabilidad varíe en función de los requisitos del usuario , la misión y el destino, hay una serie de necesidades, que tienen que estar cubiertas : alimentos, agua, oxígeno, higiene personal y gestión de residuos.

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES A CUMPLIR

En la "Tabla 4"⁹ y en el diagrama¹⁰ topológico de la siguiente página se muestra el programa habitacional necesario y como han de ser las conexiones entre espacios para que sea funcional.

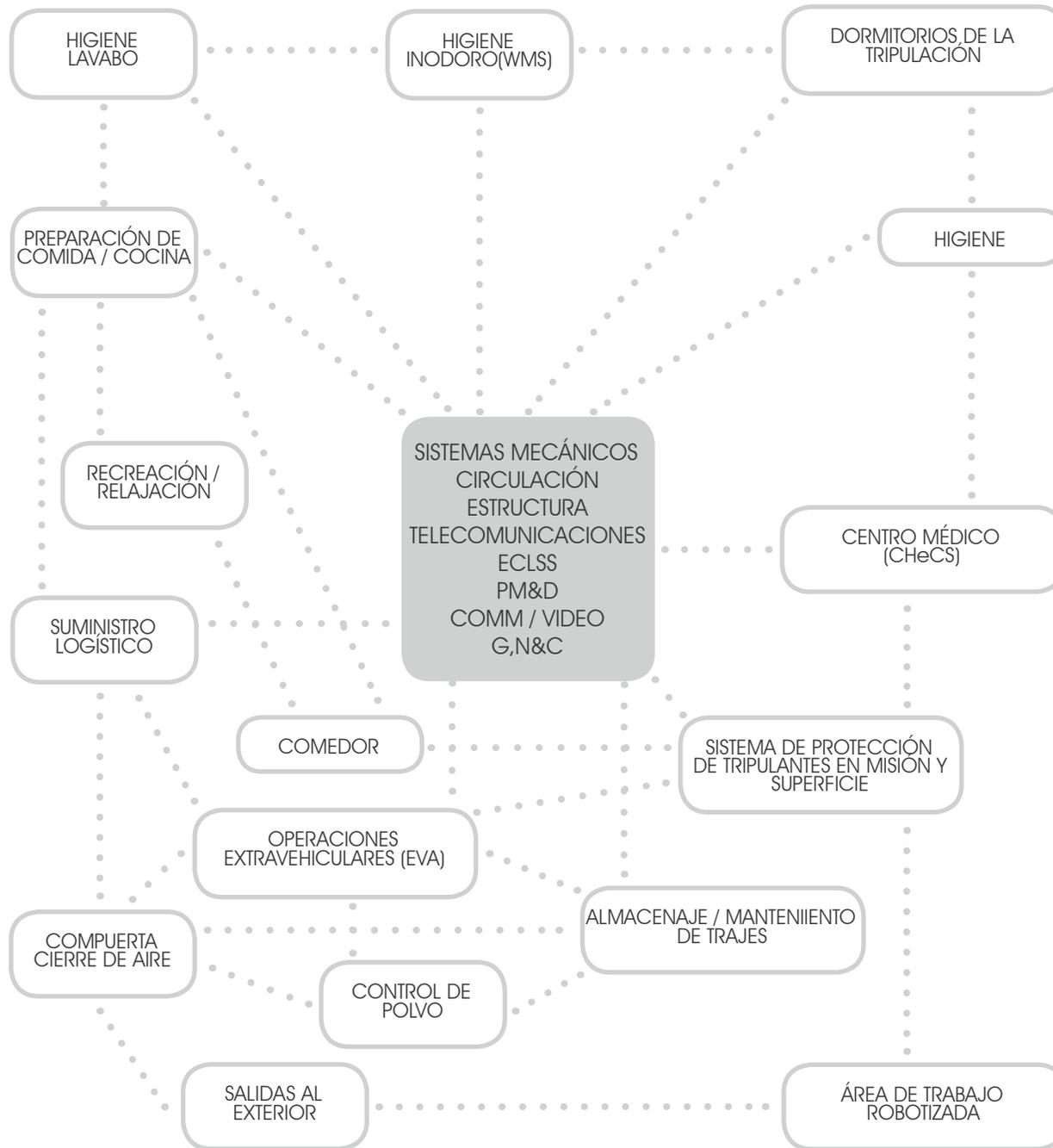
T4 : REQUISITOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN HABITAT DE SUPERFICIE	
<ul style="list-style-type: none"> · Dormir : Cuartos privados para la tripulación. · Preparación de alimentos : Cocina. · Comer / Estar : Comedor / Sala de estar. · Recreación y relajación. · Higiene personal : Lavabo y ducha. · Inodoros : comunes o personales. · Operaciones de la misión o estación. · Zonas de trabajo. · Zonas de trabajo robotizadas. · Operaciones extra vehiculares (exteriores). · Escotillas de cierre de aire y sistema de protección de los tripulantes (trajes). · Sistemas de control del polvo exterior. · Área de almacenamiento y mantenimiento de trajes espaciales. · Alojamiento de la tripulación. · Centro médico (CHeCS). · Suministro logístico y bodega. · Comida y agua suficiente para el tiempo que requiera la misión. · Repuestos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Circulación : horizontal y vertical (en caso de que exista). · Sistemas mecánicos. · Estructura. · Compartimento presurizado. · Protección frente a micrometeoritos y escombros orbitales (MM/OD). · Protección frente a la radiación. · Protección frente al entorno espacial. · Telecomunicaciones (COMM / VIDEO). · Manejo de datos y comandos. · Dirección, Navegación y control (G,N&C). · Administración y distribución de energía (PM&D). · Control térmico activo. · Control térmico pasivo. · Sistema de soporte vital y control de ambiente (ECLSS). · Revitalización de aire. · Distribución de agua. · Reciclaje de residuos. · Ciencia biológica, física y geológica en desarrollo.



Imagen 8 : Aldrin desempaquetando material del módulo lunar (ApolloXI) 1969



Imagen 9 : Aldrin montando el experimento sísmico (Apollo XI) 1969



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE HÁBITAT ESPACIAL
 Este apartado puede dividirse en subsistemas¹¹ e interfaces del sistema externo.

· SUBSISTEMAS:

Los elementos del subsistema de habitación se analizan como una unidad del sistema y, las consideraciones generales de diseño.

El diagrama¹² inferior muestra la interrelación de los subsistemas internos y externos del hábitat.

Los subsistemas principales son los siguientes:

- La estructura o recinto : encargada de contener el aire presurizado.
- Sistema de control del entorno y soporte vital (ECLSS) : El sistema de soporte vital proporciona

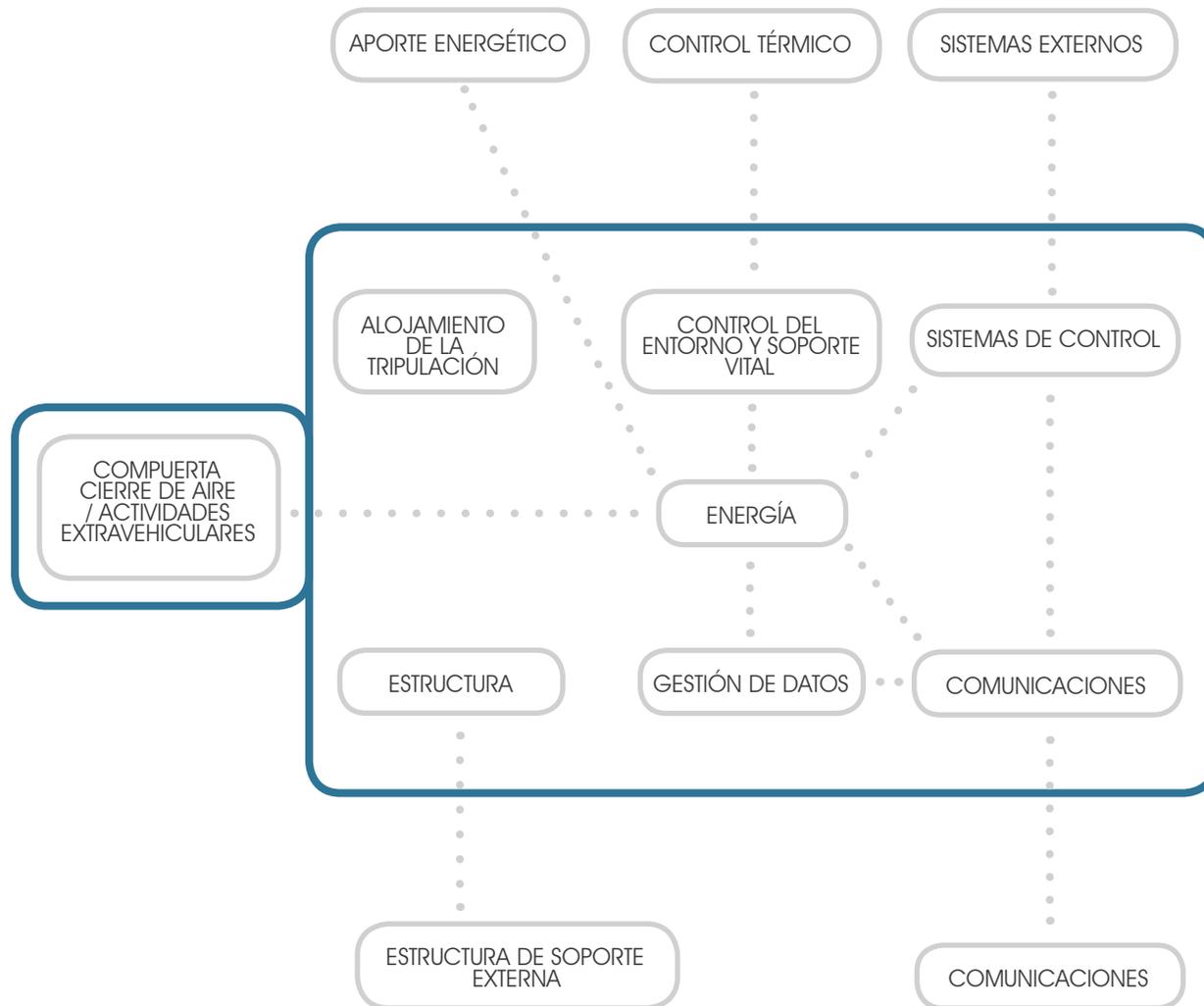


Imagen 10 : Aldrin saliendo del módulo lunar (ApolloXI) 1969

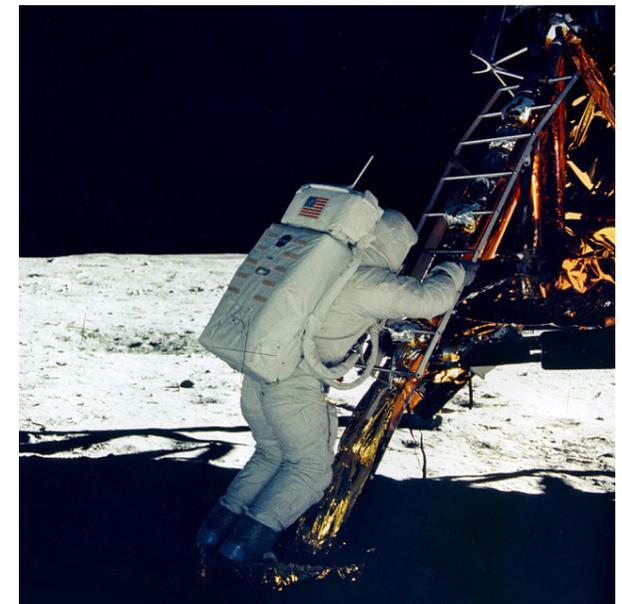


Imagen 11 : Aldrin descendiendo del módulo lunar (Apollo XI) 1969



Imagen 12 : Infografía del área de investigación del proyecto Ai - Spacefactory (hábitat de superficie en Marte) 2019

agua y oxígeno, incluyendo un equipo de almacenamiento o reciclaje de residuos en un sistema cerrado.

- Sistema de control térmico (TCS) : Equipamiento de recogida y disipación del calor.

- Sistema de manejo de datos (DMS) / Comunicaciones : Equipos para la gestión de datos de la misión y comunicaciones con la Tierra.
- Audio interno y vídeo : Sistema de comunicación interno.

T5 : REGLA DE ORO PARA REALIZAR EL REPARTO ESPACIAL DE SUBSISTEMAS EN EL HÁBITAT		
SISTEMA DEL HÁBITAT	FRACCIÓN DE MASA (%) (SISTEMAS INTERIORES Y EXTERIORES)	FRACCIÓN VOLUMÉTRICA (%) (SISTEMAS INTERIORES)
Estructura / Recinto	20 - 25	Recinto
ECLSS	12 - 15	8 - 10
TCS	4 - 5	1 - 2
Energía	20 - 25*, **	0.1
DMS / Comunicaciones	2 - 3*	2 - 3
Audio interno / Video	0.1	1 - 2
Alojamiento de la tripulación	10 - 12	50 - 65
Equipo experimental	10 - 15	10 - 15
Bodega	Despreciable	2 - 5
Refugio frente a la radiación	10 - 15	10 - 15

* Sistemas externos e internos

** Incluye paneles solares externos, baterías, tanques de almacenamiento y reactivos.

- Alojamiento de la tripulación : Cuartos de la tripulación, cocina, comedor y áreas de recreación.
- Equipo experimental : Equipo científico específico para los experimentos que requiere la misión.
- Bodega : Volumen destinado al almacenaje de equipos personales, equipos para la misión y repuestos.
- Protección frente a radiación : generalmente cubrición con regolito lunar, entre otros.

Para comprender el reparto espacial de los subsistemas, ver la "Tabla 5"¹³ de la página anterior.

· INTERFACES DEL SISTEMA EXTERNO :

El sistema de habitación se interconecta con sistemas externos en todas las aplicaciones. El sistema externo se compone de :

- Estructura de soporte: tanto si es una infraestructura de superficie , de transporte u orbital.
- ECLSS : Tanques externos de agua y oxígeno.
- TCS : Radiadores térmicos externos para la disipación del calor.
- Energía : Fuente externa de energía.
- DMS / Comunicaciones : Sensores externos y antena parabólica de comunicaciones.

Existen unas funciones comunes a los sistemas externos de todas las tipologías de hábitat , como son la capacidad de producir energía, de rechazar el exceso de calor, de revitalizar el aire, de recuperar agua, de mantener la salud de los habitantes y de satisfacer las necesidades psicológicas y físicas de la tripulación.

La "Tabla 6"¹⁴ de la página siguiente proporciona algunas reglas y efectos para diversos aspectos que configuran el hábitat espacial.

TIPOS DE HÁBITATS

A continuación, se describen los tres tipos¹⁵ de hábitats espaciales desarrollados hasta el momento :

· HÁBITATS ORBITALES

Son aquellos que desarrollan su función en la órbita de un planeta o satélite.

Es el caso del Skylab, Spacelab, Salyut 7, Mir y la Estación Espacial Internacional (EEI). La EEI ha culminado todas las experiencias e investigaciones anteriores sobre el aislamiento y los efectos espaciales en órbita, debido al amplio volumen libre por tripulante, el espacio privado, las instalaciones de laboratorio separadas, las áreas de interacción grupal, las áreas de ocio y ejercicio y las instalaciones de higiene de calidad.

· HÁBITATS DE TRANSFERENCIA / VEHICULOS

Son aquellos que desarrollan su función en el vehículo de transporte.

Actualmente se está estudiando como deben desarrollarse los hábitats de transporte espacial de larga duración destinados principalmente para viajar a Marte y a la Luna, ya que estos deben proporcionar las mismas comodidades citadas de la EEI.

· HÁBITATS DE SUPERFICIE

Son aquellos que desarrollan su función en la superficie de un planeta o satélite.

A lo largo de la historia solo ha existido un hábitat de superficie operativo , el Módulo Lunar Apollo, el cual disponía de los medios mínimos de supervivencia para los requerimientos de las misiones de dicho programa. Desde la puesta en funcionamiento de ese módulo, se han estado desarrollando nuevos proyectos en los últimos 50 años con tecnología más avanzada, pero ninguno de ellos ha llegado a asentarse.



Imagen 13 : Lanzamiento del vehículo de transporte Saturno V (ApolloXI) 1969

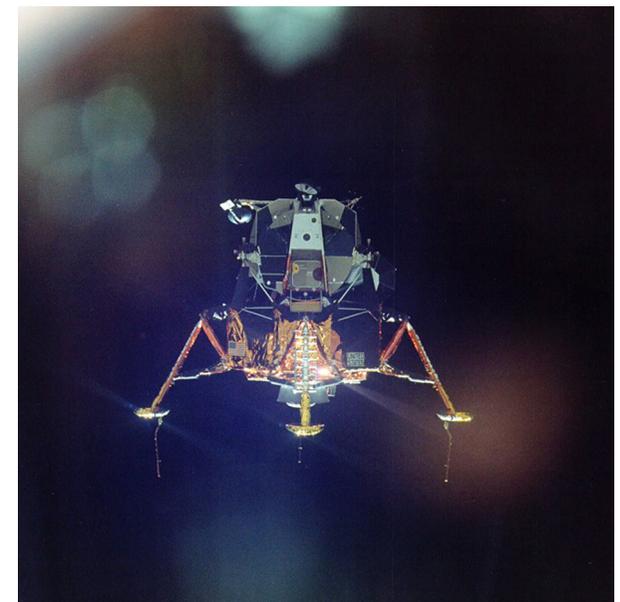


Imagen 14 : Descenso del módulo lunar a superficie (Apollo XI) 1969

T6 : DECISIONES DE DISEÑO Y CLAVES DE TRAZADO DE UN HÁBITAT ESPACIAL

CONDICIONANTES / ASPECTOS	EFEECTO	REGLA DE ORO
Función a la que se destina el hábitat	Diseño del hábitat y laboratorios	Separar las funciones y actividades de laboratorio del resto del hábitat
Número de tripulantes	Volumen requerido	50 - 90 m ³ / por tripulante
Duración de la misión	Tamaño del hábitat	Dependerá de si la misión es de corta, media o larga duración
Especialización de la tripulación	Se requiere profesionales especializados en varios campos	Ciencia, medicina, operaciones varias (2 de cada como preferencia)
Género de la tripulación	Cooperación efectiva	Género mixto, en especial si se trata de misiones largas, de 6 meses en adelante
Estructura	Aluminio, composites, material flexible hinchable	Revestimiento rígido /volumen pequeño / misión corta Revestimiento flexible / volumen mayor / misión larga
Soporte vital	Abierto, parcial o cerrado	% Apertura
Control de datos y gestión	Informatica y automatización	Autonomía
Comunicaciones	En directo o con retardo	Tripulante a tripulante ; tripulante a astronave ; astronave a Tierra
Control térmico	Elemento prefabricado incluido en el módulo y estructura separada externa	Radiadores
Energía	Fuente generadora, almacenaje y distribución	Kg / W
Alojamiento de la tripulación	Impacto fisiológico y psicológico	Volumen libre, espacios privados y espacios sociales
Protección frente al entorno	Radiación, polvo e impactos	gm / cm ³
Riesgo	Nivel de redundancia	A prueba de fallos en estado crítico

T7 : CLASIFICACIÓN DE HÁBITATS

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
<p>CLASE I - Módulo con todos los elementos preintegrados</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Prefabricado en la Tierra. · Construido en la Tierra. · Completamente acondicionado y testeado antes del lanzamiento. · Listo para ser enviado a su destino y puesto en funcionamiento. · Volumen y masa limitados al propio módulo. · Dimensiones limitadas por el espacio disponible del vehículo espacial que lo va a transportar. · Masa limitada por el peso máximo que permita el vehículo.
<p>CLASE II - Módulo prefabricado que requiere de montaje para finalizarlo en la superficie del planeta / satélite</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Prefabricado en la Tierra. · Requiere de montaje y/o despliegue una vez en superficie. · Requiere de trabajo robótico y humano para completar el montaje. · Integración parcial de los subsistemas. · Requiere el diseño previo del equipamiento interno. · Los subsistemas críticos se basan en datos terrestres y deben ser probados antes del lanzamiento. · Requiere ensamblajes in situ antes de ser operativo. · El módulo adquiere un volumen mayor una vez desplegado en superficie. · Los módulos de clase II únicamente están limitados a las medidas del vehículo que lo transporta en su condición plegada, y lo mismo sucede con la masa.
<p>CLASE III - Módulo desarrollado y fabricado en su totalidad en la superficie planetaria con materiales del lugar</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Fabricado en la superficie del planeta / satélite con recursos del lugar. · Requiere la fabricación del módulo habitable e infraestructuras. · Requiere de trabajo robótico y humano para llevarse a cabo. · Requiere la integración de los subsistemas. · Requiere el diseño para albergar el equipamiento interno necesario. · Los subsistemas críticos se basan en datos terrestres y deben ser probados antes del lanzamiento. · Requiere de montaje para lograr un espacio operativo. · No hay limitación volumétrica. · No hay limitación en el vehículo espacial. · No hay limitación de masa. · Únicamente existirían limitaciones en el caso de querer enviar algún elemento prefabricado de la Tierra, como sucede en el clase II.



Imagen 15 : Soporte del módulo lunar y sonda de contacto (ApolloXI) 1969



Imagen 16 : Etapa de ascenso del módulo de regreso (Apollo XI) 1969



Imagen 17 : Infografía exterior del proyecto Ai - Spacefactory (hábitat de superficie en Marte) 2019

Los hábitats de superficie pueden clasificarse en tres tipologías : I, II y III , explicadas en la "Tabla 7"¹⁶. Tras haber evaluado los condicionantes a tener en cuenta y toda la información general referida a los hábitats espaciales, se procede al desarrollo de los hábitats de superficie planetaria, ya que es la finalidad proyectual de este trabajo.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Existen diferentes estrategias para lograr desarrollar un hábitat de superficie en función de los requerimientos de la misión. Por ejemplo:

- En el caso de querer realizar una misión corta de exploración , similar a las planteadas en el programa Apollo, se optaría por un módulo de clase I de tamaño mínimo con todo integrado.
- Para una misión de duración media, lo más apropiado sería un módulo de clase I, clase II o un híbrido de ambos.
- Por último si se trata de una misión de larga

2.3 HÁBITATS DE SUPERFICIE

duración, con una estancia permanente y poco a poco autosuficiente, sería necesario recurrir a un hábitat híbrido de clase II y III.

En la "Tabla 8"¹⁷ de la siguiente página se muestran algunos de las opciones arquitectónicas y los problemas a los que se debe poner solución mediante las decisiones de diseño.

ORGANIZACIÓN Y DISEÑO DE ESPACIOS

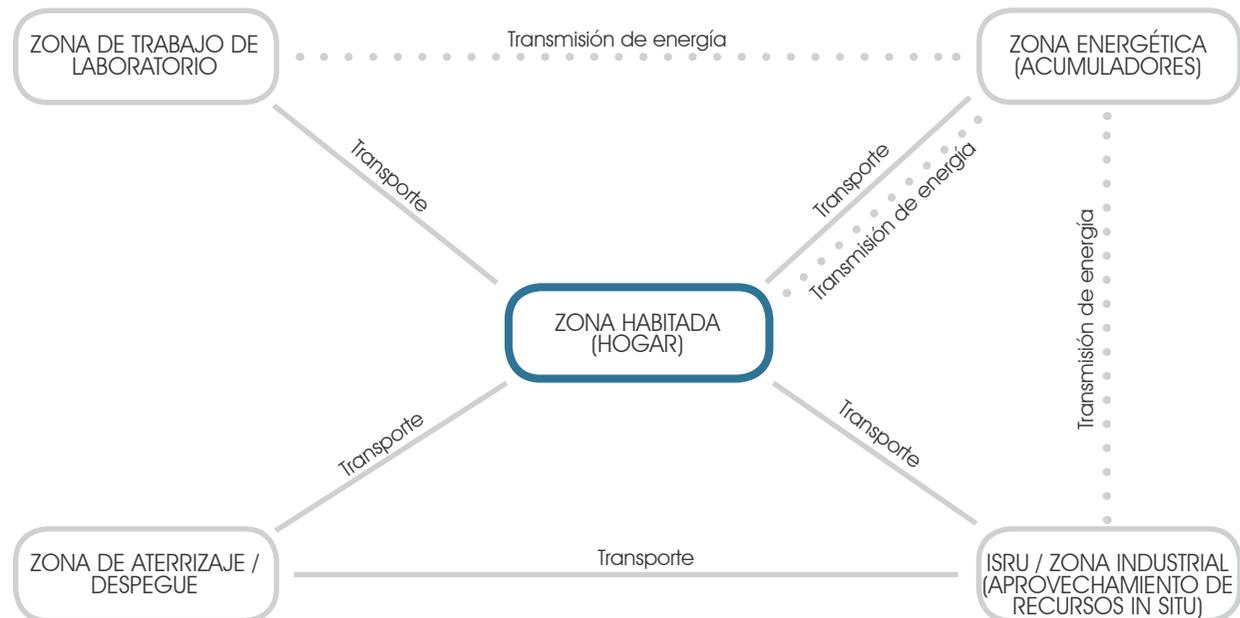
Explicados mediante el diagrama¹⁸ inferior.

FASES DE DESARROLLO

Explicadas en la "Tabla 9"¹⁹ de forma resumida.

ESTRATEGIAS CONCLUYENTES

Demostradas y explicadas a través de la propuesta proyectual desarrollada más adelante: ELEVEN - HEX LUNAR BASE.



T8 : OPCIONES DE DISEÑO PARA CREAR UN HÁBITAT DE SUPERFICIE

ASPECTO DE DISEÑO	PROBLEMAS CUESTIONADOS	OPCIONES
Tamaño / Volumen del hábitat	¿Cuál es el volumen requerido? ¿Entrará en el vehículo de lanzamiento? En caso negativo, ¿cuales son las alternativas?.	· Envoltente rígida / envoltente hinchable.
Peso del hábitat	Tener en cuenta todos los subsistemas e interfaces externos e internos.	· Módulo único / módulos múltiples.
Sistema de soporte vital	¿Cuál es el nivel requerido o deseado de autosuficiencia? ¿Qué tecnología requiere?.	· Sistema de circuito abierto / circuito cerrado.
Grado de Integración	¿El módulo habitacional cuenta con todo integrado o requiere de montaje adicional in situ?.	· Módulo con todo preintegrado (clase I) / requiere montaje (clase II).
Aporte energético	Puede estar compuesto de baterías, placas solares, energía nuclear, tanques de combustible...	· Repuestos / sistemas de alta duración en el tiempo / utilización de recursos del lugar.
Comunicaciones	Puede ser comunicación directa (a tiempo real) o indirecta (con un desfase temporal).	· Control Terrestre / control de la tripulación / sistema autónomo.
Control térmico	Puede estar compuesto por sistemas activos y pasivos.	· Masa / energía / recursos del lugar.
Alojamiento de la tripulación	Las estancias pueden ser mínimas, acordes al rendimiento , u óptimas para el confort.	· Para misiones cortas, volúmenes pequeños / para misiones largas , volúmenes más grandes.
Riesgos	El nivel de seguridad frente a los agentes externos, como la radiación, los escombros orbitales, los micrometeoritos y el polvo, es importante para preservar la salud de la tripulación.	· El nivel de riesgo dependerá de si es una misión corta o una más larga.



Imagen 18 : B. Aldrin, N. Armstrong, M.Collins (ApolloXI) 1969

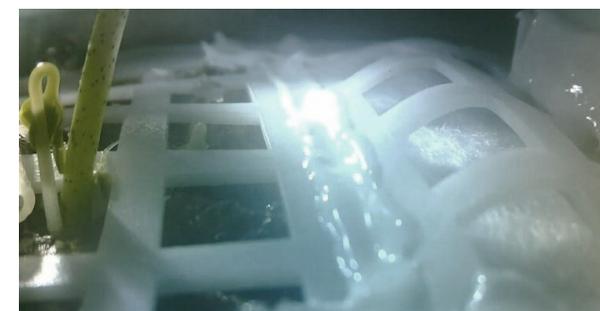


Imagen 19 :Brote de una semilla de algodón en la Luna (Chang'e 4) 2019

T9 : FASES DE DESARROLLO DE UN HÁBITAT DE SUPERFICIE / BASE PLANETARIA

FASE	ASPECTOS CLAVES	COMPONENTES
<p>Exploración de superficies y planificación (Ésta es la fase que ha logrado desarrollar el ser humano hasta la fecha)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Visitar múltiples localizaciones. · Exploración de superficie y trazado cartográfico del lugar. · Experimentos científicos en la superficie. · Misiones humanas y robóticas. 	<ul style="list-style-type: none"> · Sistemas orbitales y topográficos. · 1-4 Rovers en la superficie. · Estaciones de medición desplegadas en el área de estudio. · Equipo de rastreo de superficie robótico. · 2 - 4 tripulantes. · 2 - 7 días en superficie.
<p>Planificación del hábitat de superficie / base (Ésta es la etapa de desarrollo en la que nos encontramos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Hábitat inicial y laboratorio. · Experimentos científicos en la superficie. · Plan piloto de aprovechamiento de recursos del lugar (IRSU). · Misión de duración corta o media. · Tripulación pequeña. · Escotilla de cierre de aire. · Sistema de control del entorno y soporte vital (ECLSS) experimental. · Capacidad de transporte a superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> · Módulos pre-integrados de clase I. · Experimentos científicos iniciales de supervivencia y de estudio de la superficie. · Producción de recursos necesarios como el oxígeno. · 2 - 3 tripulantes. · 6 - 28 días en superficie. · Escotilla de cierre de aire integrada en el módulo. · Rango de movimiento limitado inferior a 10 Km.
<p>Habitat de superficie inicial / base inicial</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Misión de duración media. · Experimentos científicos en la superficie. · Construcción y desarrollo de recursos. · Planta de explotación de recursos del lugar (IRSU). · Tripulación mayor. · Hábitat de clase II. · Laboratorio separado del hogar. · Mantenimiento de la escotilla de cierre de aire y de los trajes espaciales. · Área de lanzamiento y aterrizaje. · Área de generación energética. · Capacidad de cultivo alimenticio. · Capacidad de transporte a superficie. 	<ul style="list-style-type: none"> · 28 - 180 días en superficie. · Sensores remotos y experimentos. · Minería robótica y equipo de construcción. · Velocidad de producción : 10 - 100 Kg / seg. · 6 - 12 tripulantes. · Módulos prefabricados de grandes dimensiones y desplegables , clase II. · Módulos pre-integrados separados, clase I. · Soporte de mantenimiento de la escotilla de cierre de aire y trajes individualizado. · Área de aterrizaje localizada. · PVA / RFC : 10 - 100 KWe. · Cámara : menor del 50%. · Rango de movimiento medio : 10 -100 Km.

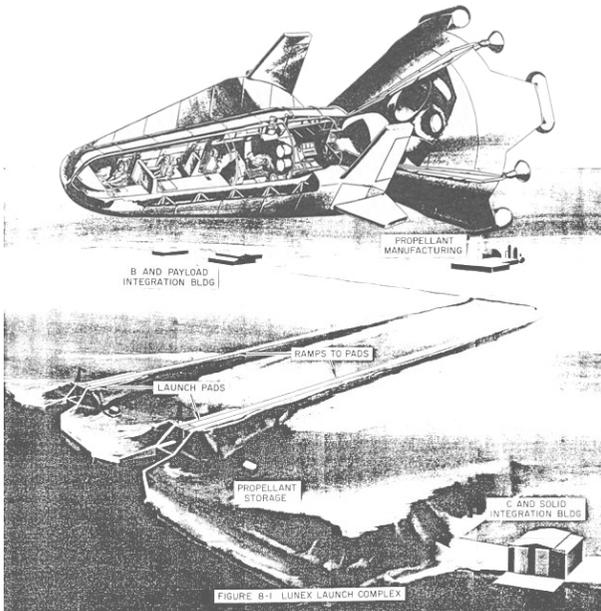
<p>Utilización y producción de recursos</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Producción de materias primas a media escala, a partir de los recursos del lugar y retorno de la inversión. · Recurso de exportación. · Establecer mercado a partir de la explotación de recursos y recuperar la inversión, rentabilizar la misión. · Generación de energía a gran escala. · Capacidad minera. · Capacidad de cultivo alimenticio. 	<ul style="list-style-type: none"> · Capacidad de reabastecimiento de combustible para los transportes, procesamiento de materiales. · Producción de combustible, energía y materias primas. · Entregar combustible, energía y materias primas a órbita / cliente. · PVA / RFC : 100s - 1000s KWe. · Procesamiento de túneles 10T/seg. · Cámara : menor del 80%.
<p>Hábitat de superficie desarrollado / base desarrollada</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Instalaciones subterráneas. · Centro de transporte espacial establecido en la base. · Transporte terrestre a presión. · Producción agrícola a gran escala. · Largas estancias de permanencia. · Tamaño de la comunidad en crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> · Infraestructuras subterráneas destinadas a la explotación de recursos del lugar (IRSU). · Puerto espacial destinado al tráfico aéreo. · Sistema de transporte presurizado en superficie o subterráneo. · Estancia superior a 180 días. · Tripulación superior a los 50 individuos.
<p>Industrialización</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Comercialización de las exportaciones. · Instalaciones de fabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> · Producir y entregar exportaciones. · Plantas de procesamiento presurizadas.
<p>Presencia humana continuada</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Logísticamente independiente. · Económicamente independiente. · Estructura social de una gran comunidad. · Crecimiento sostenible de alimentos a gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> · Capacidad de exportación continuada. · Equipos de producción y reparación in situ. · Gobierno local y estructura social. · Instalaciones bio-domóticas : capacidad de horticultura, agricultura y acuicultura.

03 ANÁLISIS DE PROYECTOS DE BASES LUNARES (1958-2019)

AGENCIA ESPACIAL | ARQUITECTO - INGENIERO - EMPRESA | AÑO DE CREACIÓN | PERIODO DE APLICACIÓN | ESTADO DEL PROYECTO | UBICACIÓN | Nº DE TRIPULANTES - TIEMPO DE MISIÓN | DESCRIPCIÓN



LUNEX PROJECT



USAF



USAF



1958



1961 - 1968



Cancelado



Crater Kepler



3 /vuelo , 21/ base
(10 días)



HORIZON PROJECT

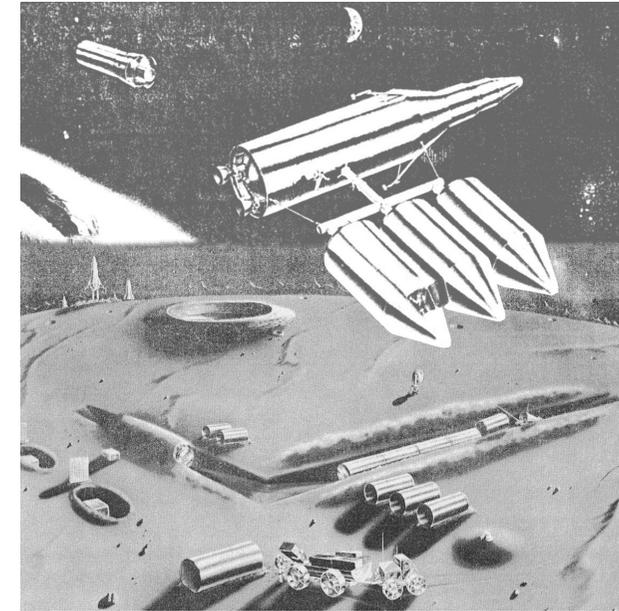


Imagen 21: Estacion orbital, vehiculo orbital de retorno y base lunar

USAF, DA & DoN

ABMA

1959

1964 - 1967

Cancelado

Sinus Aestuum Norte
Sinus Aestuum Sur
Mare Imbrium

12

El proyecto Horizon²¹ tenía la finalidad de construir una base científico-militar para desarrollar y proteger los intereses potenciales de Estados Unidos en la Luna, desarrollar técnicas de vigilancia de la Tierra y el espacio, mejorar la tecnología de las telecomunicaciones y llevar a cabo operaciones de investigación en la superficie del satélite.

CLASE

El vehículo - clase I / La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

Se proponía una base lunar permanente capaz de dar soporte vital a 12 tripulantes comprometidos en una misión continua. El diseño estaba basado en requisitos y capacidades reales, dotándolo de un enfoque funcional y con posibilidades de ser desarrollado. El proyecto estaba influenciado por las condiciones ambientales del satélite y por el sistema de transporte , Saturno A-1 y Saturno A-2.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La base estaría construida a partir de la union de tanques cilíndricos metálicos, que serían enterrados bajo el suelo lunar. Los tanques previamente descritos constituyen el cuerpo principal del vehículo de aterrizaje, uniéndose para generar el habitáculo mediante una membrana que se hincha para aislar el espacio interno.
L : 6m ; Ø : 3m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

No existe, ya que el sistema constructivo se basa en el acoplamiento de piezas.

ASPECTOS HABITACIONALES

La unión de los tanques va generando las diferentes estancias : la escotilla de cierre de aire, los cuartos de la tripulación, laboratorios destinados al estudio biotecnológico y físico y el almacén de suministros vitales y de armamento. Finalmente, se disponen dos reactores nucleares apartados de la base habitada.



Imagen 20: Base lunar y módulo de aterrizaje Lunex

El proyecto Lunex²⁰ consistía de dos fases: la primera, un aterrizaje tripulado sobre la superficie lunar, previo al Programa Apollo; y una segunda etapa, cuyo fin era desarrollar una base subterránea de la Fuerza Aérea con capacidad para 21 aviadoreas.

CLASE

El vehículo - clase I / La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El vehículo Lunex estaba compuesto por un módulo de aterrizaje y otro de retorno / reingreso, estaba diseñado para que aterrizase todo el vehículo y sus tripulantes en la superficie lunar y para reincorporarse de nuevo a órbita.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Dado que se pretendía aterrizar y despegar de nuevo con el vehículo íntegro, esto suponía un incremento del combustible y por tanto del peso, lo que hubiera implicado un cohete de mayor envergadura.
L :16.16m ; Ø (max) : 7.62m ; M : 61 000 Kg

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

No existe

ASPECTOS HABITACIONALES

El vehículo preveía un soporte vital para 3 tripulantes durante 10 días . La base propuesta constaba de una plataforma de aterrizaje, una plataforma de lanzamiento, un puesto de fabricación de carburante in-situ, un depósito de carburante, un punto de integración de la carga útil y un punto de integración de material sólido.

ZVEZDA LUNAR BASE

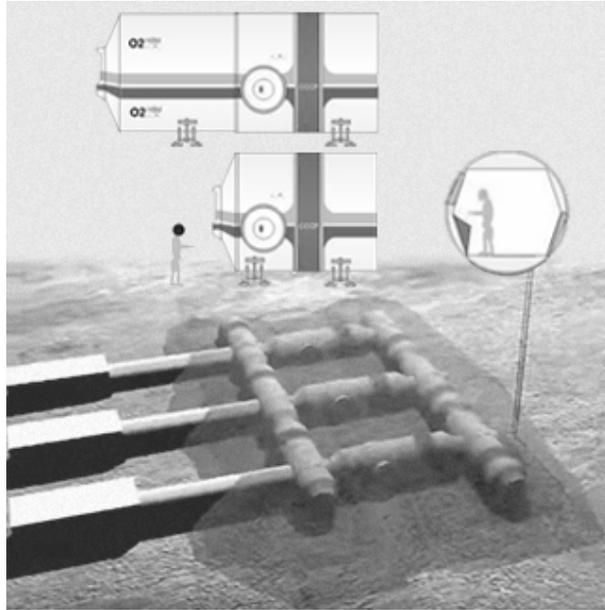


Imagen 22: Base lunar compuesta por la unión de módulos DLB soviéticos

El proyecto Zvezda²², también conocido como DLB, consistía en una base lunar a largo plazo con tráfico regular entre la Tierra y el satélite. Para ponerla en marcha, primero era necesario realizar viajes con la nave Ye-8 y Lunokhods con el fin de recoger muestras de roca, analizarlas y así poder elegir la ubicación idónea.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal de la misión, a parte de lograr la ubicación idónea, era la extracción de Helio-3 para su uso en reactores de fusión nuclear en la Tierra y la extracción de agua del suelo lunar mediante reacción química. La base estaría tripulada por nueve cosmonautas y consiste en nueve módulos.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Una vez colocados los módulos en la superficie lunar, éstos serían hinchados con aire y se desplegarían aumentando su longitud y superficie útil. La energía utilizada estaría proporcionada por reactores nucleares. Después se procedería a su acoplamiento y por último serían cubiertos de regolito lunar.

Los módulos estaban compuestos por tres capas; la capa externa e interna eran metálicas, y la intermedia de espuma de poliestireno específica.
L (comprimida) : 4.5m ; L (desplegada) : 8.6m ; Ø : 3.3m ; S (desplegada) : 22.2m²

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Mediante aire, ya que se proponían estructuras hinchables.

ASPECTOS HABITACIONALES

La base estaría compuesta por el módulo de comando, el módulo de laboratorio / almacén, el módulo de taller, el módulo médico / gimnasio, el módulo de punto medio, el módulo de cocina con comedor y tres módulos de vivienda. Se planteó la existencia de una falsa ventana con proyecciones de video que reprodujeran imágenes de la Tierra.

Programa espacial
soviético

V.P.Barmin

1962

1980's

Cancelado

9 - 12



NASA



Goodgear
Corporation



1964 - 1965



1970's



Prototipo construido



-



2
(14- 30 Días)



El proyecto²³ se creó con el fin de extender el tiempo de permanencia de la tripulación en la superficie lunar para misiones posteriores al programa Apollo.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

Desarrollar, evaluar y definir el diseño conceptual de un refugio lunar que, tras seis meses de almacenamiento no revisado, sea apto para que dos tripulantes puedan sobrevivir un mínimo de 14 días y un máximo de 30.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Es un refugio cilíndrico hinchable con escotilla de cierre de aire integrada. Por tanto, el módulo consta de dos piezas: el módulo habitable presurizado y la unidad que alberga la escotilla de cierre de aire.

Está compuesto de una cubierta exterior de nailon, una capa intermedia de espuma de vinilo de célula cerrada, una capa estructural y, finalmente, una tela interna de nailon unida por capas adhesivas de poliestere, que conforma el espacio presurizado habitable.
Ø : 2.1m ; L : 5.3m (Zona presurizada : 3.8m) ; V : 14.6m³ (Zona presurizada : 11.6m³) ; M : 148Kg ; P : 0,34 atm

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Fabricación industrial terrestre, embalaje en un cuadrante del módulo lunar Apollo, para el que fue diseñado y despliegue y montaje, realizado por la tripulación en suelo lunar, situándolo en la localización precisa de la misión.

ASPECTOS HABITACIONALES

Un único habitáculo amplio, en comparación con la restricción espacial de los vehículos, e integración de la escotilla de cierre de aire en el diseño.



Imagen 23: Módulo habitable presurizado y escotilla de cierre de aire



AES LUNAR BASE

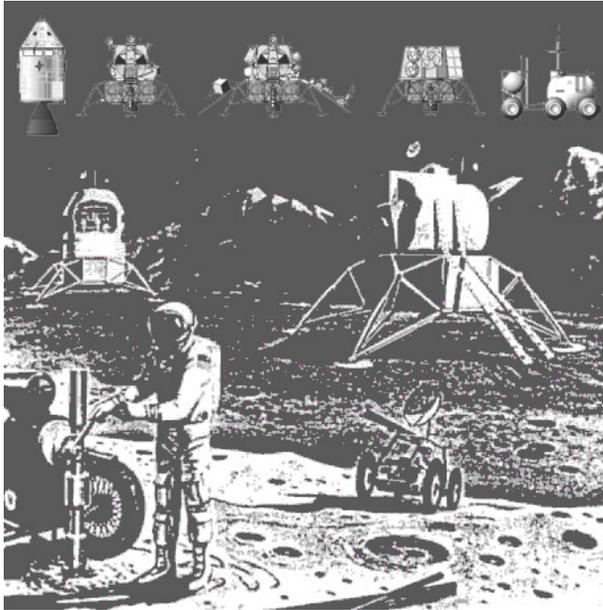


Imagen 24: Sistemas de soporte de la base lunar Apollo.

El proyecto AES²⁴ (Apollo Extension Systems) fue planteado como la primera base lunar estadounidense, que no se llegó a llevar a cabo tras la finalización del programa Apollo con el Apollo XVII.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

Se partía del Módulo Lunar Apollo (LM) y se desarrollan dos versiones : el Refugio LM y el Taxi LM.

Para desarrollar el proyecto, se requerían dos lanzamientos del cohete SATURNO V. El pimer lanzamiento estaría destinado a colocar el CSM en órbita lunar y desacoplar el Refugio LM, que descendería a suelo lunar sin tripulantes , de tal forma que el CSM volvería a la Tierra con los tres tripulantes. En el segundo lanzamiento , se utilizaría un CSM extendido (con más combustible) con el fin de situarlo en órbita lunar con un tripulante y desacoplar el Taxi LM con los otros dos tripulantes, haciéndolo descender a suelo lunar junto al refugio LM. Tras la misión de 14 días en suelo lunar , los dos tripulantes regresarían al CSM, en órbita, en el taxi LM al encuentro del otro tripulante y regresarían a la Tierra.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL /MEDIDAS

Tanto el Refugio LM como el Taxi LM cuentan con un sistema desplegable una vez asentados en la superfié del satélite.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Ambos elementos cuentan con ello pero no se especifica el sistema.

ASPECTOS HABITACIONALES

EL Refugio LM debe estar provisto de todo lo necesario para que la tripulación pueda vivir y desarrollar sus actividades durante 14 días. Disponían de un vehículo Rover diseñado específicamente para este programa.

LUNAR ROVING VEHICLE (LRV)

NASA

Frener Pavlics,
Boeing, G.Motors

1971

1971 - 1972

Operativo en el Apolo
XV, XVI y XVII

Mare Imbrium (XV)
Tierras Altas (XVI)
Montes Taurus (XVII)

2
(66h , 71h, 74h)

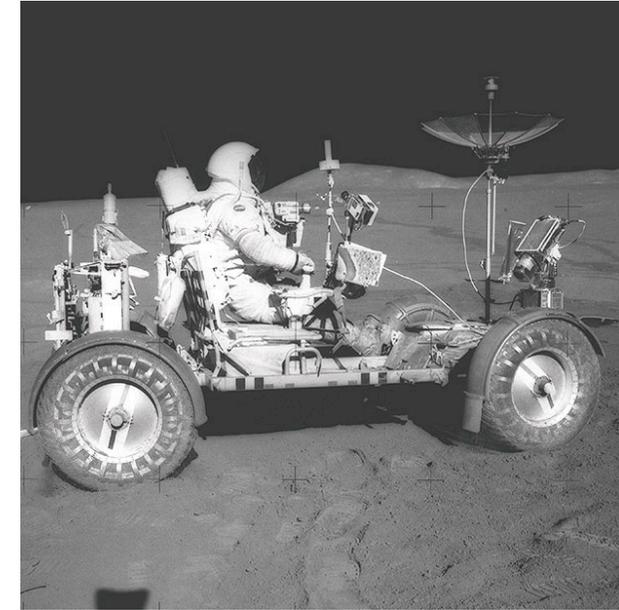


Imagen 25: Puesta en marcha del LRV sobre suelo lunar. Apollo 15

El programa Apollo desarrolló un vehículo²⁵ eléctrico desplegable de cuatro ruedas que fue utilizado el las tres últimas misiones del programa ; el Apollo XV , el XVI y el XVII.

CLASE
El vehículo - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal era que el vehículo pudiera ser operativo en las condiciones de baja gravedad de la Luna y que la tripulación pudiera ampliar el rango de las actividades extravehiculares realizadas en la superficie del satélite.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Las ruedas eran metálicas, realizadas con malla de alambre de aluminio , el chasis era de aleación de aluminio y los asientos plegables eran de aluminio recubierto de tela. Tanto la parte delantera como la trasera del chasis y el sistema de suspensión eran plegables.
L (plegado) : 1.5m ; L (desplegado) : 3.1m ; A (plegado) : 0.5m ;
A (desplegado): 1.8m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

El vehículo fue plegado y almacenado en uno de los compartimentos triangulares del LM, con la parte inferior del chasis mirando hacia fuera. Una vez en suelo lunar, los astronautas verificaron las condiciones de la bodega de carga y prosiguieron con la extracción del vehículo tirando de unas cuerdas para activar el mecanismo de despliegue. La parte inferior del chasis y las ruedas fueron lo primero en desplegarse y tocar el suelo, después desplegaron los asientos y los reposapiés.

ASPECTOS HABITACIONALES

El vehículo mostraba la combinación de un sistema de movilidad despresurizado con sistemas similares a los del traje espacial. El concepto de despliegue y embalaje se desarrolla como si se tratara de un mini hábitat.





Imagen 26: Vehículo lunar tripulado L3M (izq.) y diseño posterior (drch.).

El proyecto L3M²⁶ consta de una fase inicial y una posterior, siendo la principal diferencia entre ellas la colocación de la Soyuz de retorno a la Tierra.

L3M

Programa espacial soviético

Programa espacial soviético

1972

Cancelado

2(izq.)/3(drch.)
(16 días /90 días)

CLASE

La base - clase II

OBJETIVO DE DISEÑO

Precisaba de dos lanzamientos de cohete N1M para poder desarrollar la misión. El primero de ellos tendría como objetivo colocar la etapa de frenado Block R RTB en una trayectoria translunar y trasladar el RTB a órbita lunar. En cuanto al segundo, lanzaría el módulo de aterrizaje lunar tripulado L3M. El L3M, ya en órbita lunar, se acoplaría en cola con la etapa RTB, trasladándose hasta la localización en suelo lunar donde el L3M se desacoplaría para realizar la misión.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

L3M (inicial) ; M : 21T
L3M (posterior) ;WWW M : 23T ; A : 7.90m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

De la estructura principal únicamente se despliegan los soportes que tocan la superficie.

ASPECTOS HABITACIONALES

En el caso de L3M inicial, la Soyuz era externa respecto del módulo habitable presurizado por lo que requería de actividad extravehicular con trajes para ir de uno a otro. Además, el habitáculo estaba diseñado para sustentar a 2 tripulantes durante 16 días máximo. Mientras que en el caso posterior del L3M, la Soyuz estaba dentro del espacio presurizado, limitando la actividad extravehicular solo a las actividades requeridas por la misión y minimizando riesgos. Este proyecto se diseñó para sustentar a 3 tripulantes durante 90 días.

LEK - LUNAR EXPEDITIONARY COMPLEX



Programa espacial soviético



K.D.Bushuyev, I.S.Prudnikov, Glushko



1974



1980's



Cancelado



3
(6 meses/rotando)



El complejo expedicionario LEK²⁷ era un proyecto creado para generar una base permanente de investigación en la Luna.

CLASE

Todos los componentes de la base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

Tenía como fin realizar las siguientes investigaciones en suelo lunar: estudios de otros planetas, astrofísicos, astronómicos, médicos, biológicos, producción de nuevos materiales y gases, así como recolección de isótopos de helio para uso terrestre.

Para llevar a cabo la base permanente eran necesarias tres etapas:

La primera constaría de tres lanzamientos del cohete Vulkan para entregar un LZHM, un Lunokhod y un LEK con 3 cosmonautas. La segunda consistiría en dos lanzamientos para entregar otro LZHM, un Lunokhod y un LEK con otros tres cosmonautas. La tercera constaría de un lanzamiento para entregar la ZLM y otros aparatos científicos. Tras esto, se harían lanzamientos adicionales para rotar la tripulación y enviar provisiones.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Características del LEK ; M : 8.2T ; A : 8m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

De la estructura principal únicamente se despliegan los soportes que tocan la superficie.

ASPECTOS HABITACIONALES

LEK: el vehículo de transporte y regreso de los cosmonautas, portaba la Soyuz.

LZHM : módulo de residencia y trabajo para tres cosmonautas.

Lunokhod : es un laboratorio presurizado sobre ruedas, abastecido de energía nuclear proveniente de dos reactores enterrados bajo el suelo lunar.

ZLM : módulos de laboratorio biológico y físico en dos de sus lóbulos y una fábrica para producción de oxígeno en el tercero.

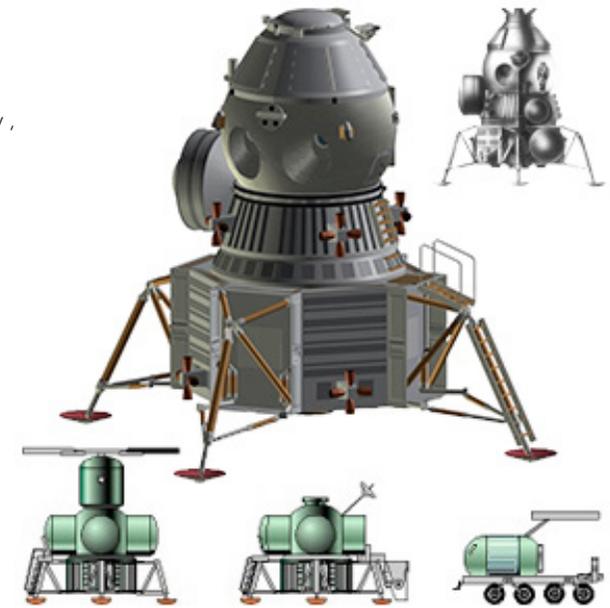


Imagen 27 : LEK, LZHM, ZLM y Lunokhod.



JSC MOON BASE

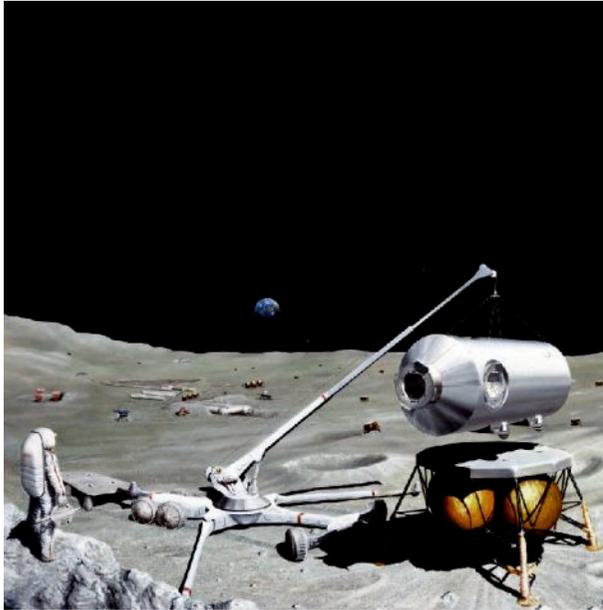


Imagen 28: Elementos de la base lunar JSC.

Esta base lunar tripulada, propuesta por un equipo del Centro Espacial Johnson (JSC)²⁸, era un proyecto a gran escala que requería de varios años de desarrollo. La financiación del proyecto se realizaría mediante la exportación de oxígeno lunar "LunOX" para industrias espaciales en órbita terrestre, producido por la minería lunar e instalaciones de producción / fabricación de oxígeno que se pretendían desarrollar.

CLASE
El proyecto - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

La finalidad de este proyecto era lograr una base lunar autosuficiente para 2018. Para construir la base era necesario disponer de una amplia infraestructura previa: un transbordador, un vehículo de carga pesada derivado de la lanzadera, una estación espacial y un vehículo de transferencia orbital (OTV). El proyecto constaría de varias misiones repartidas en estos años, las cuáles requerirían de varios lanzamientos.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Para las misiones de intercambio de tripulación, la OTV transportaría módulos de pasajeros cilíndricos de 5,5T para 4 astronautas u 8T para 6.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
No se especifica.

ASPECTOS HABITACIONALES

Una vez completado el desarrollo de la base lunar, pasaría a denominarse "base avanzada" y constaría de los siguientes espacios: cinco módulos de habitación, un laboratorio geoquímico, un laboratorio químico/biológico, un laboratorio de petrología y geoquímica, un acelerador de partículas, un radiotelescopio, producción de oxígeno, cerámica y metalurgia, dos talleres, tres unidades de potencia (90% derivada de material lunar), una excavadora/grúa y tres remolques/unidades de movilidad.

NASA

Barney Roberts del JSC

1984

2005 - 2018

Cancelado

18
(14 Semanas/
tripulante)

THE INFLATABLE LUNAR HABITAT

NASA

Departamento de programas avanzados del JSC

1986 - 1989

-

Cancelado

6 - 12

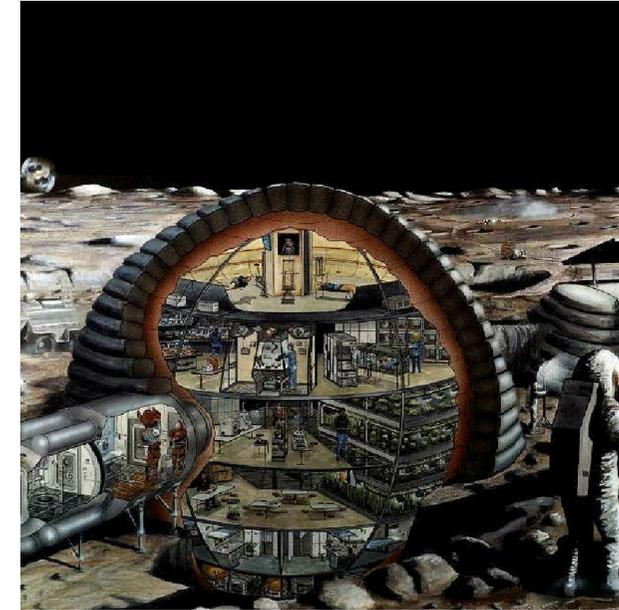


Imagen 29: Imagen de la base lunar hinchada seccionada.

Es un proyecto²⁹ de base lunar cuyo fundamento era un espacio habitable hinchable en combinación con otras unidades de superficie.

CLASE
La base - clase II y III

OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo era mejorar el conocimiento de cómo vivir y trabajar en la superficie del satélite.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La envolvente de la base está constituida por una membrana neumática esférica en cuyo interior existe una jaula estructural para soportar los forjados, las paredes y los equipos. El material de la envolvente neumática es fibra de aramida DuPont Kevlar y revestido con bolsas de arena rellenas de regolito lunar, con el fin de proteger el espacio contra la radiación.
Ø : 16m ; V (desplegado) : 2145m³

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

La fabricación de la base se realiza mediante procesos industriales en la Tierra, se ensambla y se procede al preempalaje de elementos. Una vez en suelo lunar, se hincha la estructura y se consolida con regolito lunar in situ.

ASPECTOS HABITACIONALES

El volumen esférico habitable consiste en un sólo módulo dividido en 6 niveles. En la planta baja, la que está en contacto con el suelo, se encuentra la bodega de carga y los sistemas de soporte vitales. En la planta primera se ubican los cuartos privados de la tripulación, nivel en el que están bien protegidos de la radiación. Las plantas segunda y tercera son los niveles principales donde se realizan las operaciones de la base, y en ellas se encuentra la escotilla de cierre de aire para salir al exterior a realizar la actividad extravehicular. En la planta cuarta se sitúan los laboratorios y, finalmente, en la quinta se encuentra la plataforma de observación y ejercicio.



THE LAWRENCE LIVERMORE LUNAR BASE

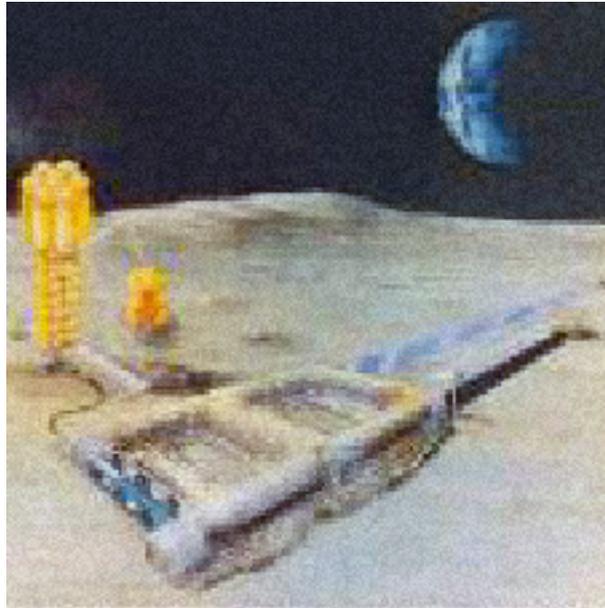


Imagen 30: Base lunar Lawrence Livermore.

Este concepto de base³⁰ lunar proponía módulos hinchables que conforman la estructura principal para albergar los laboratorios y el resto de estancias donde se desarrolla la vida.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo era generar una base lunar desplegable para la exploración humana del satélite generando el menor número de costos y con un diseño adaptado a los vehículos de lanzamiento existentes.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Cuenta con un sistema estructural híbrido, es decir, rígido e hinchable, de tal manera que combina elementos metálicos rígidos con membranas flexibles. Estas membranas estaban compuestas de varias láminas de Uretano / Tedlar. La envolvente exterior se componía de varias capas de materiales, una de ellas de protección térmica y al finalizar el proceso constructivo, el complejo era cubierto con regolito para proteger de los meteoritos y la radiación.

(cada módulo) Ø : 5m ; L : 3.5m ; (la base) Ø : 5m ; L : 17m ; P : 0.51 atm

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Al posar los elementos en suelo lunar se procedería a hinchar las membranas y desplegar los elementos rígidos.

ASPECTOS HABITACIONALES

Cada módulo hinchable alberga distintas funciones. Durante el estudio de este proyecto se llevaron a cabo evaluaciones de seguridad y posibles problemas estructurales de cara a tener en cuenta en futuros proyectos como, por ejemplo, en caso de que un módulo fallase, éste quedara inhabilitado como sucede en los submarinos, mientras que el resto de la base seguiría en funcionamiento.

LLNL

ILC Dover

1989 - 1990

-

Concepto de estudio

-

-



Lunar Resources Company



Artemis Society



1990



1994 - 2002



Cancelado



-



3 / vuelo, 12 / base



El proyecto³¹ quería dar solución a una comunidad permanente y autosuficiente en la Luna.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El proyecto abarca todos los aspectos de misión a tener en cuenta para poder desarrollar la base lunar y contribuir a la investigación en el satélite.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
No se especifica

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
No se especifica

ASPECTOS HABITACIONALES

La base se compone de los siguientes elementos:

El módulo habitable presurizado : es el lugar en el que vivirá la tripulación, cuenta con seis ventanas circulares y elementos vegetales en el interior que propiciarían el inicio del sistema de soporte vital de ciclo cerrado. También cuenta con la escotilla de cierre de aire para salir al exterior.

Una matriz de energía solar : establecida en suelo lunar, consistía en la colocación de espejos reflectantes cuya función era triplicar la cantidad de luz solar concentrada en las células solares.

Una antena de alta ganancia : que debía ser colocada por la tripulación.

Un Robot : sería el encargado de ir realizando fotos durante la misión.

La etapa de descenso : compuesta por los motores y tanques de combustible vacíos, los cuales serían reutilizados como depósitos para almacenar oxígeno extraído del suelo lunar.

Una etapa de ascenso : para que la tripulación regresara al LTV en órbita lunar y regresar a la Tierra.

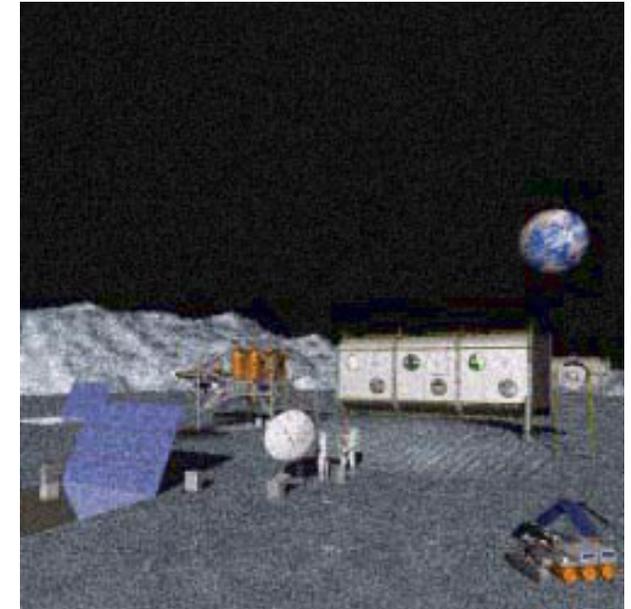
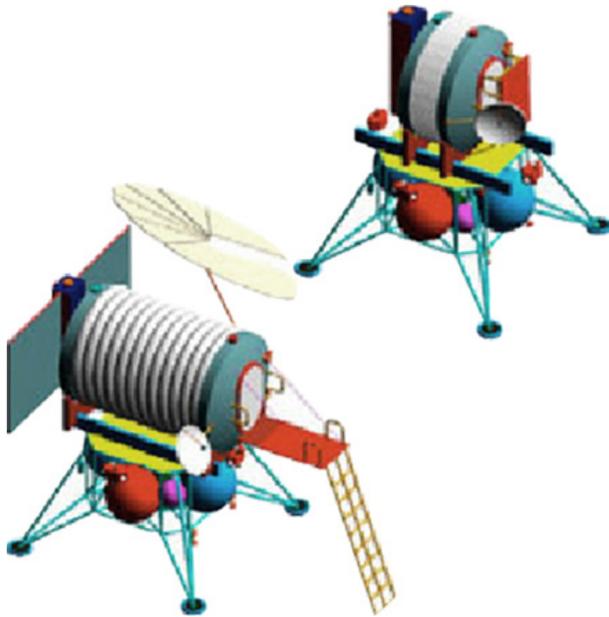


Imagen 31: Elementos que componen la base lunar.



EXPANDABLE LUNAR HABITAT

KOPERNIKUS LUNAR BASE



NASA

ILC Dover

1996 - 1997

Concepto de estudio

2
(6 Días)



Vienna University of
Technology , ESA / ESTEC

K.Ozdemir,
R.Waclavicek

2002

Concepto de estudio

Polo Sur

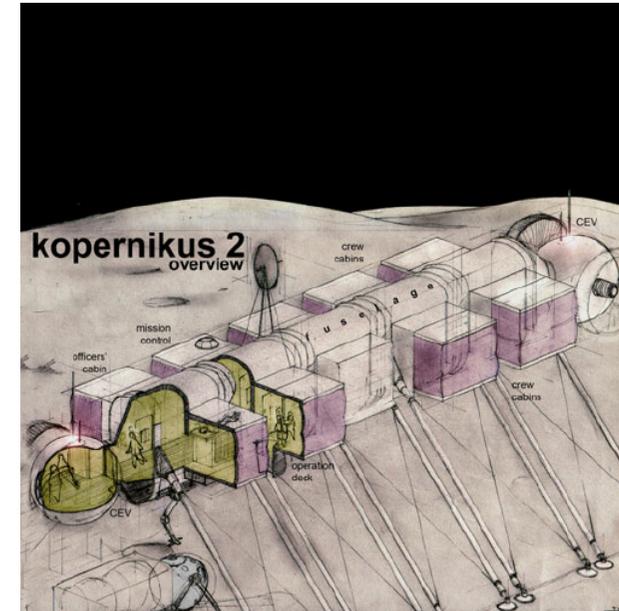


Imagen 33: Croquis de funcionamiento de la base lunar Kopernikus.w

El proyecto era una propuesta de base lunar que incluía una estación comercial para proporcionar servicios logísticos para otras estaciones supuestas en la región del Polo Sur de la Luna.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo principal era desarrollar un concepto de base lunar centrada en la fase de asentamiento en el satélite.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
La estructura es de tipo híbrido, prefabricada, modular y dispuesta para ser empaquetada y transportada a suelo lunar, donde sería montada y desplegada.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Los elementos desplegables que tiene la base son los soportes que la elevan del suelo y las unidades de cabina que se hinchan desde el cuerpo axial principal de la base hacia los lados.

ASPECTOS HABITACIONALES
Los diferentes espacios de estancia se generan mediante el concepto de la expansión de la pieza modular. El espacio principal de la base esta formado por unidades habitables rígidas y presurizadas que están unidas de extremo a extremo constituyendo la columna vertebral del conjunto, albergando el pasillo de transferencia interno , que conecta todas las unidades habitables, con los sistemas de soporte vital y energía . A este elemento axial se conectan unidades adicionales como las cabinas de la tripulación , el módulo de comando y la estación médica. Estos módulos que se acoplan al eje son parcialmente hinchables, proporcionando un espacio habitable confortable al mismo tiempo que albergan la infraestructura técnica esencial.

Imagen 32: Boceto conceptual del módulo lunar.

El proyecto estudió la posibilidad de generar un módulo habitable que se asentara y desplegara automáticamente en suelo lunar antes de que llegara la tripulación.

CLASE
El módulo lunar - clase I.

OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo era desarrollar un módulo habitable, hinchable, de bajo coste y que pudiera ser transportado en vehículos de lanzamiento existentes.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
La estructura es híbrida, por lo que combina elementos rígidos y elementos hinchables. El elemento cilíndrico esta compuesta a partir de composite flexible para la parte extensible central, que parece un fuelle, cerrando el conjunto con tapas laterales rígidas que albergan el hardware técnico.

Los materiales estan dispuestos en múltiples capas para aportar el mayor aislamiento ; Elastica para el tejido, Vectran para el hilo de unión, Tela recubierta en multiples capas para generar el cilindro y Urethane para cubrir la envolvente.
Ø : 2.3m ; L : 3.6m ; P : 0.54atm

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Se realiza hinchando la estructura con aire. La fabricación industrial, el montaje y el embalaje del módulo se lleva a cabo en la Tierra y una vez esté colocado en suelo lunar se procede al despliegue automático. Para dar solución al suelo se optó por placas plegables.

ASPECTOS HABITACIONALES
El planteamiento híbrido y de despliegue automático de este proyecto podría dar lugar a crear una red de varios módulos con idea de una mision lunar más avanzada.



TYCHO ROLLING LUNAR BASE



Imagen 34: Modelo de la base lunar rodante.

El proyecto³⁴ surgió bajo la premisa de integrar la extracción de Helio-3 como actividad principal de la tripulación a todos los niveles: investigación científica, supervisión de la extracción y exploración de nuevas áreas.

Vienna University of
Technology, ESA / ESTEC

S.Haeuplik-M., S.Lorenz
, M.Springer

2002

Concepto de estudio

CLASE
La base - clase I y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal era lograr un diseño de hábitat que pudiera desplazarse sobre la superficie lunar, con protección de meteoritos y de radiación integrada utilizando los recursos del lugar (IRSU), y que apoyase el proceso de la minería. La base se desplazaría pocos metros por semana.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La estructura esta basada en tres esferas: la interior contiene el hábitat, la intermedia está parcialmente llena de agua, que actúa como líquido deslizante, y la exterior conforma la capa de protección contra los agentes externos.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

La esfera interna cuenta con una serie de sacos hinchables, o ventanas hinchables, que cuando se accionan desplazan el agua de la capa intermedia generando movimiento y, al mismo tiempo, actúan de ventanas, ya que llegan a tocar la esfera externa generando visibilidad en esa superficie. Cada una de las ventanas se presuriza de forma independiente.

ASPECTOS HABITACIONALES

El espacio habitable se reduce a la esfera interna y únicamente se puede salir o entrar cuando las tres esferas están alineadas en reposo. La ventaja que tiene el espacio esférico es que es adaptable a una gran variedad de configuraciones en el interior dependiendo en que posición se pare la esfera, a pesar de ser un volumen reducido.

MOBITAT



NASA



Plug-in Creation
Architecture



2004



Periodo



Estudio de diseño



-



-



Imagen 35: Configuración desplegada del módulo Mobitat en superficie.

El proyecto Mobitat³⁵ se planteó como un hábitat de módulos a presión móviles, tomando como inspiración del concepto de la base lunar Hobot. A diferencia de ésta, el Mobitat sería desplegable y podría acoplarse a varios vehículos de lanzamiento.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo era desarrollar una base móvil para la superficie lunar que pudiera expandirse y tener una configuración más amplia. Cada módulo tiene sus propios motores integrados de cohetes de descenso y grúas, además de ser compatible con operaciones en superficie tales como implementos de perforación, excavación y construcción.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

El proyecto se planteaba con una estructura modular rígida plegable.
L (base) : 7.2m ; Ø (base) : 4.2m ; H (base) : 1.9m - 5m ;
Ø (compuerta) : 4.2m ; H (compuerta) : 3m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

El módulo plegado sería entregado a la órbita lunar y, en el descenso a superficie, comenzaría a desplegarse el sistema de movilidad.

ASPECTOS HABITACIONALES

El módulo presurizado, caracterizado por su forma hexagonal, y la plataforma móvil se diseñaron para que pudieran desacoplarse. Ambos ofrecen varios usos para la tripulación. En el caso del módulo presurizado, es acoplable con otros similares para generar un habitáculo mayor.



MOONWALKER LUNAR BASE

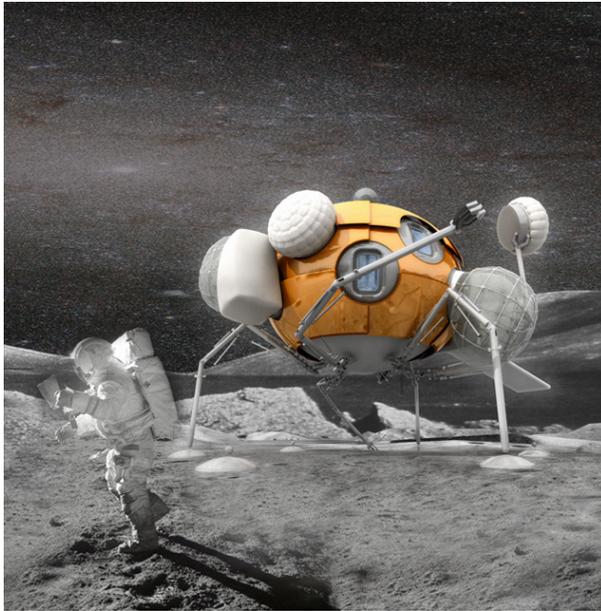


Imagen 36: Implementación desplegada de la base Moonwalker.

EL proyecto³⁶ se planteó bajo la premisa de poder adaptarse a múltiples situaciones y ,en consecuencia, poder transformarse arquitectónicamente.

Vienna University of Technology

Sandra Haeuplik - Meusburger

2005

Estudio de diseño

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

Esta base lunar se configuró para ofrecer la máxima flexibilidad para los tripulantes, los objetivos de la misión y el medio ambiente, mediante cuatro niveles conceptuales de adaptabilidad:

- Contextual: Moonwalker se diseñó con piernas que funcionan como herramientas de aterrizaje, sustento, locomoción y en ocasiones de brazos biónicos.
- Externa: su estructura permite una adaptabilidad óptima a desafíos del entorno.
- Interna: la base lunar reaccionaría a las preferencias cambiantes de los usuarios.
- Reflexiva: el mobiliario es inteligente, reaccionaría y se adaptaría a los usuarios y a los diferentes usos.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Se trata de una estructura híbrida , tanto hinchable como rígida, poseería bolsas de aire que se hincharían adicionalmente para proteger frente a los meteoritos y permitiría hasta doce posibilidades de acoplamiento de complementos y expansiones. Las membranas multicapa estarían reforzadas con una red de tracción.
Ø : 5.5m ; L : 6m ; Ø (desplegado) : 11m ; H (desplegado) : 10m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Mediante aportación de aire, la estructura multicapa hinchable rígida se desplegaría. La membrana interior podría ajustarse mediante músculos neumáticos y cojines hinchables.

ASPECTOS HABITACIONALES

La base se diseñó para permitir el ajuste individual interno que el tripulante considere. Los cuartos de la tripulación se relacionan tanto con el interior como con el exterior de la base.

SOLAR FARM ON THE MOON

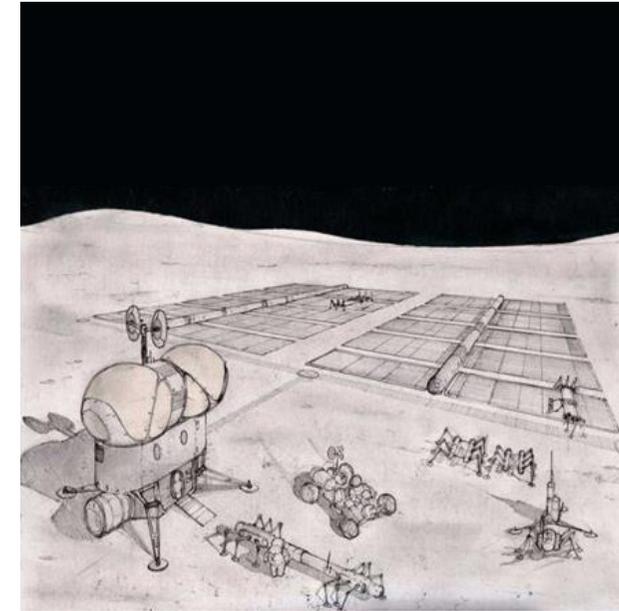


Imagen 37: Dibujo conceptual de la granja solar en la Luna.

La granja solar lunar³⁷ de despliegue automático era un proyecto planteado para realizarse y mantenerse robóticamente sin la presencia de tripulación.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El proyecto planteaba generar una base lunar robótica compuesta de elementos de superficie desplegable, que constituyera una fase de exploración lunar previa a las exploraciones humanas. El objetivo principal era la recolección de energía solar.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

El sistema estructural era híbrido , es decir, compuesto por elementos metálicos rígidos y membranas flexibles.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Los elementos rígidos se desplegarían mientras que las membranas flexibles se hincharían. La fabricación industrial, el montaje y el preembalaje de los elementos se realizaría en la Tierra , mientras que el despliegue automático se llevaría a cabo una vez situado en suelo lunar. Para facilitar el despliegue y posterior ensamblaje, se optó por formas cilíndricas para el diseño del módulo.

ASPECTOS HABITACIONALES

El funcionamiento planteado del proyecto, la estructura robótica de auto-despliegue, auto-reparación y auto-limpieza son condicionantes que aumentan el nivel de habitabilidad y eficiencia operativa en superficie , al mismo tiempo que reduce los riesgos y la carga de trabajo de una futura tripulación.



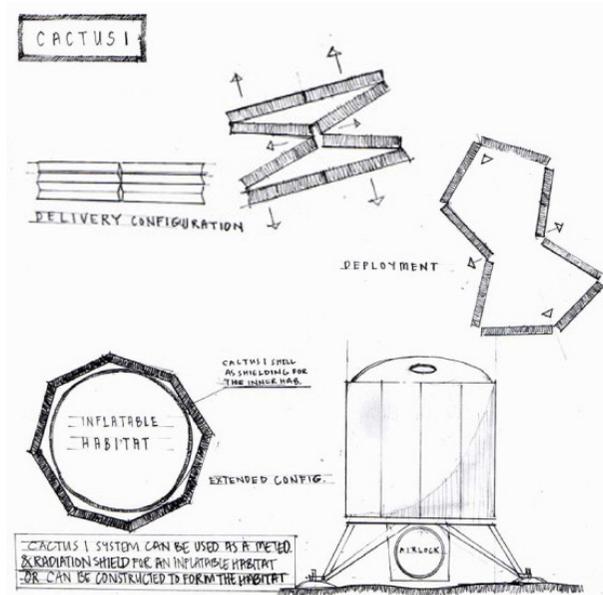


Imagen 38: Dibujo conceptual de la base lunar Cactus I.

Cactus I³⁸ es un proyecto que, junto con otros analizados previamente de la Universidad de Viena, presentaba una solución de base lunar investigando conceptos biónicos aplicables a estructuras desplegables.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO
Aplicación de estructuras desplegables como concepto para la exploración humana en suelo lunar. La transformación de la forma esta planteada como si de un comportamiento biológico se tratase, basándose en concreto en el desarrollo de un cactus.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
Se planteaba una estructura híbrida, compuesta de membranas flexibles y plataformas rígidas.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
El mecanismo de despliegue estaba concebido para que los elementos flexibles se hinchasen y los rígidos se abatieran. La fabricación industrial y el preembalaje serían realizados en la Tierra, mientras que la puesta en funcionamiento automática y finalización de montaje se realizarían en suelo lunar.

ASPECTOS HABITACIONALES
Este proyecto proponía el desarrollo de varios elementos que en un inicio estarían plegados y posteriormente se desplegarían para su utilización. El hecho de utilizar estructuras desplegables incrementaría el volumen habitable y protector frente al entorno, al mismo tiempo que mejoraría la calidad de vida de la tripulación.

CACTUS 1

Vienna University of Technology, ESA, Thales Alenia Space

P.Gruber, B.imhof, V.Kumer, S.Haeuplik, H.Koch, K.Oezdemir, R.Waclavicek
2006

Estudio de diseño

LUNAR OUTPOST

NASA

NASA

2006

2019 - 2024

Propuesta estudiada y cancelada

Cráter Shackleton
Cráter Peary
Cráter Malapert

4
(6 meses)

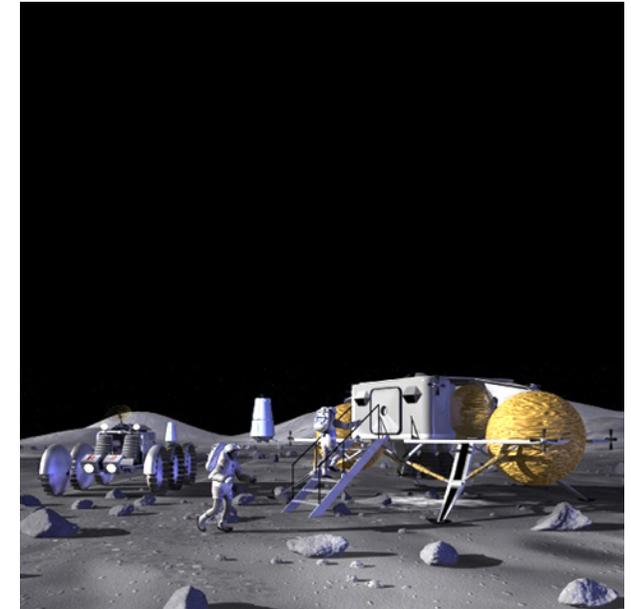


Imagen 39: Imagen conceptual de la NASA de la base lunar.

Lunar Outpost³⁹ consistía en un programa propuesto por la Nasa cuyo fin era el desarrollo de todos los medios necesarios, desde estrategias de exploración e infraestructuras hasta estudios de arquitectura lunar, para lograr la exploración del satélite enviando tripulación en periodos de seis meses.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO
El fin principal era definir una serie de misiones para explorar la superficie de la Luna en varios cráteres donde existe luz solar prácticamente las 24 horas del día. Cuando se desarrolló este proyecto se desconocía la existencia de agua helada bajo la superficie de alguno de los cráteres propuestos.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
Por lo que se puede apreciar en la imagen conceptual realizada por la agencia espacial, el habitáculo propuesto sería principalmente de estructura rígida con algunos elementos desplegables.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
No se especifica.

ASPECTOS HABITACIONALES
Estaba previsto que la base lunar contase con los siguientes elementos: Módulos habitacionales, unidades de energía solar, rovers despresurizados, unidad de utilización de recursos in situ (IRSU) y soporte de movilidad de superficie.



INFLEX LUNAR HABITAT

MOON BASE TWO



Imagen 40: Hábitat y unidad de cámara de aire.

Este proyecto se concibe como un estudio de hábitat⁴⁰ lunar flexible inteligente, el cual se creó para evaluar los diversos problemas en el diseño de hábitats desplegables e investigar los condicionantes volumétricos y de tamaño que afectan a los elementos que lo constituyen, como por ejemplo las puertas, las ventanas y el equipamiento.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal era generar un hábitat de superficie para la exploración humana en la Luna.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

El proyecto estaba construido con una estructura híbrida, es decir, contaba con elementos rígidos metálicos y membranas flexibles creadas con bandas de poliéster de bajo coste y tela recubierta.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Los elementos rígidos se desplegarían mientras que las membranas flexibles se hincharían. La fabricación industrial, el montaje y el preembalaje de los elementos se realizaría en la Tierra, mientras que el despliegue automático se llevaría a cabo una vez situado en suelo lunar.

ASPECTOS HABITACIONALES

La base se compone de dos piezas, el módulo habitable y la unidad de cámara de aire, ambas conectadas. El habitáculo está preparado para monitorizar la salud de los tripulantes, cuenta con sistema de transferencia de señal, materiales flexibles autoregeneradores y materiales antimicrobianos, de baja permeación y con protección radiológica.

NASA



Architecture and Vision
NASA, ESA

ILC Dover



Arturo Vittori,
Andreas Vogler

2007



2007

-



2020

Prototipo construido



Estudio de diseño

-



Cráter Shackleton
(Polo Sur)

2



4 - 6
(6 meses)



Se trata de una versión mejorada de su antecesor, el Moon Base One, y consiste en un laboratorio⁴¹ de superficie planetaria hinchable. Dicho proyecto estaba diseñado para ser transportado a órbita y lanzado por el cohete Ares V en tres etapas junto con el módulo de aterrizaje EDS y Cargo.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El proyecto fue diseñado como una base a largo plazo para realizar investigaciones en la Luna, explorar el entorno y aportar una solución para posibles asentamientos humanos permanentes en otros planetas en un futuro.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La estructura es en su mayoría flexible y por tanto hinchable, a excepción del suelo, que es rígido. Los materiales que la constituyen son: fibra de carbono, aluminio, Kevlar, MLI, Nomex y regolito lunar. Ø: 7.5m; L: 6m; Ø (desplegado): 20m; H (desplegado): 10m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

La base se despliega automáticamente una vez en suelo lunar mediante un proceso que dura unos 5 días. Dado que es una estructura hinchable, el despliegue se realiza mediante aire, logrando unas condiciones de presión del volumen habitable similar a las del nivel del mar en la Tierra. Tras el proceso de despliegue, las bolsas exteriores se rellenarían con regolito lunar mediante un sistema robótico en un plazo de 6 meses, de tal forma que configuraría un espacio protegido de la radiación solar.

ASPECTOS HABITACIONALES

De este proyecto destaca el despliegue automático, el gran volumen que se logra una vez montado en comparación con el volumen de transporte y la protección frente a la radiación.



Imagen 41: Recreación 3D de la base en funcionamiento en la Luna.



IHAB LUNAR INFLATABLE HABITATION SYSTEM

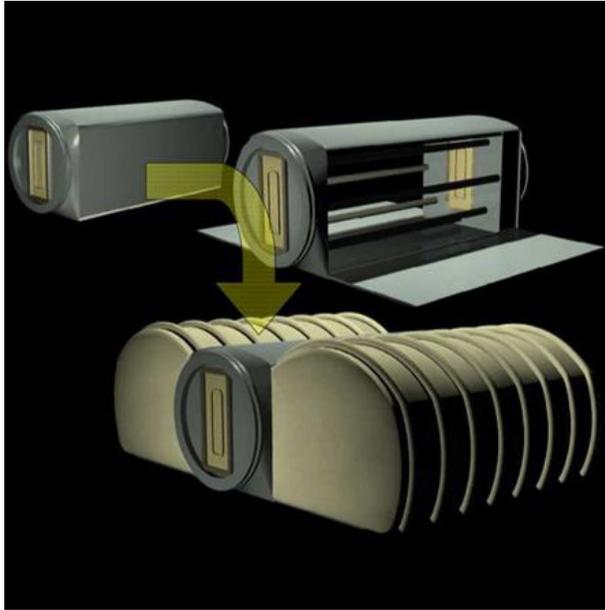


Imagen 42: Imagen conceptual preliminar.

IHAB⁴² fue un estudio centrado en desarrollar diferentes configuraciones de un hábitat desplegable para distintas misiones. Estaba pensado para que la tripulación viajara a la luna y volviera en el cohete estadounidense Crew Excursion Vehicle (CEV).

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo final era hallar una configuración desplegable que funcionase y permitiera a una tripulación de 4 personas una estancia de entre 6 y 12 meses en la superficie lunar.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La estructura de la base propuesta era híbrida, compuesta por un núcleo rígido en combinación con elementos que se hinchan a modo de vejiga realizados por una membrana multicapa.

Módulo rígido Ø : 5.5m ; L : 5.9m ; V : 126m³
Módulo hinchable Ø : 6m ; L : 5.9m ; V : 164m³

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Una vez en suelo lunar, el despliegue se realizaría mediante aire para hinchar la estructura.

ASPECTOS HABITACIONALES

Tras realizar varios modelos se llega a la conclusión de que para lograr un espacio habitable confortable el mejor sistema es mediante una estructura híbrida.

Thales Alenia Space

Thales Alenia Space

2008

Estudio de diseño

4
(6 a 12 meses)



NASA , SICSA, LSSCS,
BAA



Larry B. , Olga B.,
Harmon E. ,Jessica C.,
Frank E. ,Luke S.



2008 - 2009



-



Estudio de diseño



-



-



Como indica el nombre del proyecto, "base lunar de crecimiento evolutivo"⁴³, es una propuesta que se realizó no solo para dar solución a los requisitos básicos de un hábitaculo mínimo, sino que planteaba una solución capaz de adaptarse a la creación de una base lunar más avanzada e incluso dar servicio a asentamientos autosuficientes en el satélite.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal era lograr una base todoterreno, es decir, que sirviera tanto como elemento habitable de funcionalidad mínima, como para dar servicio a hábitats evolutivos futuros.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

La base se compone de módulos de estructura convencional y módulos de estructura híbrida. La cubierta rígida permitiría la instalación previa de los equipos y sistemas de servicio.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

Una vez en suelo lunar y colocados los módulos en el lugar que les corresponda, se procedería a hinchar parte del hábitat.

ASPECTOS HABITACIONALES

Los diferentes módulos permitirían espacios con diferentes capacidades, de tal forma que los más amplios podrían albergar aquellas estancias de uso compartido, específico o incluso evolutivo aportando mayor comodidad a la tripulación. Así mismo, existirían espacios para almacenamiento de combustible, herramientas de mantenimiento , suministros y piezas.

EVOLUTIONARY GROWTH LUNAR BASE

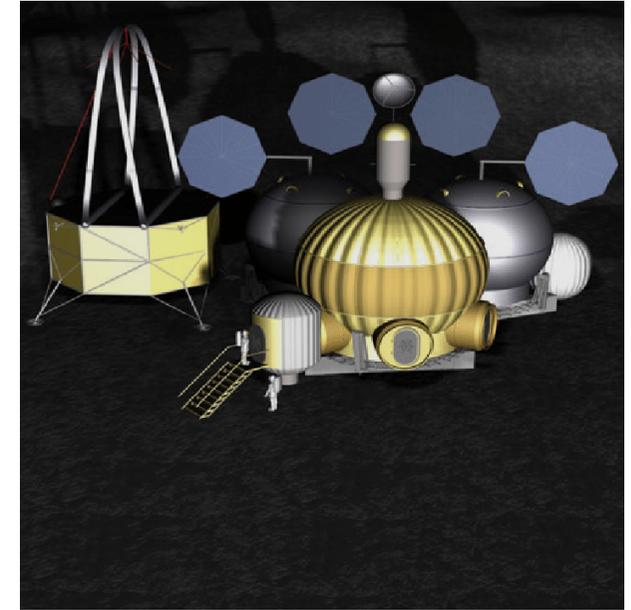
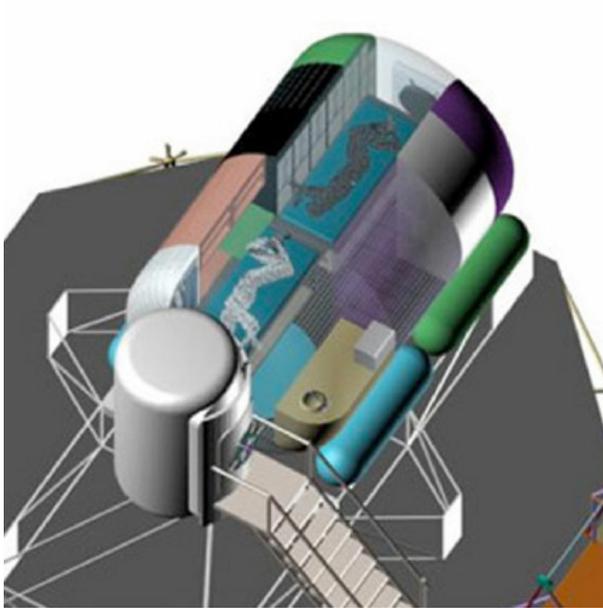


Imagen 43: Recreación 3D de la base.



MINIMUM FUNCTION HABITAT



NASA

ILC Dover, Hamilton Sundstrand, SICSA

2009

Estudio de diseño

4
(16 días)



X-HAB LUNAR HABITAT

NASA

ILC Dover

2010

Prototipo construido

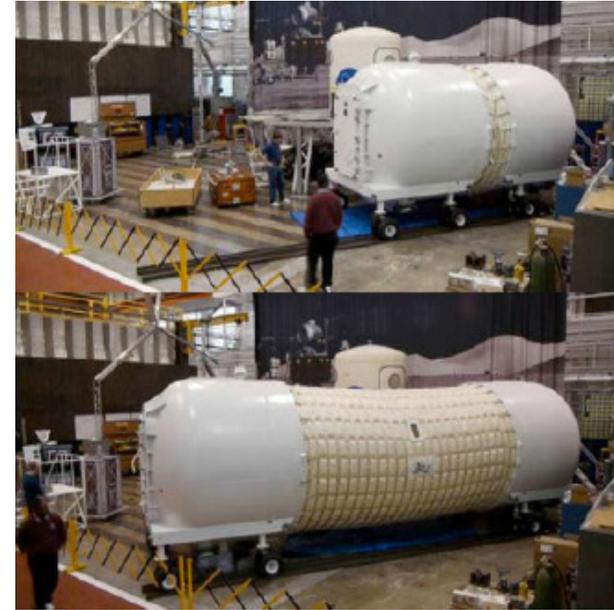


Imagen 45: Prueba de despliegue del X-HAB en NASA LaRC.

X - HAB⁴⁵ es un proyecto desarrollado para el programa Constelación de la Nasa , al igual que el anterior, y en particular para el proyecto ESRT, destinado al desarrollo de hábitats hinchables.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO
La finalidad era lograr un hábitat hinchable ligero que tuviera la capacidad de expandirse, y cuya estructura fuera de tamaño medio para funcionar en la superficie lunar.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
Dicha estructura se compondría de dos extremos rígidos y una parte intermedia flexible. El material flexible , realizado con Vectran, se almacena en los extremos rígidos cuando el hábitat aún no se ha desplegado. La estructura de la cámara de aire está fabricada con un material textil recubierto especializado para contener el gas de inflado.
L (comprimido) : 1m ; L (desplegado) : 5m ; P : 0.61 atm

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Los elementos rígidos se desplegarían, mientras que las membranas flexibles se hincharían. La fabricación industrial, el montaje y el preembalaje de los elementos se realizaría en la Tierra , mientras que el despliegue automático se llevaría a cabo una vez situado en suelo lunar.

ASPECTOS HABITACIONALES
Se generaría una habitabilidad confortable para la tripulación gracias al volumen ampliado que se genera con la extensión del módulo. Es un hábitat versátil, ya que puede utilizarse comprimido o desplegado.



Imagen 44: Imagen del hábitat con la opción de vaina hinchable.

Es un proyecto que desarrollaron las empresas citadas para el programa Constelación de la Nasa, y consistía en desarrollar un hábitat⁴⁴ lunar básico a través del estudio de diferentes esquemas de equipamiento multifuncional para distintos tipos de misión.

CLASE
La base - clase II.

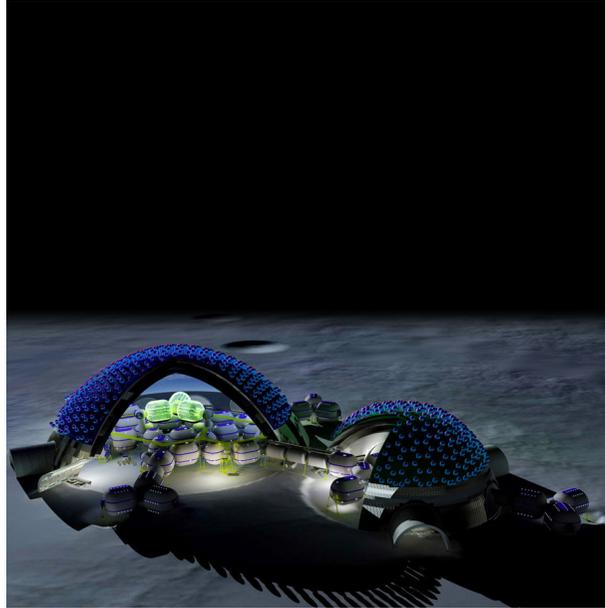
OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo principal era lograr un hábitat mínimo que incorporase materiales flexibles, motivo por el cual se realizaron análisis sobre el diseño de componentes de materiales y sistemas.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
Al tener módulos rígidos y flexibles, se trata de una estructura híbrida.
Ø : 3m ; Ø (desplegado) : 4.5m ; L (desplegado) : 4.5m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Una vez en suelo lunar, el despliegue se realizaría mediante aire para hinchar la estructura.

ASPECTOS HABITACIONALES
El diseño incluía módulos cilíndricos de unos 5m³ para diferentes usos. Cabe destacar que se realizaron análisis específicos de los componentes del sistema de habitación y dicho estudio produjo valiosos conocimientos sobre la arquitectura de hábitats desplegables.

MOON CAPITAL



Architecture and Vision
Shift Boston

Arturo Vittori, Andreas
Vogler, Dario Martini,
Raffi Tchakerian

2010

2069

Estudio de diseño

Cráter Shackleton

60

Imagen 46: Infografía seccionada de las dos cúpulas.

Es una propuesta realizada para un concurso⁴⁶, la cual plantea una base lunar avanzada, basada en la tecnología y conceptos científicos conocidos hasta el momento. El proyecto consiste en varias cúpulas modulares, de gran tamaño, cubiertas con regolito para proteger a las personas y plantas de la radiación.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo principal era diseñar un hábitat para 60 personas en un periodo de 50 años desde el año de creación.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
La estructura principal de la base la conforman dos grandes cúpulas que funcionan como protección pasiva frente a la radiación, ya que se recubren de 3m de regolito lunar. En su interior albergan los módulos habitables e invernaderos.
Ø : 135m ; A : 45m

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Tanto los módulos habitables como los invernaderos son hinchables.

ASPECTOS HABITACIONALES
El sistema modular que se propone permitiría el crecimiento y la extensión a medida que se desarrolla la nueva colonia humana en la Luna. La base dispone de zonas para la investigación, el ocio y la producción, e incluso se propone un pequeño hotel destinado a turistas.

LUNAR OUTPOST SCENARIO



NASA

NASA

2010

-

Estudio de diseño

-

2

Imagen 47: Rovers lunares eléctricos y módulo habitable con escotilla hinchable.

En el desarrollo de este proyecto⁴⁷ se proponía lograr una base lunar compuesta de varios elementos enviados en diferentes lanzamientos de vehículos espaciales.

CLASE
La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO
Una vez realizados los aterrizajes necesarios en la superficie del satélite, se utilizaría un sistema de movilidad llamado Atleta, un explorador extraterrestre hexagonal todoterreno, para descargar, ensamblar y construir la base. Esta base se concebía como un núcleo formado con volúmenes habitacionales, el cual podría dar lugar a una futura expansión y crear una base habitada más compleja.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
Para llevar a cabo esta base, sería necesario disponer de un sistema de transporte de carga pesada. La estructura de los elementos es principalmente rígida, a excepción del hábitat y la compuerta de aire, que se diseñaron con elementos hinchables y por tanto flexibles. Escotilla desplegada : 1m, Escotilla + hábitat : 5m.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
Previo al despliegue, los elementos debían colocarse en la ubicación prevista y posteriormente aquellos elementos que fueran rígidos se desplugarían y aquellos elementos flexibles se hincharían.

ASPECTOS HABITACIONALES
El concepto de hábitat lo desarrollaban a través de tres tipos de elementos móviles presurizados y modulares, pudiéndose adaptar a una ubicación determinada: un pequeño L-Rover eléctrico presurizado (LER) de 12m³, una compuerta de aire externa hinchable de 9m³ y un módulo habitable cilíndrico grande de 56m³. Como conclusión, es una base que permite el crecimiento modular, ampliar las operaciones en superficie y adaptarse a los requisitos ambientales.



LUNAR HABITATION



Imagen 48: Infografía seccionada del habitad.

Este proyecto nace de la mano del estudio de Foster+Partners en colaboración con la Agencia Espacial Europea bajo la premisa de explorar las posibilidades de la impresión 3D para construir habitáculos lunares. El hecho de plantear esta tipología constructiva implicaría transportar la maquinaria necesaria a la superficie del satélite. Actualmente, el proyecto⁴⁸ sigue en desarrollo.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO
El objetivo es lograr un habitáculo para 4 personas que, gracias a la cubrición con regolito lunar mediante una impresora 3D, esté protegido frente a impactos de meteoritos, radiación y fluctuaciones de temperaturas.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
La estructura es híbrida dado que estaría constituida por elementos rígidos desplegables y flexibles hinchables. El proyecto se centra en la investigación para el desarrollo de estructuras similares a sistemas biológicos mediante una impresora 3D, prueba de ello son las maquetas realizadas en la Tierra con el regolito lunar extraído de las misiones Apollo, una de ellas de 1,5T y otras a menor escala, todas ellas realizadas en cámaras al vacío para simular las condiciones lunares.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
La estructura cilíndrica rígida sería transportada hasta el suelo lunar, una vez allí la base se despliega de dicho cilindro. A partir de uno de los extremos del módulo se hincharía una cúpula, convirtiéndose en la estructura de apoyo para la construcción. Seguidamente se irían levantando capas de regolito sobre la cúpula mediante una impresora 3D robotizada, generando de esta manera el armazón protector.

ASPECTOS HABITACIONALES
La escotilla de cierre de aire sería el otro extremo del cilindro y la burbuja el habitáculo. No se especifica como se construyen los dos niveles internos que aparecen en la imagen.

TEST LAB

MOONTOPIA

Monika Lipinska,
Laura Nadine Olivier,
Inci Lize Ogun

2016

-

Concurso

-

Población en
crecimiento

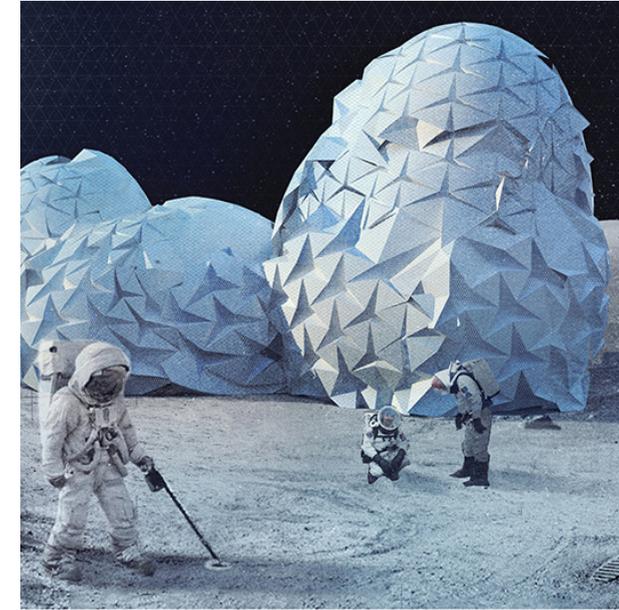


Imagen 49: Imagen exterior del habitad Test Lab.

Test Lab⁴⁹ es la propuesta ganadora del concurso Moontopia, la cual se desarrollaba con la idea de poblar la Luna gradualmente en el tiempo y lograr un habitad autosuficiente.

CLASE
La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO
Para lograr la población avanzada sobre el satélite, se proponía comenzar con un asentamiento simple y singular habitado por un número determinado de astronautas y, a medida que el asentamiento evolucionase y creciera, sería posible la visita de personas no especializadas entusiastas del espacio con el fin de participar en el nuevo entorno generado.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS
El componente más importante de la base es la estructura que conforma la membrana externa. Se realiza siguiendo un patrón de origami simple, que se imprimiría en 3D y podría ensamblarse en el lugar, cuando el material del que está compuesto, fibra de carbono programable, estuviera configurado. Este material detectaría la variación de vientos solares, que serían claves para la generación de oxígeno y agua por contener átomos de hidrógeno.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE
El concepto de montaje consistiría en la unión de piezas de esta membrana de origami hasta generar el habitáculo completo y repetir el proceso para generar más espacios habitables.

ASPECTOS HABITACIONALES
Los espacios habitables se basan en la muñeca Babushka rusa, una capa protege a la siguiente. Las estancias propuestas son las siguientes: dormitorios privados, salas comunes, invernadero, laboratorios experimentales y sistemas.



MOON VILLAGE



Imagen 50: Infografía de Moon Village.

El proyecto propuesto por la Agencia Espacial Europea, el estudio SOM y el Instituto de Tecnología de Massachusetts propone un asentamiento⁵⁰ permanente en la Luna estudiado de forma interdisciplinaria para lograr una solución viable y teniendo presente dos conceptos claves, la resiliencia y la autosuficiencia.

CLASE

La base - clase II y III.

OBJETIVO DE DISEÑO

La base está planificada en tres fases de desarrollo. El complejo lunar está compuesto de elementos de infraestructura y estructuras habitables que aprovechan los recursos del lugar para hacer la vida posible durante un tiempo prolongado. Este aprovechamiento se realiza en diferentes aspectos: luz solar, extracción de agua helada subterránea de la zona y utilización de ésta no solo para abastecimiento, sino para crear aire respirable y propulsores de cohetes. También se prevén experimentos agrícolas para el autoconsumo.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

Los módulos de vivienda presurizados requieren de estructuras de tres a cuatro pisos para albergar las estancias. Parte de la estructura es hinchable, por lo que se trata de un proyecto con tipología híbrida, y se propone la cobertura con regolito lunar para proteger de los agentes externos del satélite.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

El despliegue de las zonas hinchables se realiza mediante aire. Está previsto que los módulos puedan conectarse para permitir la movilidad entre estructuras.

ASPECTOS HABITACIONALES

Los módulos habitables contarían con espacios de trabajo, vivienda y sistemas de control ambiental y soporte vital.

ESA

SOM
MIT

2019

2050 - En adelante

Estudio de diseño en desarrollo actualmente

Cráter Shackleton



BLUE MOON

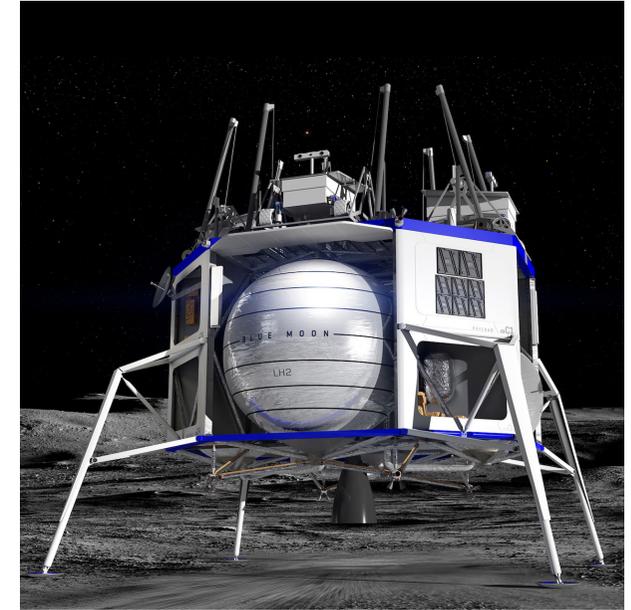


Imagen 51: Módulo Blue Moon no tripulado, para entrega de cargas.

BLUE ORIGIN

BLUE ORIGIN

2019

2024 - en adelante

Prototipo construido

Cráter Shackleton

Inicialmente no tripulado, pero adaptable a tripulación

Blue Moon⁵¹ es un proyecto que la empresa Blue Origin lleva tiempo desarrollando y ha sido presentado finalmente en el mes de mayo de 2019. Se trata de un módulo de aterrizaje flexible no tripulado que puede transportar una gran variedad de cargas útiles a la superficie de la Luna desde pequeños hasta grandes elementos. También está configurado para poder proporcionar kilovatios de potencia a las cargas útiles utilizando sus celdas de combustible.

CLASE

La base - clase II.

OBJETIVO DE DISEÑO

El objetivo principal es pre-posicionar sistemas para futuras misiones y dar servicio a estas, así como realizar misiones no tripuladas de recogida de hielo subterráneo de la zona prevista, para someterlo a estudio.

CONCEPTO ESTRUCTURAL / MATERIAL / MEDIDAS

El módulo utiliza tecnología de aprendizaje automático para aterrizar con precisión y suavidad en cualquier lugar de la superficie del satélite.

CONCEPTO DE DESPLIEGUE

La estructura es esencialmente rígida, con elementos desplegables, y el módulo puede entregar, alojar y desplegar cargas útiles durante su viaje a la Luna.

ASPECTOS HABITACIONALES

Cabe destacar la variante más grande diseñada para este módulo, previsto para 2024, pues portaría un módulo de ascenso en la parte superior, lo que significa que podría viajar tripulación a la superficie de la Luna y regresar a órbita, y posteriormente a la Tierra.



3.1 LOCALIZACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS CITADOS

De los 32 proyectos de bases lunares analizados previamente, únicamente 10 de ellos aportan información acerca del emplazamiento previsto para llevar a cabo el proyecto. En la imagen de la derecha quedan reflejadas sus respectivas ubicaciones.

1. LUNEX PROJECT - Cráter Kepler
2. HORIZON PROJECT - Sinus Aestuum Norte, Sinus Aestuum Sur, Mare Imbrium
3. LUNAR ROVING VEHICLE (LRV) - Mare Imbrium (XV), Tierras Altas (XVI), Montes Taurus (XVII)
4. KOPERNIKUS LUNAR BASE - Polo Sur
5. LUNAR OUTPOST - Cráter Shackleton (PS), Cráter Peary (PN), Cráter Malapert (PS)
6. MOON BASE TWO - Cráter Shackleton
7. MOON CAPITAL - Cráter Shackleton
8. LUNAR HABITATION - Cráter Shackleton
9. MOON VILLAGE - Cráter Shackleton
10. BLUE MOON - Cráter Shackleton

*11. ELEVEN - HEX LUNAR BASE - Cráter Shackleton

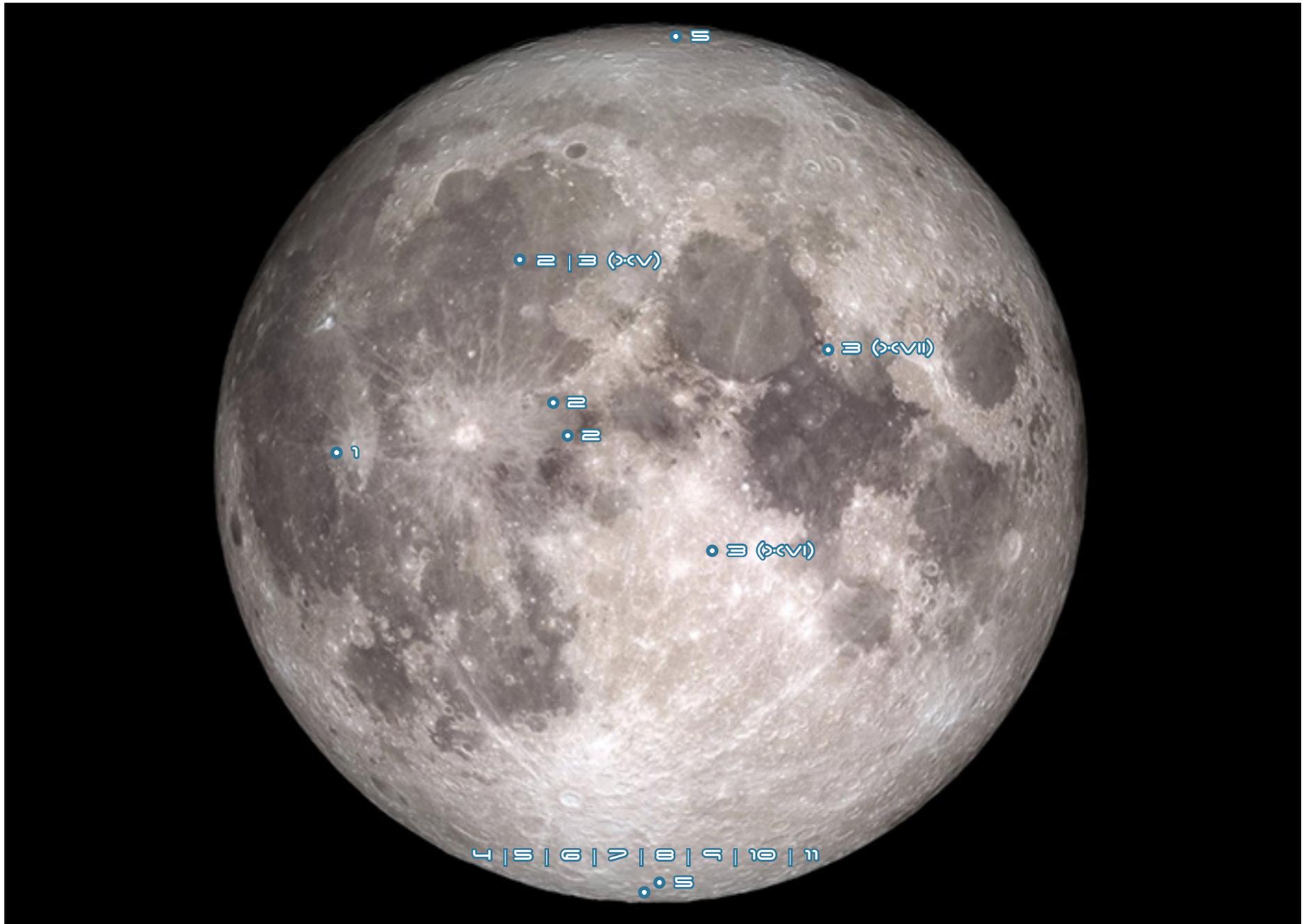


Foto 52 : Luna llena captada por la sonda Lunar Reconnaissance Orbiter 22/12/2018

04 ELEVEN - HEX LUNAR BASE

PROPUESTA PROYECTUAL TFG

4.1 CONDICIONES DE PROYECTO

Eleven - Hex Lunar Base es el proyecto creado para poner en práctica los aspectos estudiados a lo largo de esta investigación y así dar a conocer las estrategias concluyentes para desarrollar un hábitat en el espacio.

Se trata de un hábitat permanente de superficie situado en la Luna, cuyo objetivo es dar servicio a las actividades de investigación complementarias a la Estación Espacial Internacional y al turismo espacial.

El proyecto no se limita al ámbito habitado presurizado, sino que desarrolla todos los sistemas externos necesarios para que la base funcione, para que evolucione a lo largo del tiempo y para que pueda ser autosuficiente.

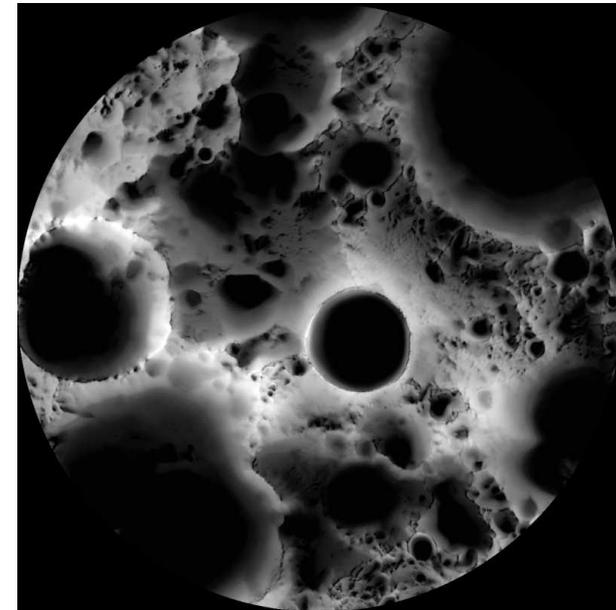
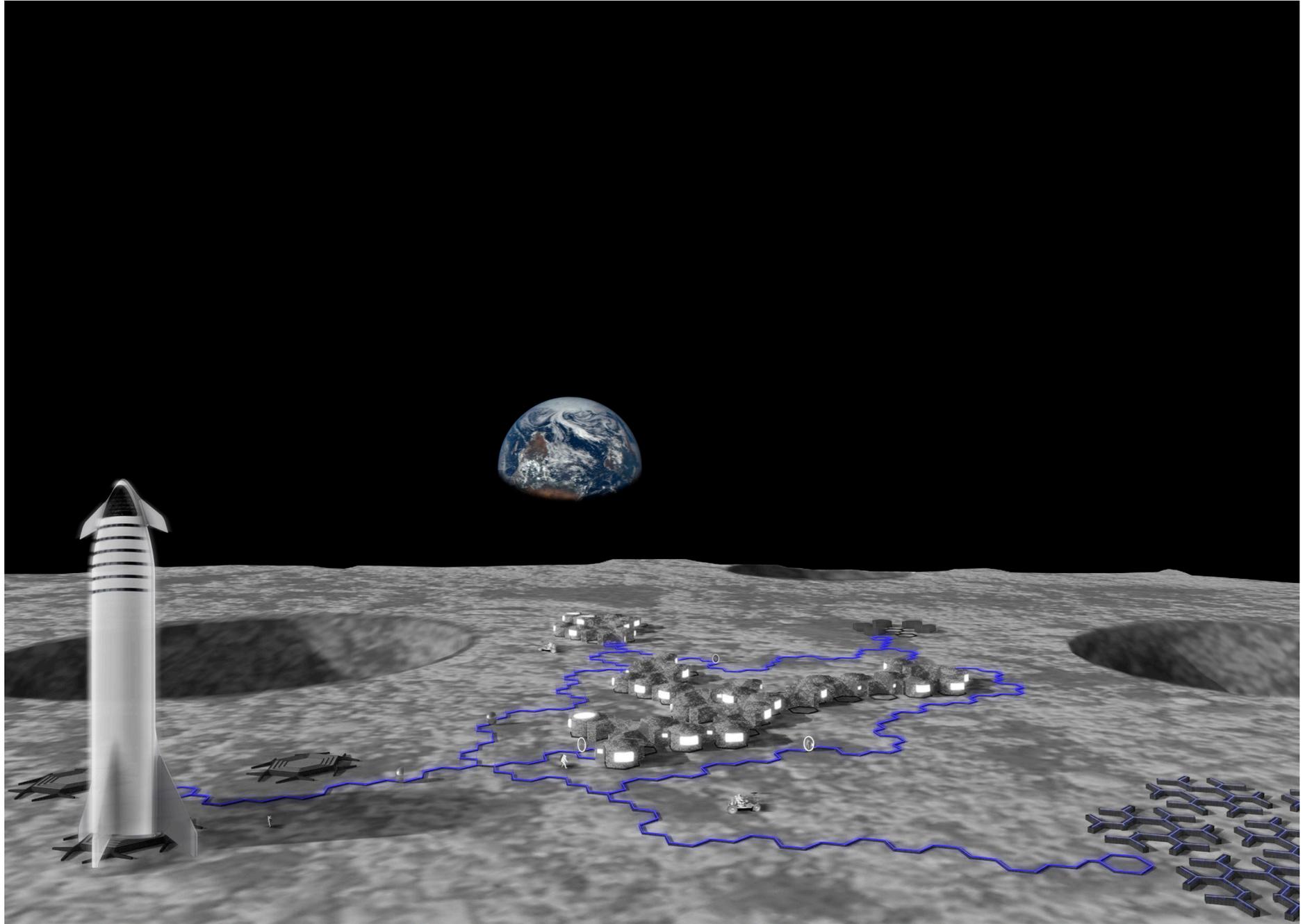


Imagen 53 : Polo Sur de la Luna, en el centro el Cráter Shackleton. La imagen muestra las zonas iluminadas y las que quedan en sombra.



4.2 EMPLAZAMIENTO

ESCALA 1 / 1500



Imagen 54: Lunar Rover Vehicle (LRV).



Imagen 56: Nuevos trajes espaciales de SpaceX.

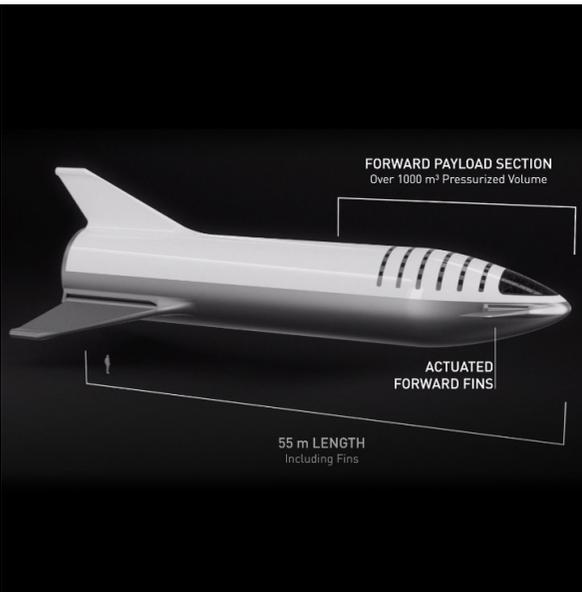


Imagen 55: Medidas del vehículo espacial SpaceX BFR.

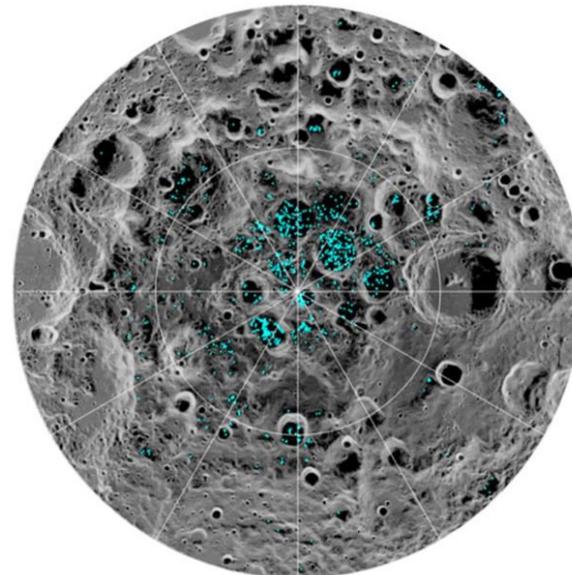


Imagen 57: Presencia de agua helada bajo la superficie del Polo Sur de la Luna.

Se propone situar la base en las proximidades del Crater Shackleton, en el Polo Sur de la Luna, lugar donde el aporte solar es prácticamente de 24 horas y se ha demostrado que existe agua helada bajo la superficie.

La base se desarrolla a partir diferentes espacios conectados externamente por un vehículo rápido presurizado de superficie, existiendo además Rovers para recorrer el entorno próximo al emplazamiento.

Así, las diferentes áreas que componen la base son : la zona de aterrizaje / despegue, la zona de captación solar, el hogar presurizado, la zona de trabajo / laboratorios presurizados y la zona de acumuladores energéticos y extractores de hielo, con el fin de abastecer de agua al hábitat.

Para poder transportar los módulos prefabricados en la Tierra que dan lugar a la construcción de la base, el vehículo espacial seleccionado es el SpaceX BFR, debido a que puede transportar tanto mercancía como tripulación en la bodega de carga. El aspecto positivo de utilizar este cohete es que todas sus fases, una vez desacopladas tras el lanzamiento, al igual que el vehículo final, retornan a la Tierra teledirigidas de tal forma que se pueden reutilizar poniéndolas a punto de nuevo, abaratando costes y reduciendo la basura espacial.

La magnitud de la base que se plantea implicaría varios lanzamientos, por lo que se trata de un proceso que precisa tiempo hasta el estado final de una base operativa.

ZONA DE TRABAJO DE LABORATORIO

ACUMULACIÓN DE ENERGÍA Y EXTRACCIÓN DE AGUA HELADA PARA SUMINISTRO

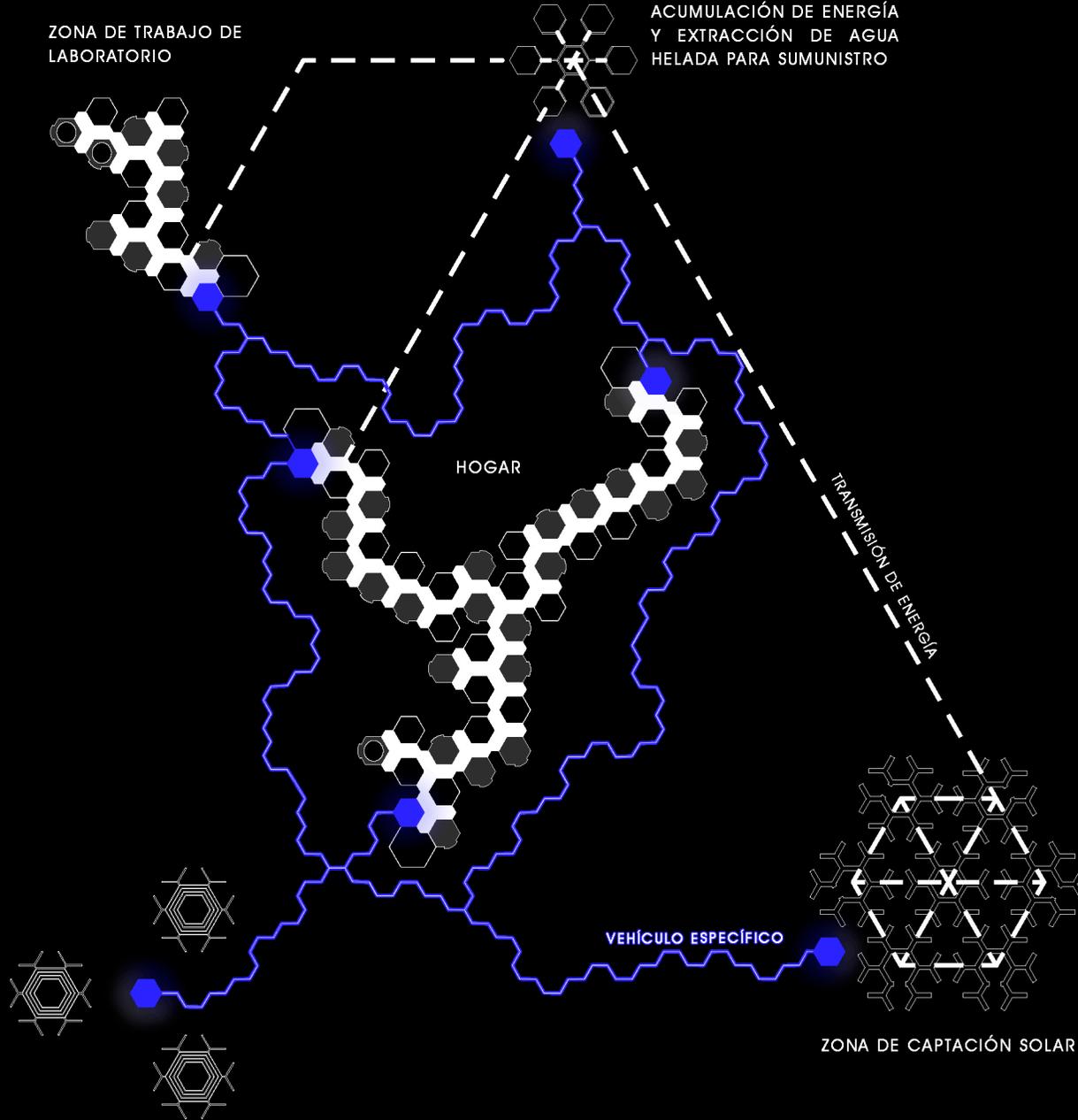
HOGAR

TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

VEHÍCULO ESPECÍFICO

ZONA DE CAPTACIÓN SOLAR

ZONA DE ATERRIZAJE / DESPEGUE

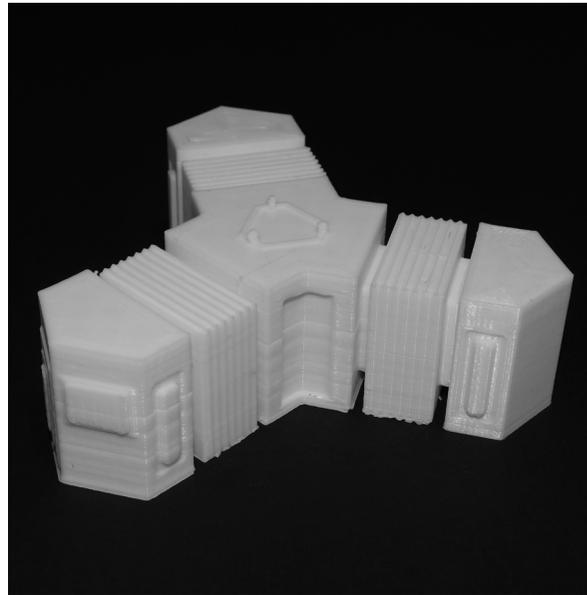


4.3 CONCEPTO DE DESPLIEGUE

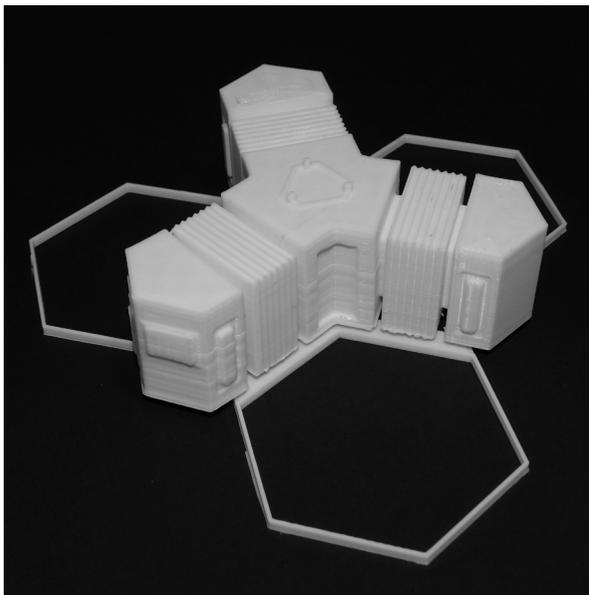
ESCALAS 1 / 200 , 1 / 100



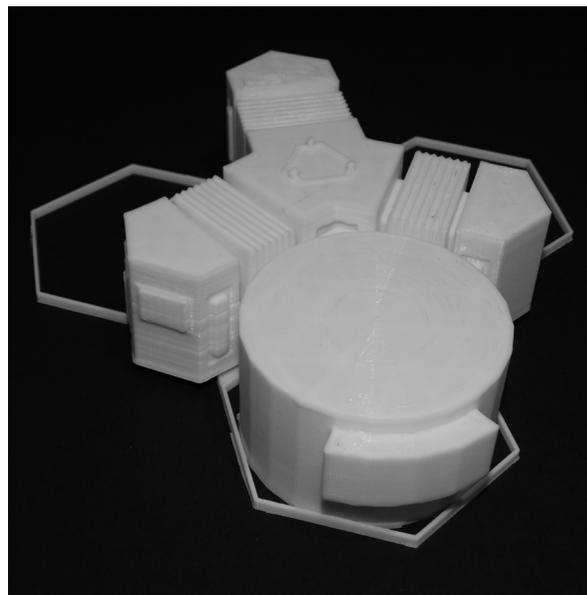
Fase 1: Módulo plegado.
(maqueta - impresora 3D)



Fase 2: Despliegue automático de fuelles semirrígidos.
(maqueta - impresora 3D)



Fase 3: Despliegue estructura hexagonal para fijar el módulo al suelo.
(maqueta - impresora 3D)



Fase 4: Despliegue de estancias hinchables.
(maqueta - impresora 3D)

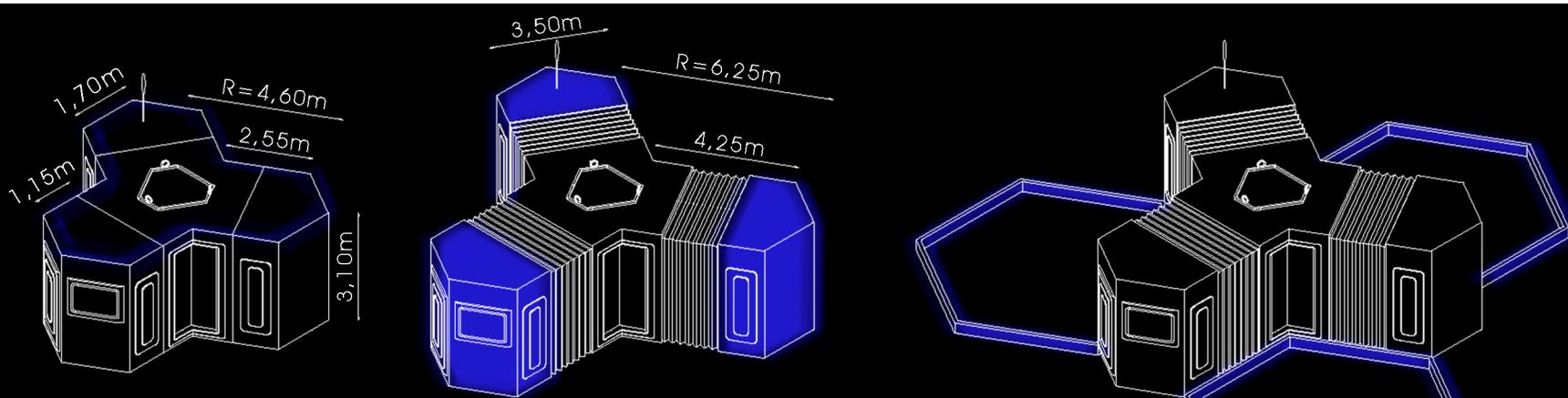
La idea conceptual para generar la base parte de una malla hexagonal que se crea a través de la unión de módulos. El proyecto se concibe como un complejo en red, similar al funcionamiento que desarrolla una planta para distribuir su sustento, permitiendo una comunicación interna fluida y la existencia de estancias multifuncionales.

Cada módulo cuenta con un elemento de servicio y una estancia. La configuración del elemento de servicio dependerá de la función de la estancia a la que da soporte.

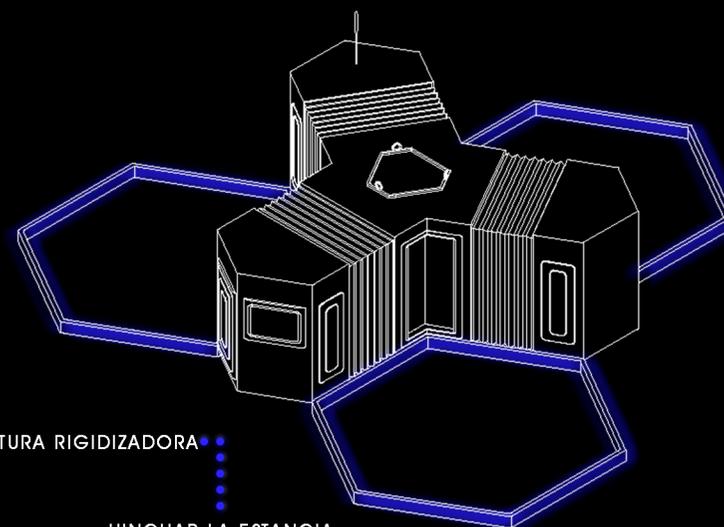
La base es de clase II y III, dado que está compuesta por módulos híbridos y utiliza recursos del lugar para finalizar el montaje. Una vez que los módulos son descargados del vehículo de transporte son trasladados robóticamente al lugar que les corresponde. Una vez situados, se procede al despliegue automático de los fuelles semirrígidos y son conectados con los módulos contiguos. Posteriormente, se despliega la estructura hexagonal que va a permitir anclar el módulo al suelo y distribuir la energía, y se procede a hinchar las estancias mediante el sistema de aire que porta cada módulo. Finalmente, se cubre la totalidad del hábitat con una capa de regolito lunar (polvo lunar) mediante el uso de una impresora 3D exterior especializada.

El regolito lunar es el mejor método de protección frente a los principales agentes externos de la Luna: la radiación, los impactos de meteoritos, el polvo lunar y las fluctuaciones de temperatura, que pueden llegar desde los 107°C diurnos y hasta los -153°C nocturnos.

Tanto el hábitat como los laboratorios presurizados cuentan con los valores de aire internos similares a los terrestres y con gravedad artificial inducida.

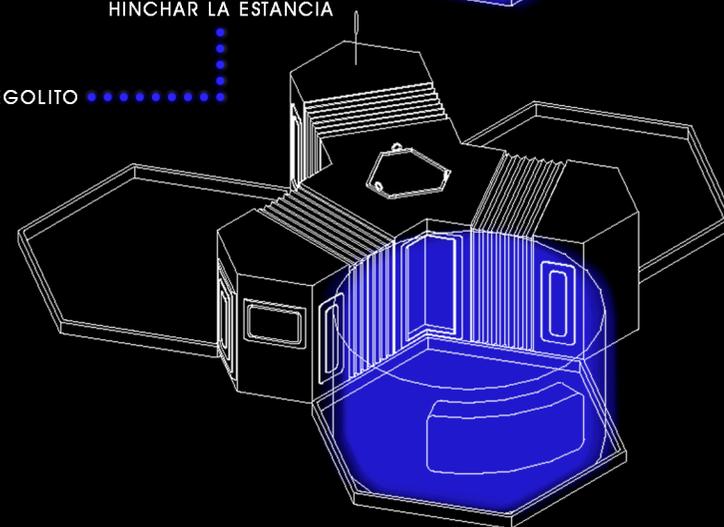
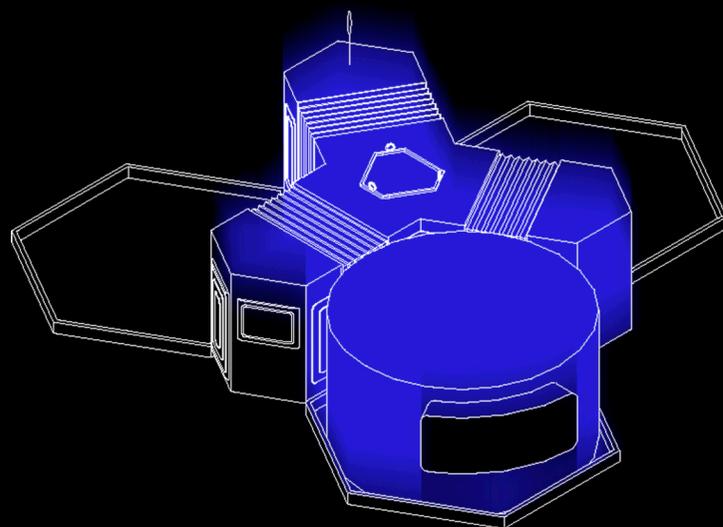


DESPLIEGUE DEL MÓDULO DESPLIEGUE DE ESTRUCTURA RIGIDIZADORA



HINCHAR LA ESTANCIA

CUBRIR CON REGOLITO



WC



PREPARACIÓN DE COMIDA



CONTROL / VIGILANCIA / ALMACENAJE



SISTEMA DE AIRE / TELECOMUNICACIONES

4.4 PLANTA HOGAR

ESCALA 1 / 500



Imagen 58: Retícula hexagonal, panel de abejas.



Imagen 59: Ventana virtual.

El hábitat que configura el hogar es el elemento de mayor extensión del conjunto del proyecto, caracterizado por la condición de submarino con la que se ha diseñado. En caso de que un módulo falle, automáticamente se inhabilita para evitar problemas de despresurización en el resto del hábitat.

Los tres módulos de los extremos que configuran el hogar son las escotillas de cierre de aire, a través de las cuales se accede al interior, y disponen de la primera estancia necesaria, la sala de trajes donde la tripulación puede cambiarse para así evitar la contaminación del aire interno.

Una vez atravesados estos módulos, el hogar se distribuye en una serie de estancias de uso común, una ramificación de estancias para 5 investigadores y otra ramificación de estancias para 10 turistas.

En primer lugar, entre los espacios comunes se encuentran: observatorio, tienda de recursos, centro médico, sala de reuniones AV, gimnasio, área de recreación y área de interacción.

Por otro lado, las estancias de los investigadores son las siguientes: comedor asociado a cocina, sala de estar y dormitorios independientes con baño propio.

Por último, las estancias de los turistas se clasifican en: comedor asociado a cocina, sala de estar y dormitorios compartidos para cada dos con baño por habitación.

Los elementos sin salida de cada módulo albergan el sistema de aire, las telecomunicaciones y una pantalla al interior que proyecta imágenes de la Tierra, como una especie de ventanas digitales.

4.5 PLANTA ÁREA DE TRABAJO

ESCALA 1 / 250



Imagen 60: Impresora 3D para alimentos.

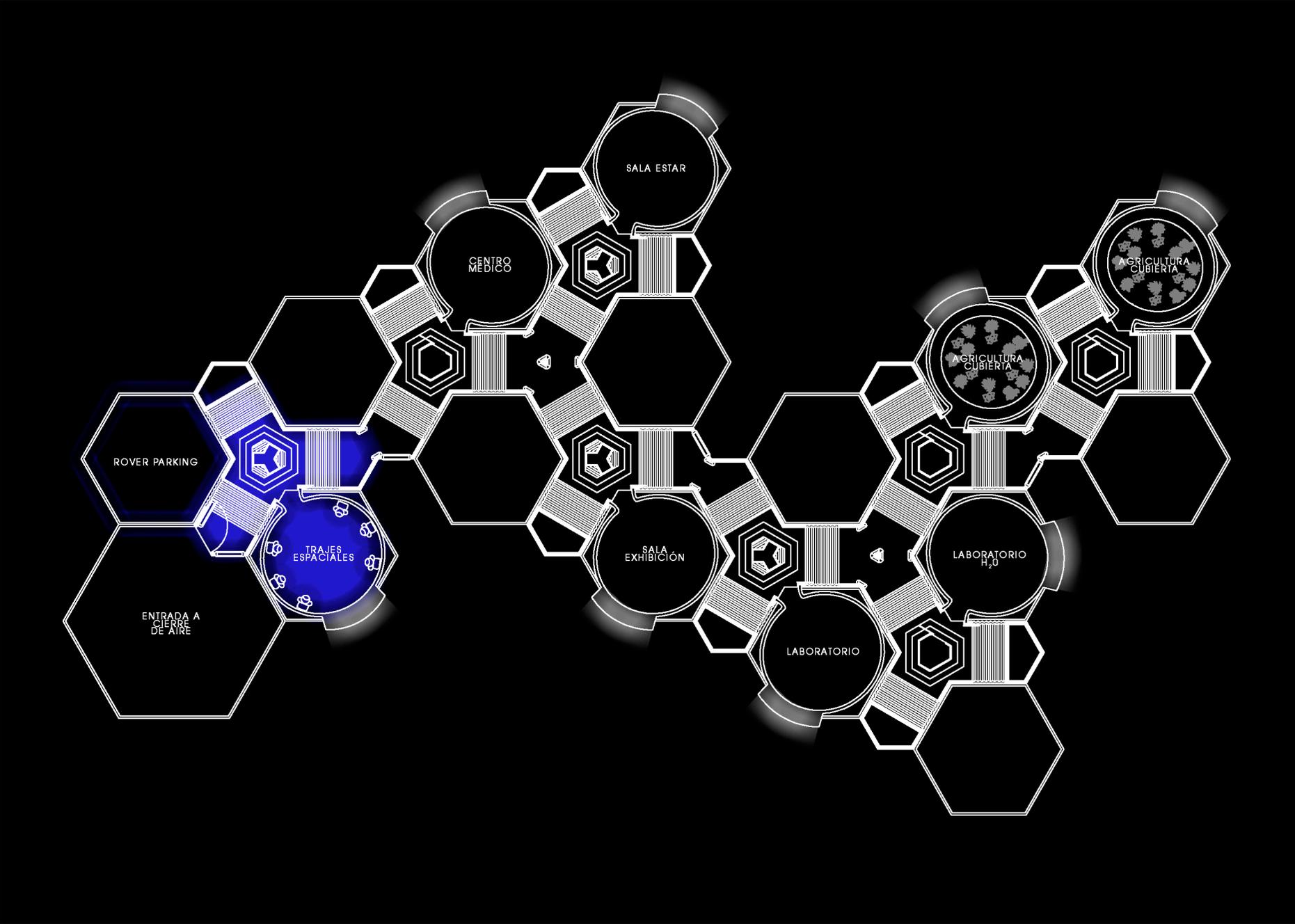


Imagen 61: Fotograma de la película Marte, ejemplo del área de cultivo.

Los laboratorios deben estar separados del hábitat hogar, aunque constituyen un hábitat presurizado con las mismas condiciones anteriormente explicadas. El motivo de la separación es evitar contaminaciones o posibles accidentes.

Éste área cuenta con una única escotilla de cierre de aire por la que acceder, en un nuevo intento por aumentar la seguridad del recinto. Por otro lado, las labores de investigación a las que están destinados los laboratorios son diversas, pudiendo destacar los estudios de la composición geológica del satélite, el desarrollo de procesos para generar oxígeno y la práctica del cultivo interior, principalmente de algodón y tubérculos para el autoconsumo.

En cuanto a su organización, el espacio de trabajo está compuesto por las siguientes estancias: centro médico, sala de estar, sala de exhibición, laboratorio, laboratorio con abastecimiento de agua y dos espacios destinados al cultivo agrícola ,así como los servicios correspondientes a cada estancia. Cabe destacar que la eliminación de los residuos se realiza mediante incineración.



4.6 SECCIÓN MÓDULO Y DETALLES

ESCALAS 1 / 75 , 1 / 20



Imagen 62: Bloque de regolito lunar de 1,5T realizado mediante una impresora 3D por la ESA, a partir del material importado de la misiones Apollo.

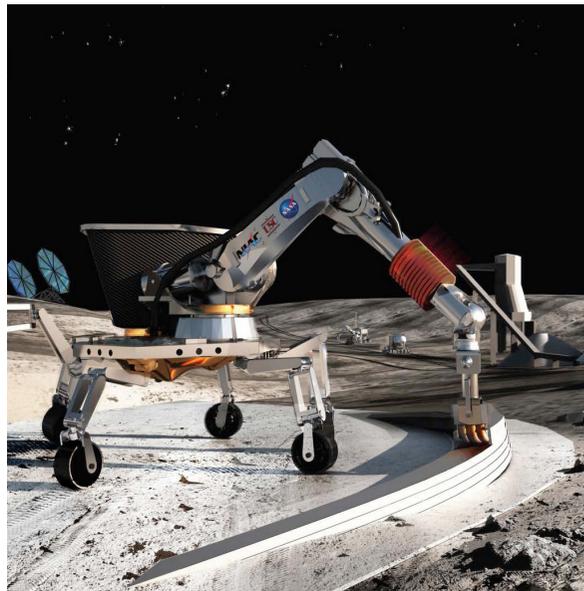


Imagen 63: Impresora 3D para construir con regolito lunar.

Como se ha mencionado anteriormente, los módulos son híbridos, lo que significa que están compuestos por una estructura rígida, en su configuración plegada, por una estructura semirrígida que se despliega en una primera fase y por membranas flexibles que una vez hinchadas conforman las estancias en una fase posterior.

La estructura rígida que conforma el módulo plegado esta construida a partir de láminas metálicas con poliestireno específico en su interior. Este sistema cuenta con ruedas en su parte inferior, con el fin de poder desplazar el módulo robóticamente hasta el lugar correspondiente.

Por su parte, la estructura semirrígida configura los fuelles que se expanden, fabricados con composite flexible.

Por último, la estructura flexible es aquella que se hincha para configurar las estancias. En su estructura de vejiga están incluidos los muebles, de tal forma que la estancia es funcional simplemente con aire. Los materiales con los que se realiza este sistema son una lámina externa de Du Pont Kevlar + Tedlar , una cámara para el gas kriptón con el que se hincha y, de nuevo, una lámina al interior de Du Pont Kevlar + Tedlar.

Tras su conformación, todo módulo es cubierto por una capa de regolito de unos 60 cm - 100cm mediante impresora 3D.

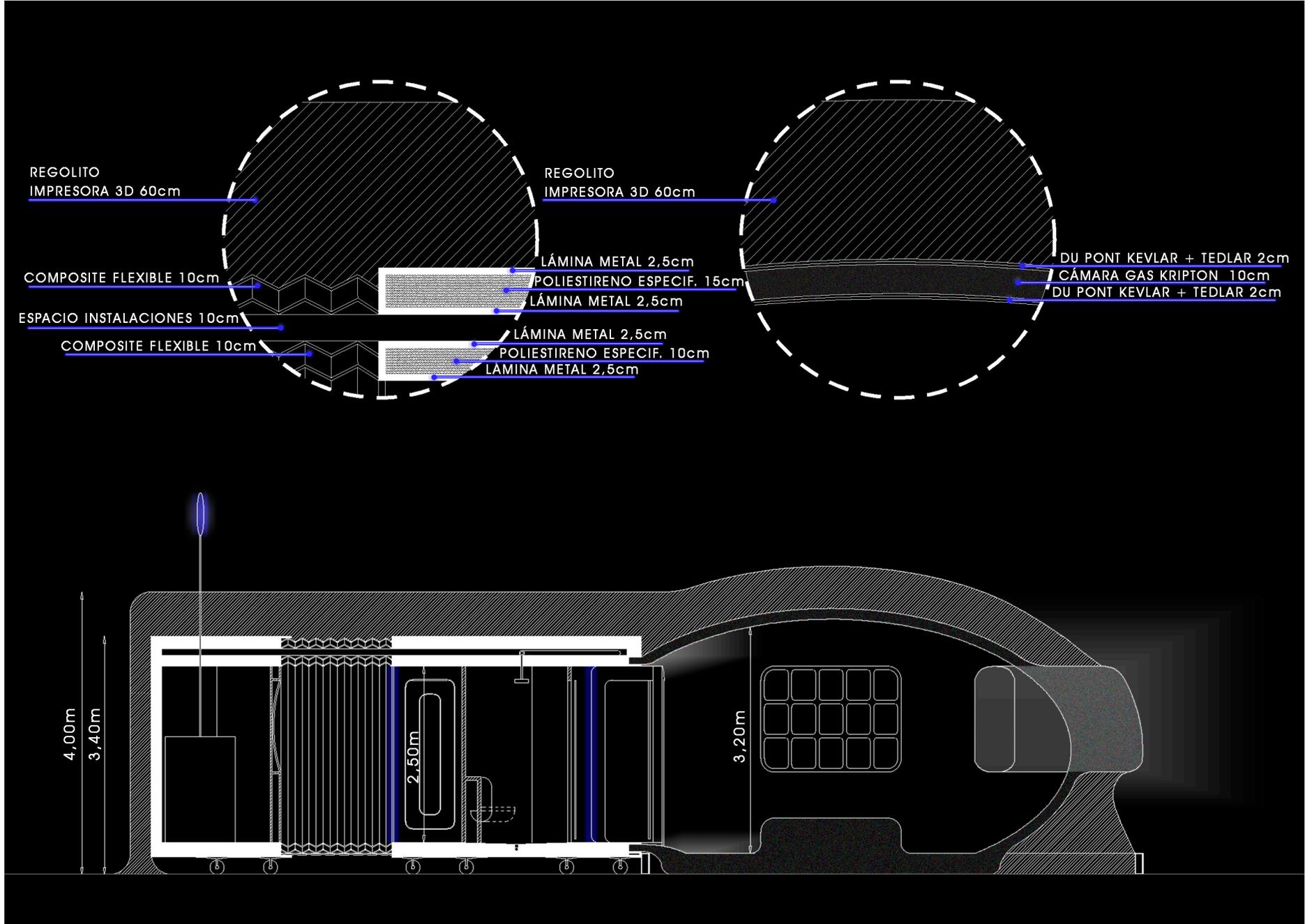
Las medidas del módulo plegado son :

$\varnothing = 9,2 \text{ m}$; $A = 3,1 \text{ m}$

Una vez desplegado, sus dimensiones son:

$\varnothing = 12,5 \text{ m}$; $A = 3,1 \text{ m}$; $A_{(\text{cubierto})} = 4 \text{ m}$

Una vez hinchadas las estructuras flexibles y enlazado todo el sistema, cada estancia tiene un volumen de 25 m^3 ; (80 m^3 en el caso del observatorio y las zonas agrícolas).



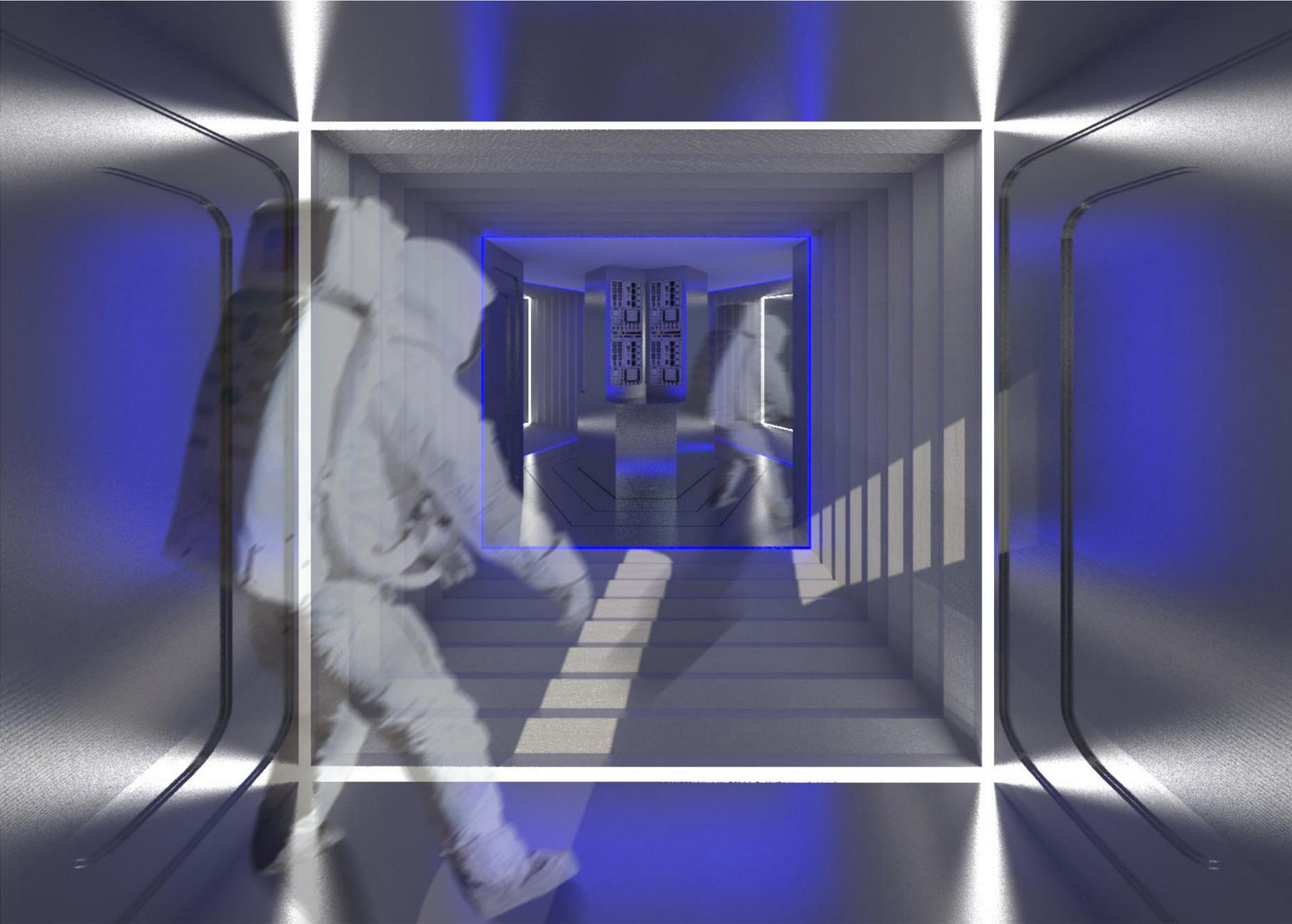
4.7 ENTRADA AL MÓDULO

Infografía que muestra la entrada al hábitat por la escotilla de cierre de aire, mientras que un astronauta se encamina a dejar el traje en la sala destinada para tal fin, nada más entrar a la derecha.

Lás áreas de paso y distribución del hábitat cuentan con luces blancas y azules. Este último color se utiliza como complemento de la iluminación principal para aprovechar el impacto positivo que tiene en la psicología humana, al mismo tiempo que se genera un ambiente diferente y agradable.



Imagen 64: Fotograma de la película Star Wars, tomada como referencia para realizar el diseño interior del módulo del proyecto.



4.8 ESTANCIAS HINCHADAS

Infografía que ilustra una de las habitaciones individuales de los investigadores. Se puede apreciar que el mobiliario es parte de la estructura hinchada.

El hecho de generar un cambio entre el pavimento rígido del resto del módulo y el pavimento hinchado de las estancias pretende favorecer el fortalecimiento óseo, el equilibrio y la reducción de grasa corporal de la tripulación.

En este caso, la iluminación de las estancias es blanca para poder realizar las tareas a desempeñar de forma óptima.

4.9 LÁMINA RESUMEN Y PLAN DE VIAJE

En las próximas páginas se ilustra el plan de viaje y la lámina resumen.

La idea de composición de la lámina final reside en la herencia visual de la ciencia ficción.

Representa la cabina de un segundo SpaceX BFR que está llegando a la base, perfectamente visible en todo su conjunto a través de la ventana, mientras que en una pantalla superior aparece la información detallada del hábitat lunar.

Tras haber realizado la investigación, el análisis y la propuesta quedan reflejadas las siguientes conclusiones, como aquellos aspectos fundamentales a tener en cuenta al proyectar un hábitat en la Luna:

- Crecimiento horizontal, a ras de suelo, en vez de vertical, debido a la atmósfera prácticamente nula.
- Cubrición del hábitat con regolito, polvo lunar, dado que es el material que mejor actúa frente a las variaciones de temperaturas, la radiación, el impacto de meteoritos y el polvo. La cubrición se puede realizar mediante impresora 3D.
- Hábitats de clase II y III, es la combinación ideal que puede ser desarrollada a día de hoy. Clase II implica trasladar módulos prefabricados a la superficie, generalmente híbridos, y clase III, implica utilizar recursos del lugar, como el regolito, para la cubrición.
- Módulos híbridos, son aquellos que combinan estructura rígida que se despliega con estructura flexible hinchable.
- Valorar que clase de hábitat se desarrolla en función de los requisitos y duración de la misión.
- Plantear módulos multifunción y conectables entre sí, para generar una unidad habitacional en red.
- En misiones de larga duración que requieran de una base permanente, es preciso, colocar el hábitat separado de los laboratorios y del resto de áreas externas como se muestra en la propuesta para evitar contaminaciones y accidentes.

4.10 CONCLUSIONES

- Tener en cuenta el número de tripulantes, su género y el tiempo de la misión a la hora de diseñar las estancias.
- A medida que se incrementa la duración de la misión, se eleva el grado de privacidad de cada individuo y la variedad de estancias para el ocio.
- Cuidar los detalles para lograr un espacio que favorezca la salud fisiológica y psicológica del equipo.
- Prever que experimentos se van a llevar a cabo, para dotar la base con el equipamiento adecuado, y que puedan contribuir a una autosuficiencia futura.
- En hábitats en red, formados por la conexión de módulos, es importante que funcionen como un submarino, en caso de que un módulo falle, este queda inhabilitado sin afectar al conjunto.
- Es importante prever todos los sistemas y subsistemas, tanto internos como externos, a la hora de realizar el proyecto.
- Tener en cuenta como reacciona el cuerpo humano en esas condiciones gravitatorias para disminuir los efectos adversos.
- Plantear un hábitat con gravedad artificial inducida, aunque a día de hoy se desconoce como lograrlo sin rotación.
- Elegir bien el emplazamiento. El polo sur de la Luna es el lugar idóneo, por la existencia de agua helada bajo la superficie y una exposición solar prácticamente las 24 horas del día.



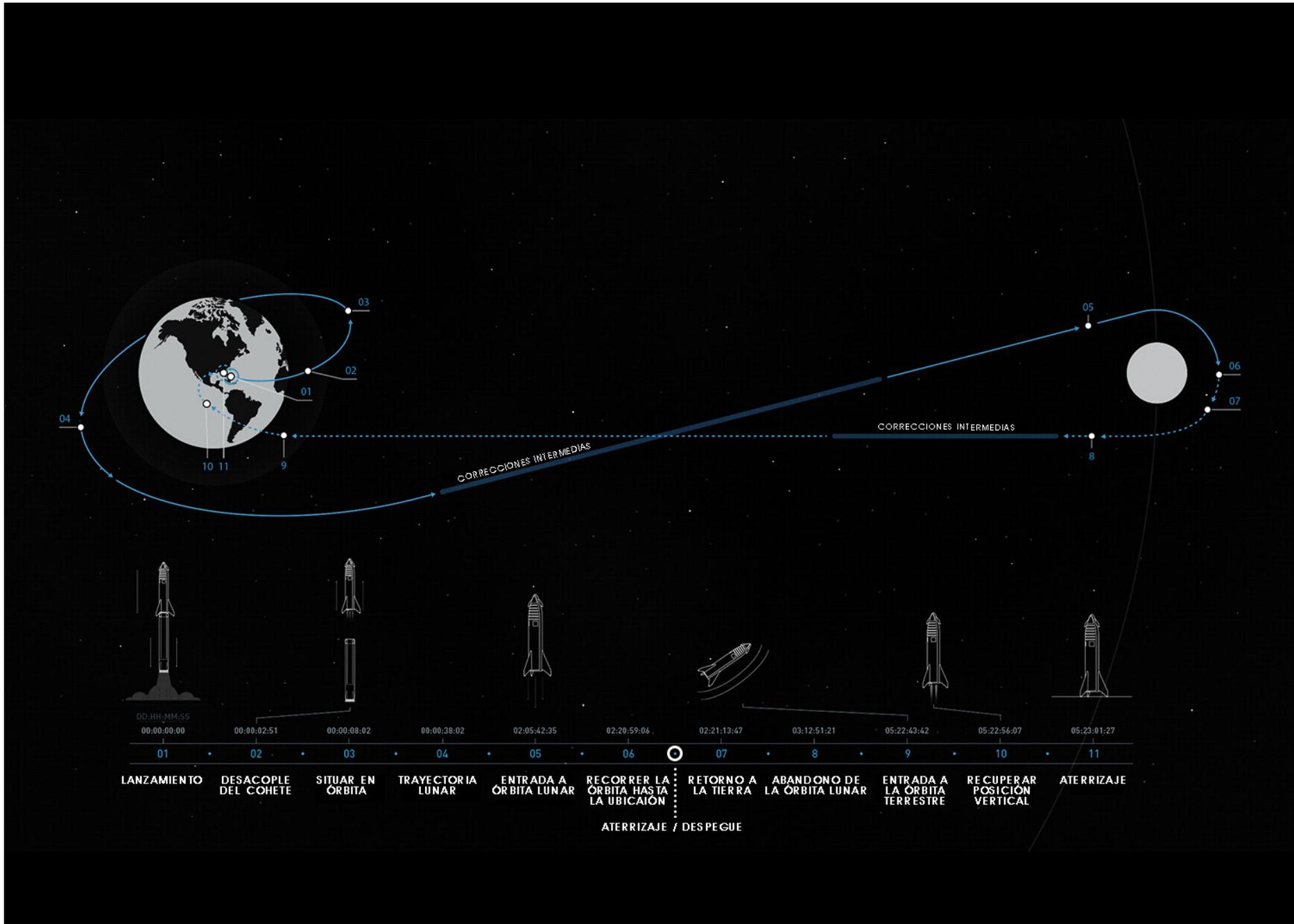
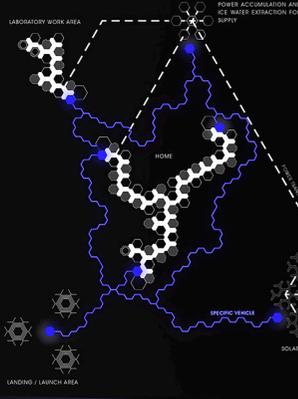


Imagen 65: Plan de viaje a la Luna del SpaceX BFR ; ida, estancia y regreso (imagen traducida y adaptada a las condiciones del proyecto).

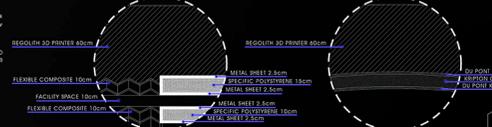
ELEVEN - HEX LUNAR BASE

SITE (E - 110400)

Located on the South Pole of the Moon near Shackleton Crater, where the solar contribution is approximately 24 hours and there is no water under the surface. The base is surrounded in different aspects connected externally by a service vehicle in addition to the rover. The rocket land is the logistic life.



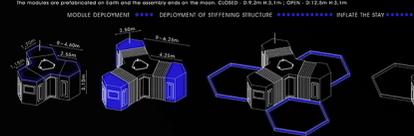
DETAILS (E - 110401)



SECTION AA (E - 110402)

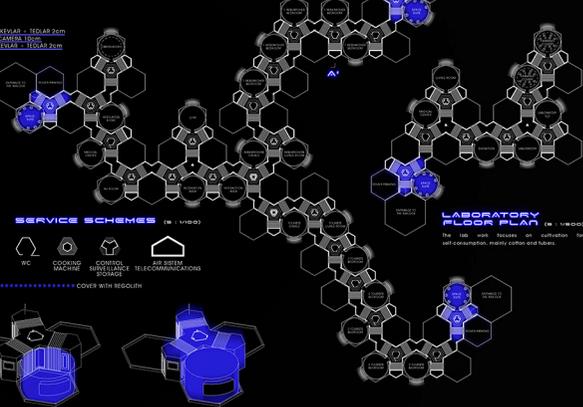


DEPLOYMENT CONCEPT (E - 110403)



HOME FLOOR PLAN (E - 110404)

The Habitable zone both the Home and external laboratories, home vehicle service and the rest of the space of modules generating a network, in the form of hexagons, which serve like a substrate in case of failure that modules is damaged. Each module has its service machine and has 20m and 80m.



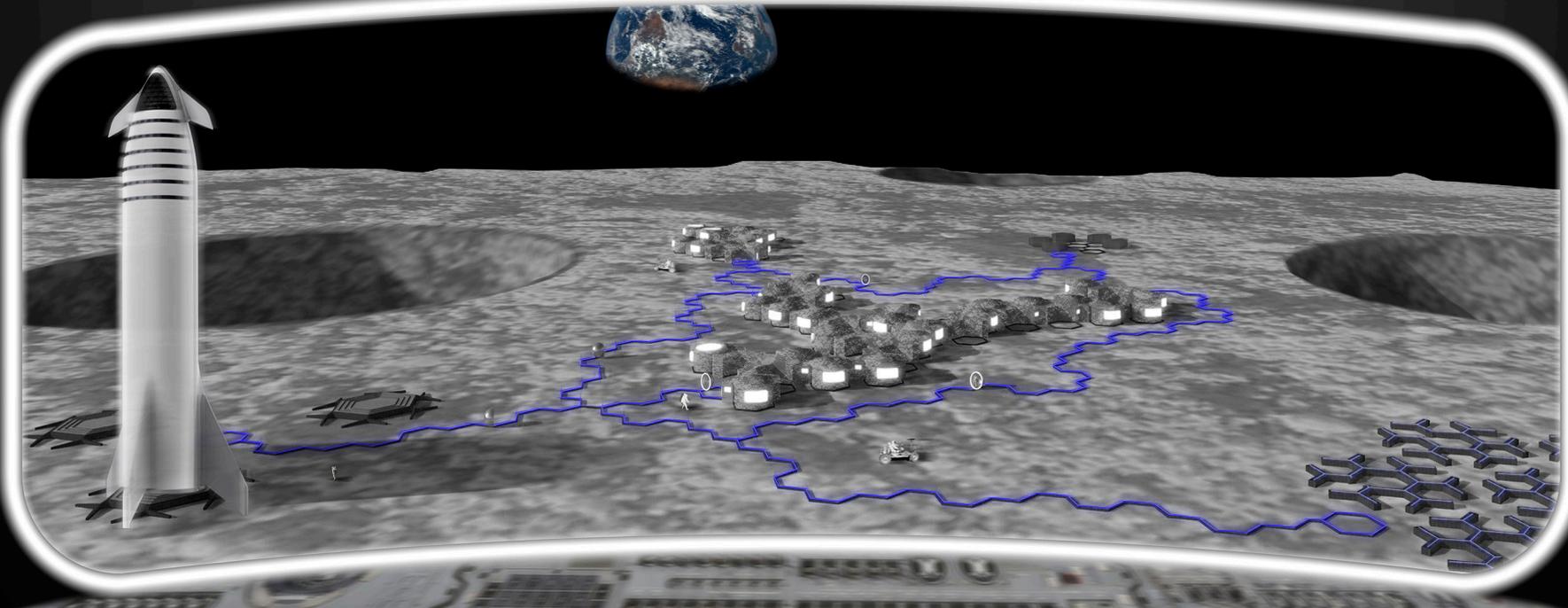
INTERIOR VIEWS



ENTRANCE TO THE AIRLOCK



INDIVIDUAL RESEARCHER BEDROOM



ES NOTAS, BIBLIOGRAFÍA, IMÁGENES Y
TRABAJO DE CAMPO

¹ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 2-3, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

² KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 3, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

³ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 5, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁴ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 5, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁵ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 6, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁶ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 7, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁷ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 8, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁸ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 8, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

⁹ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 9, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁰ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 10, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹¹ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 10 - 12, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹² KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 11, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹³ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 12, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁴ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 13, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁵ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 13 - 14, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁶ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 15, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁷ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 18, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁸ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 10, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

¹⁹ KENNEDY, Kriss, "Lunar Habitation Strategies", *Researchgate publication*, n° 269160891, NASA, (2007), pag 20-21, https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

²⁰ Lunex Project, <https://www.revolv.com/page/Lunex-Project>, https://en.wikipedia.org/wiki/Lunex_Project, <https://web.archive.org/web/20060831191541/http://www.astronautix.com/articles/lunex.htm#lunex07>

²¹ Horizon Project, <https://falsesteps.wordpress.com/2012/08/29/project-horizon-part-ii-the-minimal-orbital-station-and-the-orbital-return-vehicle/>, https://history.army.mil/faq/horizon/Horizon_V1.pdf

²² Zvezda Lunar Base, <http://www.astronautix.com/d/dlblunarbase.html>

²³ Lunar Stay-Time Extension Module, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 11-12, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

²⁴ AES Lunar Base, <http://www.astronautix.com/a/aeslunarbase.html>

²⁵ Lunar Rover Vehicle (LRV), HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 8 - 9, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

²⁶ L3M, <http://www.astronautix.com/l/l3m.html>, <http://www.astronautix.com/l/l3m-1970.html>

²⁷ LEK, <http://www.astronautix.com/l/leklunarexpionarycomplex.html>

²⁸ JSC Moon Base, <http://www.astronautix.com/j/jscmoonbase1984.html>

²⁹ The Inflatable Lunar Habitat, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 13 - 14, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁰ The Lawrence Lunar Base, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 14 - 15, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³¹ Artemis Project, <http://www.asi.org/adb/01/04/walkaround.html>, <http://www.asi.org/>

³² Expandable Lunar Habitat, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 15 - 16, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³³ Kopernikus Lunar Base, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 16 - 18, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁴ Tycho Rolling Lunar Base, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 18 - 19, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁵ Mobitat, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 19 - 20, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁶ Moonwalker Lunar Base, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 20 - 22, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁷ Solar Farm On The Moon, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 23 - 24, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁸ Cactus I, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 22 - 23, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

³⁹ Lunar Outpost, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20060026085.pdf> [https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_outpost_\(NASA\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_outpost_(NASA))

⁴⁰ Inflex Lunar Habitat, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 24 - 25, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴¹ Moon Base Two, http://www.architectureandvision.com/av/gallery/projects/023/023_MoonBaseTwo.pdf
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 26 - 27, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴² IHAB,
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 27 - 28, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴³ Evolutionary Growth Lunar Base,
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 28 - 29, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴⁴ Minimum Function Habitat,
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 31 - 32, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴⁵ X-HAB Lunar Habitat,
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 30 - 31, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴⁶ Moon Capital, http://www.architectureandvision.com/av/gallery/projects/058/058_MoonCapital.pdf

⁴⁷ Lunar Outpost Scenario,
HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMİR, Kürsad, "Deployable Lunar Habitation Design", *Researchgate publication*, n°254255494, (2012), pag 29 - 30, https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

⁴⁸ Lunar Habitation, <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/lunar-habitation/>

⁴⁹ Test Lab, <https://medium.com/@pionic/moontopia-lunar-colony-visions-revealed-f255913a87a1>

⁵⁰ Moon Village, https://www.som.com/news/som_releases_concept_for_moon_village_the_first_permanent_human_settlement_on_the_lunar_surface

⁵¹ Blue Moon, <https://www.blueorigin.com/blue-moon>

BIBLIOGRAFÍA

GYBNEY, Elisabeth; *How to build a moon base*; Nature; Vol (562); 2018
Disponibile en: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07107-4>

PELDSZUS, Regina , DALKE, Hilary y WELCH, Chris; *Science Fiction Film as Design Scenario Exercise for Psychological Habitability: Production Designs 1955-2009*; Kingston University; Londres; 2010
Disponibile en: <https://www.spacearchitect.org/pubs/AIAA-2010-6109.pdf>

ANDREEA, Oana; *Architecture in science fiction movies*; Romania University; Rumanía; 2015
Disponibile en: https://www.academia.edu/11672078/ARCHITECTURE_IN_SCIENCE_FICTION_MOVIES

POLIT, Raúl; *Arquitectura espacial: un nuevo campo de innovación práctica*; Valencia
Disponibile en: http://www.ces.gva.es/pdf/trabajos/articulos/Revista_56/art2.pdf

HAGHIGHI, Pedram; *From Architecture to Science Fiction*; West Valley College; 2013
Disponibile en: <http://westvalley.academia.edu/PedramHaghighi>

THAKUR, Sunny; *Futuristic Architectural Concepts Through the Study of Science Fiction*; Indian Institute of Technology Roorkee; India; 2007

HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra y ÖCDEMIR, Kürsad; *Deployable Lunar Habitation Design*; Researchgate publication; 254255494; 2012
Disponibile en: https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

VANALEBEEK, S.C.M.; *Interstellar Habitat*; Eindhoven University of Technology; Países Bajos; 2014
Disponibile en: https://www.academia.edu/10390634/Interstellar_Habitat

KENNEDY, Kriss; *Lunar Habitation Strategies*; Researchgate publication; 269160891; NASA; 2007
Disponibile en: https://www.researchgate.net/publication/269160891_Lunar_Habitation_Strategies

UNITED STATES ARMY; *Project Horizon, Volumen I: Summary and Supporting Considerations*; National Security Archive; EE.UU.; 1959
Disponibile en: https://nsarchive2.gwu.edu//NSAEBB/NSAEBB479/docs/EBB-Moon01_sm.pdf

TRABAJO DE CAMPO



Visita al museo lunar de Fresnedillas de la Oliva (Madrid)
16/03/2019



Visita al centro de visitantes y entrenamiento de la NASA en Madrid
16/3/2019

1. Imagen extraída de <https://www.newsweek.com/russia-cuts-us-access-iss-pledges-stop-ferrying-american-astronauts-2019-1098937>
2. Imagen extraída de <https://www.criptomonedaseico.com/noticias/wtf-india-la-fuerza-espacial-prueba-de-misiles-peppers-la-estacion-espacial-orbita-con-escombros/>
3. Imagen extraída de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48801165>
4. Imagen extraída de <http://www.coiae.es/publico/congresoespacio2017/pdf/02.05.Predrag%20Jevtovic.Orbis.pdf>
5. Imagen extraída de https://www.nasa.gov/centers/glenn/multimedia/imagegallery/if_poetry_10.html
6. Imagen extraída de https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-a-crewmember-in-Neutral-Body-Position-MBP-and-envelopes-for_fig1_306036433
7. Imagen extraída de https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnical_challenges/3DPHab/Ai-Spacefactory-image7
8. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5927.jpg>
9. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5946.jpg>
10. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5863.jpg>
11. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5869.jpg>
12. Imagen extraída de https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnical_challenges/3DPHab/Ai-Spacefactory-image6
13. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/39526.jpg>
14. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/6598.jpg>
15. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5920.jpg>
16. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/5924.jpg>
17. Imagen extraída de https://www.nasa.gov/directorates/spacetechnical_challenges/3DPHab/Ai-Spacefactory-image3/
18. Imagen extraída de <https://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/34882.jpg>
19. Imagen extraída de <https://www.elindependiente.com/futuro/2019/01/15/nace-una-planta-de-algodon-en-la-cara-oculta-de-la-luna/>
20. Imagen extraída de <http://chelsea-sulis.blogspot.com/2011/08/lunex-1961.html>; https://www.bibliotecapleyades.net/luna/luna_projecthorizon04.htm
21. Imagen extraída de <https://www.theblackvault.com/documentarchive/project-horizon/>; <https://falsesteps.wordpress.com/2012/08/29/project-horizon-part-ii-the-minimal-orbital-station-and-the-orbital-return-vehicle/>
22. Imagen extraída de <http://www.friends-partners.org/partners/mwade/craft/dllbodule.htm>; <http://www.friends-partners.org/partners/mwade/graphics/d/dllbteles.jpg>; <https://www.youtube.com/watch?v=njHhrx4heY>
23. Imagen extraída de https://www.researchgate.net/figure/Prototype-of-the-Lunar-Stay-Time-Extension-Module-credit-NASA-Goodyear_fig2_254255494; http://nassp.sourceforge.net/wiki/File:Stay_Time_Extension_Module.png
24. Imagen extraída de <http://www.astronautix.com/graphics/a/apoluna1.gif>; <http://www.astronautix.com/a/aeslunarbase.html>
25. Imagen extraída de <https://www.wired.com/2009/07/dayintech-0731/>
26. Imagen extraída de <http://www.astronautix.com/l/l3m.html>; <http://www.astronautix.com/l/l3m-1970.html>
27. Imagen extraída de <http://www.astronautix.com/l/leklunarexpionarycomplex.html>; <http://nickd.freehostia.com/OrbiterVault/img/lekvulkanji0.jpg>
28. Imagen extraída de <http://www.astronautix.com/j/jsmoonbase1984.html>
29. Imagen extraída de https://www.researchgate.net/figure/Detailed-Cross-Section-of-the-Lacus-Veris-Inflatable-habitat_fig9_228758914
30. Imagen extraída de https://www.researchgate.net/figure/Livermore-Concept-Sketch-of-Lunar-Base-credit-ILC-Dover_fig3_254255494

31. Imagen extraida de <http://www.asi.org/adb/01/04/walkaround.html#imagetop>

32. Imagen extraida de https://www.researchgate.net/figure/NASA-JSC-Concept-Sketch-of-the-Lunar-Lander-credit-NASA-ILC-Dover_fig4_254255494

33. Imagen extraida de https://www.researchgate.net/figure/An-advanced-configuration-of-the-Kopernikus-Lunar-Base-credit-K-Ozdemir_fig5_254255494

34. Imagen extraida de <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=25358>

35. Imagen extraida de <https://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2004/mobitat/mobitat.html>

36. Imagen extraida de http://www.space-craft.at/portfolio_tag/design-studio/

37. Imagen extraida de <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=25362>

38. Imagen extraida de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576507000690>
https://www.researchgate.net/publication/254255494_Deployable_Lunar_Habitation_Design

39. Imagen extraida de [https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_outpost_\(NASA\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_outpost_(NASA))

40. Imagen extraida de <https://www.nasa.gov/exploration/home/inflatable-lunar-hab.html>

41. Imagen extraida de <https://www.itespresso.es/moon-base-two-parece-salida-de-tiberium-wars-75233.html>

42. Imagen extraida de <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=25365>

43. Imagen extraida de https://www.researchgate.net/figure/Evolutionary-growth-lunar-base-configuration-the-Hopping-Crane-is-attached-to-the_fig11_254255494

44. Imagen extraida de https://www.researchgate.net/figure/Minimum-Function-Habitat-with-Inflatable-Pod-Option-Image-ILC-Dover_fig8_254255494

45. Imagen extraida de https://www.researchgate.net/figure/Deployment-Testing-of-the-X-Hab-Lunar-Habitat-at-NASA-LaRC-credit-NASA-ILC-Dover_fig7_254255494

46. Imagen extraida de <http://www.architectureandvision.com/portfolio/058-mooncapital-2010/>

47. Imagen extraida de <https://www.newscientist.com/gallery/lunar-base-designs/>

48. Imagen extraida de <https://www.fosterandpartners.com/es/projects/lunar-habitation/>

49. Imagen extraida de <https://www.dezeen.com/2017/01/17/nine-visions-lunar-architecture-moon-moontopia-competition/>

50. Imagen extraida de <https://archpaper.com/2019/04/som-esa-mit-shoot-moon-lunar-village/#gallery-0-slide-0>

51. Imagen extraida de <https://www.blueorigin.com/blue-moon>

52. Imagen extraida de <https://www.elmundo.es/ciencia/2015/12/24/567be10aca47418a6b8b45f8.html>

53. Imagen extraida de <http://elsofista.blogspot.com/2011/04/sombras-en-el-polo-sur-de-la-luna.html>

54. Imagen extraida de <https://www.microsiervos.com/archivo/espacio/como-nasa-llevo-rover-hasta-superficie-luna.html>

55. Imagen extraida de Imagen extraida de <https://www.spacex.com/mars>

56. Imagen extraida de <https://clipset.20minutos.es/primer-traje-espacial-spacex/>

57. Imagen extraida de <https://www.t13.cl/noticia/tendencias/bbc/las-imagenes-que-son-la-evidencia-definitiva-de-la-existencia-de-agua-en-forma-de-hielo-en-los-polos-de-la-luna>

58. Imagen extraida de <https://www.ngenespanol.com/el-mundo/a-que-hora-regresan-las-abejas-a-la-colmena/>

59. Imagen extraida de <http://www.getsky.es/beneficios-de-instalar-una-ventana-virtual/>

60. Imagen extraida de <https://mashable.com/2013/12/30/foodini-3d-printer/?europe=true>

61. https://www.elespanol.com/cultura/cine/20151007/69743060_0.html

62.Imagen extraida de <https://www.3dnatives.com/es/planean-imprimir-una-aldea-lunar-en-el-2030/>

63.Imagen extraida de <https://e-ficiencia.com/viviendas-en-la-luna/>

64.Imagen extraida de <https://www.pinterest.it/pin/811985007791941912/>

65.Imagen extraida de <https://www.spacex.com/mars>

ICONOS

1.Astronaut from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=astronaut&i=1312106>

2.Months by Rohit Arun Rao from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=month&i=247255>

3.Rocket by Alessandro Curci from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=ROCKET&i=2047171>

4.Place by Markus from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=place&i=1769101>

5.Planet by Alexander Skowalsky from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=SPACE%20AGENCY&i=746888>

6.Person by Guilherme Furtado from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=PERSON&i=2005172>

7.Description by shashank singh from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=DESCRIPTION&i=2228901>

8.Charging by Daniel Nochta from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=CHARGE&i=350203>

9.Timer by tezar tantular from the Noun Project
<https://thenounproject.com/search/?q=PERIOD&i=2115635>

