

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA
VALPARAISO - CHILE



LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO DE MINEROS ASTRO-
NAUTAS EN CONDICIONES LUNARES ANÁLOGAS PARA LA
EXTRACCIÓN DE TIERRAS RARAS

I + D

TRAINING LABORATORY FOR ASTRONAUT MINERS IN LUNAR ANALOGOUS CONDI-
TIONS FOR THE EXTRACTION OF RARE EARTHS

Valentina Alejandra Purcell Catalán

Memoria de titulación para optar al título de Arquitecto

Profesores Guía
Pedro Serrano
Fernando Hammersley

ABRIL 2022

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la institución.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis profesores guía, Pedro Serrano y Fernando Hammersley, quienes con sus conocimientos y apoyo me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

También quiero agradecer a Aldea Lunar, grupo conformado por miembros de Achide por brindarme la oportunidad de conocer profesionales que me apoyaron con sus conocimientos y, además, por la posibilidad de compartir el proyecto de manera nacional e internacional. Asimismo, agradecer a los profesores Francisco Quitral y Francisco Valdés por sus aportes relacionados a encaminar la investigación en la modalidad de I + D. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

Por último, quiero agradecer a mi familia y amigos, por ser mi soporte fundamental en este camino y alentarme a tomar las oportunidades que se me fueron presentando.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El presente trabajo de título consiste en el diseño de un laboratorio para el entrenamiento de futuros mineros astronautas encargados de la extracción y procesamiento de tierras raras en la luna. Con este propósito el laboratorio de entrenamiento debe simular las condiciones lunares en territorio análogo lunar. Para ello, debe estar emplazado en un lugar que cumpla con condiciones extremas como lo son las minas subterráneas a gran altitud existentes en Chile.

2

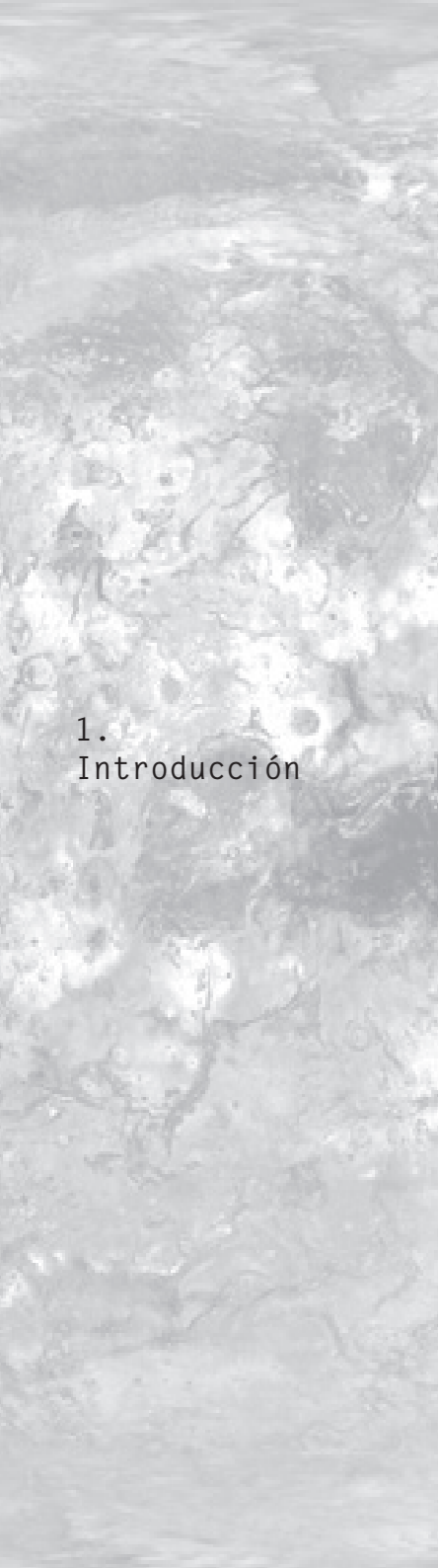
3

ABSTRACT

The present final work consists of the design of a laboratory for the training of future astronaut miners in charge of the extraction and processing of rare earths on the moon. For this purpose the training laboratory must simulate lunar conditions in analogous lunar territory. To do this, it must be located in a place that meets extreme conditions such as the high-altitude underground mines in Chile.

1. Introducción
 - 1.1. Objetivo general y específicos
 - 1.2. Hipótesis de trabajo
 - 1.3. Metodología
2. Problemática
 - 2.1. Desarrollo de la Problemática Arquitectónica
 - 2.2. Condiciones Climáticas Extremas
 - 2.3. Interior Lunar
3. Emplazamiento
 - 3.1. Emplazamiento Terrestre
4. Análisis de Referentes
 - 4.1. Base Halley
 - 4.2. Estación Concordia
 - 4.3. Estación del Polo Sur Amundsen Scott
 - 4.4. Estación Espacial Internacional
 - 4.5. Submarino Atómico
 - 4.6. Unidades de Refugios Mineros
 - 4.7. Campos de Investigación en Territorios Análogos Extraterrestres
 - 4.8. Instalación de entrenamiento de astronautas. NASA Johnson Space Center.
5. Programa
 - 5.1. Diagrama Programático
 - 5.2. Programa de seguimiento

6. Propuesta
 - 6.1. Conceptos de diseño
 - 6.2. Módulo Laboratorio de Extracción
 - 6.3. Módulo Habitáculo
 - 6.4. Esclusa de traspaso Interior-Exterior
 - 6.5. Captación de energía
 - 6.6. Materialidad
 - 6.7. Traslado y ensamble
7. Visualizaciones
8. Conclusión
9. Bibliografía



1. Introducción

Es preciso destacar que el proyecto de titulación pertenece a una investigación conjunta que busca presentar las oportunidades de Chile en la actual carrera espacial, siendo uno de los siete proyectos actuales que está presentando Achide (Asociación Chilena del Espacio) para colaborar internacionalmente con Moon Village Association.

Estos siete proyectos fueron expuestos por primera vez en el Pabellón de Chile en Expo 2020 en Dubai de manera presencial e híbrida. Los proyectos estuvieron expuestos desde el día 17 hasta el 23 de octubre del año 2021.

El trabajo que se describe a continuación representa la primera fase investigativa, siendo la segunda fase el trabajo de título de Erin Flores denominado “Mining prospecting module”, que sustenta su fase de experimentación y prueba en áreas análogas de entrenamiento en el territorio chileno en túneles mineros actualmente inactivos, expuestos en este documento.

El diseño que se propone es de relevancia dado que, en la actualidad, el mundo se encuentra nuevamente, como sucedió en los años 60`, inmerso en una carrera espacial. De este modo, la falta de materia prima en la tierra para la producción de alta tecnología está haciendo que los países dirijan sus investigaciones a la explotación de recursos fuera de nuestra atmósfera, es decir, la luna y asteroides. Estos cuerpos son ricos en metales lantánidos u óxidos metálicos, mayormente conocidos como Tierras Raras, antaño así llamados por su dificultad en su obtención. Estos recursos son responsables del desarrollo de las tecnologías de vanguardia, entre las cuales se encuentra el campo de la óptica, iluminación, imanes permanentes y baterías portátiles (Comisión Chilena del Cobre, 2016).

Dichos minerales se encuentran dispersos en la corteza terrestre en menor densidad que otros minerales como el oro y el cobre, y su extracción requiere diferentes procesos para separarlos de los demás sedimentos, ya que suelen ser parte del sub producto de un yacimiento mucho mayor.

En cambio, en la luna y asteroides, se han obtenido indicativos de que presentan una tierra rica en dichos metales que conforman las denominadas Tierras Raras. Esto se ha podido constatar a partir de las investigaciones y misiones de exploración realizadas por la NASA, la ESA, California Institute of Technology, entre otras organizaciones dedicadas al estudio y desarrollo de la ingeniería espacial.

A raíz de lo dicho anteriormente, asociaciones espaciales internacionales han puesto en marcha variadas iniciativas para reunir interesados en temas relativos al espacio, pero que se dediquen a ámbitos no conectados directamente con el área aeroespacial, con el propósito de generar grupos de trabajo y proyectos que den respuesta y soluciones a problemáticas desde un punto de vista alejado del espacio pero con un mismo fin, volver a visitar nuestro satélite natural y obtener recursos importantes de éste.

Una de estas asociaciones es Moon Village Association, que ha lanzado la iniciativa “Participation of Emerging Space Countries” para países con programas espaciales emergentes y para las nuevas asociaciones locales que deseen colaborar con el trabajo cooperativo internacional con el fin de llevar a cabo el diseño de la futura Aldea Lunar.

MOON VILLAGE

Como su nombre en inglés lo indica, MOON VILLAGE, es decir, Aldea Lunar, es un concepto acuñado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Esta, pretende fomentar la cooperación en los actuales programas de exploración lunar entre agencias espaciales e industrias que deseen participar en el desarrollo de un asentamiento lunar (MVA Statute, 2021).

Para dar cuenta del trabajo desarrollado, en una primera parte se describen los objetivos generales y específicos, la metodología que guió la realización del proyecto y la hipótesis de trabajo.

Luego, se plantea la problemática general y la arquitectónica, para seguidamente dar paso a la definición del emplazamiento, al análisis de referentes y al diseño del programa.

Finalmente, se presenta la propuesta del Laboratorio de Simulación para el Entrenamiento de mineros astronautas.

1.1. Objetivos

Objetivo General

Diseñar una instalación subterránea de entrenamiento para mineros astronautas empleando un sistema de espacios modulares y herméticos que simulen la vida y trabajo en un asentamiento minero de extracción de tierras raras en la Luna, emplazándolo en un territorio análogo lunar, como lo son los túneles subterráneos sin uso de la minera de Codelco División El Teniente, que se encuentran a gran altitud.

Objetivos Específicos

Estudiar y establecer los elementos principales que requiere la habitabilidad en espacios capsulares y herméticos en contextos hostiles y sus posibles efectos físicos y mentales en el usuario.

Analizar referentes de habitabilidad en territorios extremos, similares a ambientes extraterrestres, es decir, aislados y autosustentables. También, sus sistemas para funcionar de manera autónoma o de manera remota. Esto, con el fin de desplegar las características fundamentales de cada uno de ellos para el desarrollo del laboratorio de simulación lunar.

Conocer los procesos de detección y extracción de tierras raras, para el diseño de los módulos dedicados a esta actividad.

Diseñar áreas de aislamiento completo donde vivirá y trabajará la tripulación; siendo esta, vigilada por una base cercana donde se encontrarán especialistas de diversas áreas que se encargarán de monitorear la respuesta de la tripulación ante el entrenamiento, como también su respuesta fisiológica, funcionando como zona de control.

1.2. Hipótesis del trabajo

¿Es posible diseñar una instalación de simulación modular y autónoma de entrenamiento para mineros astronautas, emplazándola en un túnel minero subterráneo, en estado de inactividad, a gran altitud en Chile?

1.3. Metodología

Para la realización del proyecto de diseño arquitectónico se siguieron las etapas que se describen a continuación:

Búsqueda de Antecedentes relacionados a:

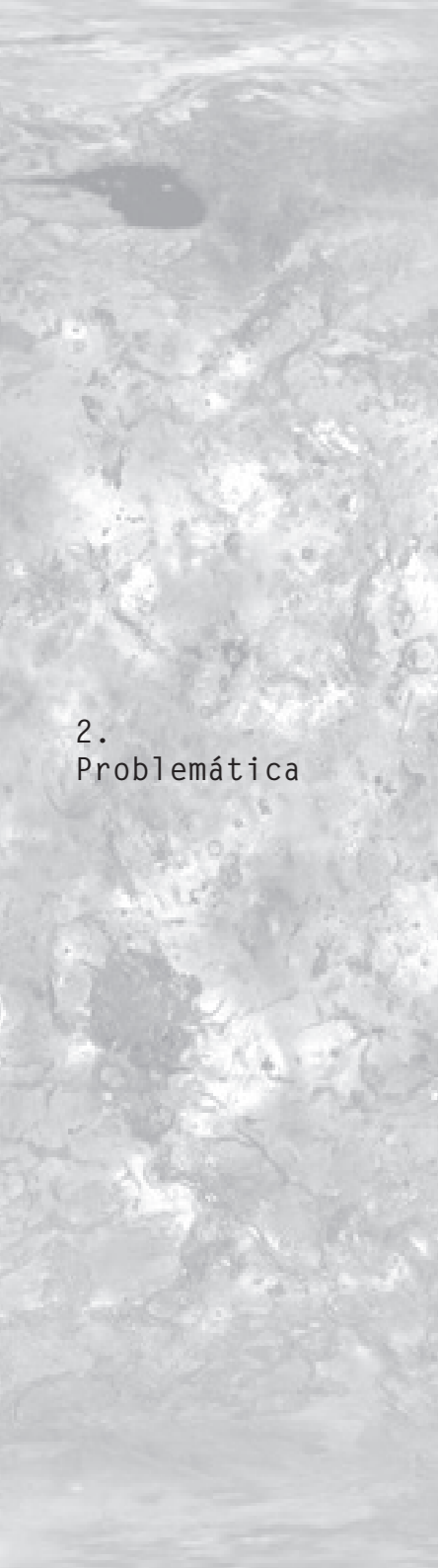
- Expectativas que se tienen a nivel mundial hacia la minería lunar.
- Información sobre tierras raras, su rastreo y procesamiento.
- Estudio de intumescencias lunares y territorios análogos terrestres
- Condiciones ambientales lunares, gravedad, temperatura, meteoritos, radiación solar, radiación cósmica y el vacío.
- Estado actual de la tecnología para misiones lunares, sobrevivencia en contextos extremos y habitabilidad en espacios capsulares y herméticos.

Diseño de programa:

- Definición de recursos necesarios para diseñar espacios modulares habitables aislados del exterior.
- Simulación de instalación lunar de entrenamiento en túnel minero: habitar y trabajar en el interior y exterior.

Diseño de los módulos:

- Características de los túneles mineros de minera El Teniente como emplazamiento: dimensiones, accesos, disponibilidad de redes y posibilidad de establecer una planta solar superficial.
- Organización de módulos y funciones.



2. Problemática

Contexto país

Si bien, en Chile existen territorios análogos extraterrestres, se tiene experiencia en habitabilidad y construcción en contextos extremos y se cuenta con una historia enfocada en la industria minera, es posible observar una falta de participación chilena en asuntos espaciales internacionales que podrían impactar de manera significativa en la economía interna y externa.

12

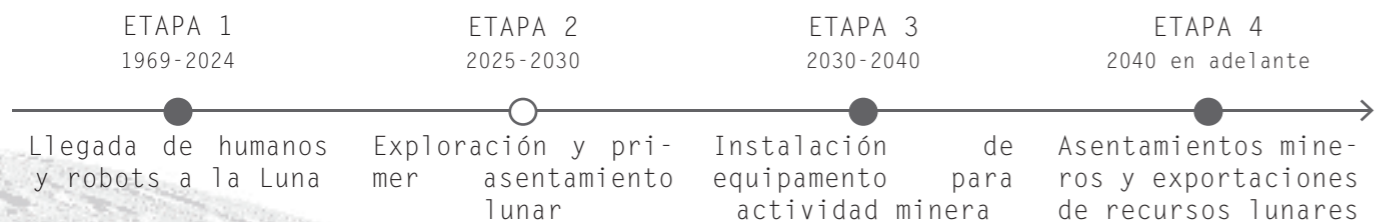
13

En Chile, la minería es uno de los procesos productivos que, históricamente, ha tenido una gran importancia, realizándose desde hace más de 200 años. Chile se ha posicionado a la vanguardia de la innovación tecnológica en la práctica de esta actividad, específicamente en la minería subterránea, como lo es CODELCO con la minera El Teniente (Minería Chilena, 2020). Asimismo, nuestro país ha demostrado interés en la extracción de Tierras Raras. Un ejemplo de esto, es la iniciativa de Biolantánidos, una empresa orientada a la producción de óxidos de lantánidos y que hoy se encuentra en las últimas fases para su aprobación ambiental (INERCO, 2018).

Sumado a lo anterior, nuestro país posee un territorio muy variado y propicio para hacer simulaciones y experimentos que asemejen territorios análogos extraterrestres, como lo es el desierto de Atacama -donde fue probado el robot rover por la ESA el año 2019 (Corvalán, 2019)- los campos de hielo, los túneles a gran altitud y la Antártida.

De acuerdo a lo expresado con antelación, Chile tiene las competencias y los recursos para formar parte de esta experiencia pionera en el campo de la minería espacial, interviniendo en etapas de producción intermedia que permitan la experimentación, la prueba de dispositivos, y el desarrollo de máquinas y materiales destinados a su uso en el espacio.

Contexto Temporal en que se posiciona el proyecto



CONTEXTU

Exploración de recursos mineros al interior de intumescencias lunares

Mapeo de túneles subterráneos idóneos para la instalación de módulos de avanzada con el objetivo de desarrollar asentamientos humanos

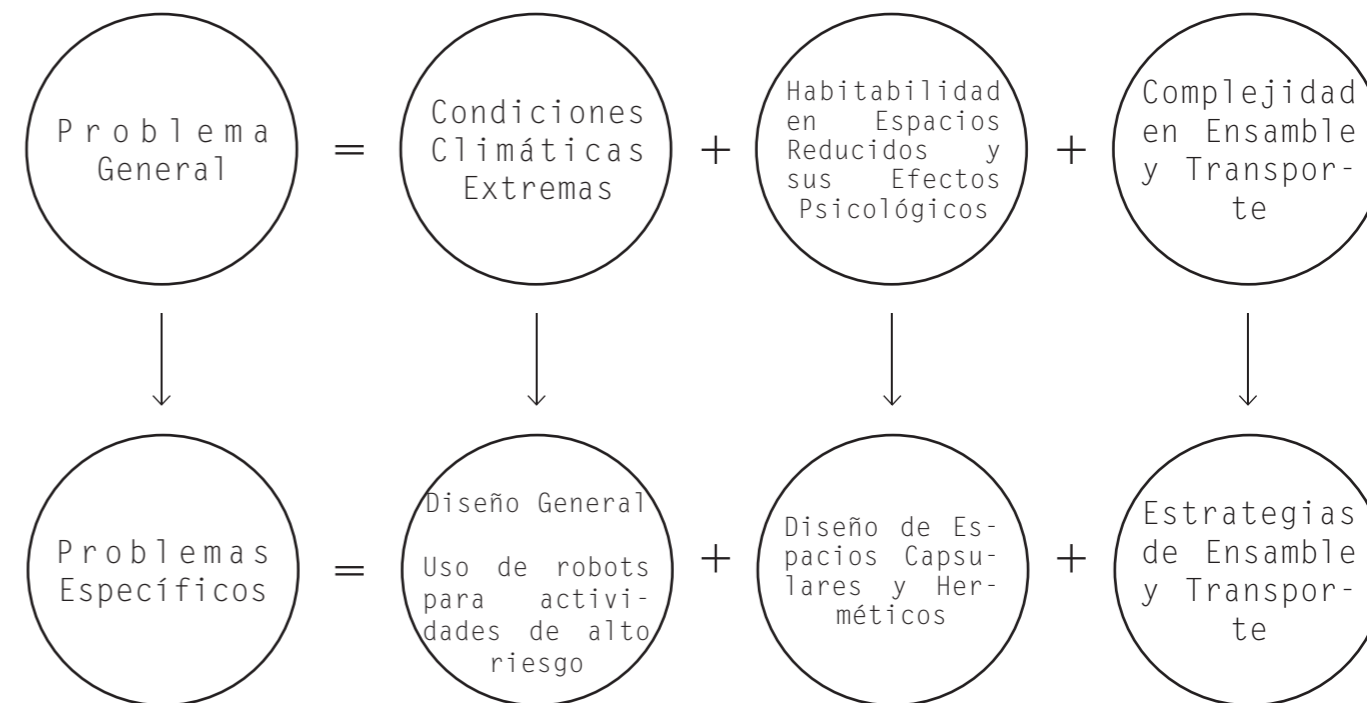
Arribo de sistema de suministros

Instalación de planta de energía solar en superficie lunar

14

2.1. Desarrollo de la Problemática Arquitectónica

A continuación, se realiza un desglose de los problemas que debe solucionar el proyecto desde los aspectos arquitectónicos, donde los componentes del problema general entregarán las directrices de diseño para el laboratorio de simulación en condiciones análogas lunares.



15

2.2. Condiciones Climáticas Extremas

Dado que el objetivo del proyecto es el entrenamiento de futuros mineros astronautas que trabajarán en la luna, es muy importante conocer las características que hacen hostil el territorio lunar, sobre todo las características climáticas de la superficie, las que se describen en los siguientes apartados:

Radiación Cósmica

Galáctica: Son partículas cargadas que son aceleradas gracias a la energía emitida por las supernovas que, a su vez, son grandes explosiones ocurridas en la etapa final de vida de las estrellas gigantes que colapsan transformándose en agujeros negros y destruyéndose completamente. Estas partículas son altamente penetrantes y casi imposibles de blindar, dada su alta velocidad.

Solar: Son partículas cargadas emitidas por el sol, específicamente, por la corona solar, por lo que recibe el nombre de “viento solar”.

Estar expuestos a la radiación cósmica, sin la protección del campo electromagnético terrestre, dañaría la estructura de nuestro ADN aumentando el riesgo de generar células cancerosas y problemas cerebrales.

Impactos de Aerolitos

Son trozos de cometas desintegrados que entran en la órbita lunar y terrestre. Por la presencia de la atmósfera que posee la tierra no representan un gran peligro. En cambio, en la luna, por falta de atmósfera, su superficie se ve continuamente bombardeada por fragmentos pétreos.

Variación de Temperatura

La superficie superior de la luna durante el día puede alcanzar los 127 °c y por la noche descender a unos -173 °c. Sin embargo, la capa de regolito (polvo lunar) que cubre la superficie sirve como aislante eficiente, gracias a su gran porosidad, dando como resultado que los cambios de temperatura penetren la corteza hasta un metro aproximadamente.

La Luna posee una atmósfera muy fina, que no le permite proteger su superficie de elementos que llegan a ser nocivos para la subsistencia humana. Por otro lado, la corteza lunar esta compuesta por Regolito Lunar, también llamado polvo lunar, material sedimentario que sirve eficientemente como un aislante natural gracias a su alta porosidad, resultando ser una efectiva capa protectora contra los cambios diarios de temperatura que penetran a menos de un metro de profundidad (Burke, 2021).

Evitar los impactos de aerolitos y mitigar los cambios de temperatura extremos en la superficie, son necesidades que pueden ser solucionadas asentándonos debajo de la superficie lunar, específicamente, en intumescencias lunares.

Otra condición que se debe considerar, es el vacío del espacio. La atmósfera lunar no permite contener elementos como el oxígeno y el nitrógeno, que son elementales para la vida en la tierra. Esto, sumado a las catastróficas consecuencias que tendría la diferencia de presión, nuestro cuerpo comenzaría a hincharse, debido a la expansión de nuestros líquidos y gases internos, desencadenando la muerte (Gómez, 2018).

2.3. Interior Lunar

La luna, en su etapa más temprana, estaba compuesta por volcanes, y a medida que fue envejeciendo, esta actividad volcánica se fue enfriando. La lava se fue comprimiendo en espacios mas pequeños mientras continuaba fluyendo debajo de la corteza lunar, dejando túneles vacíos.

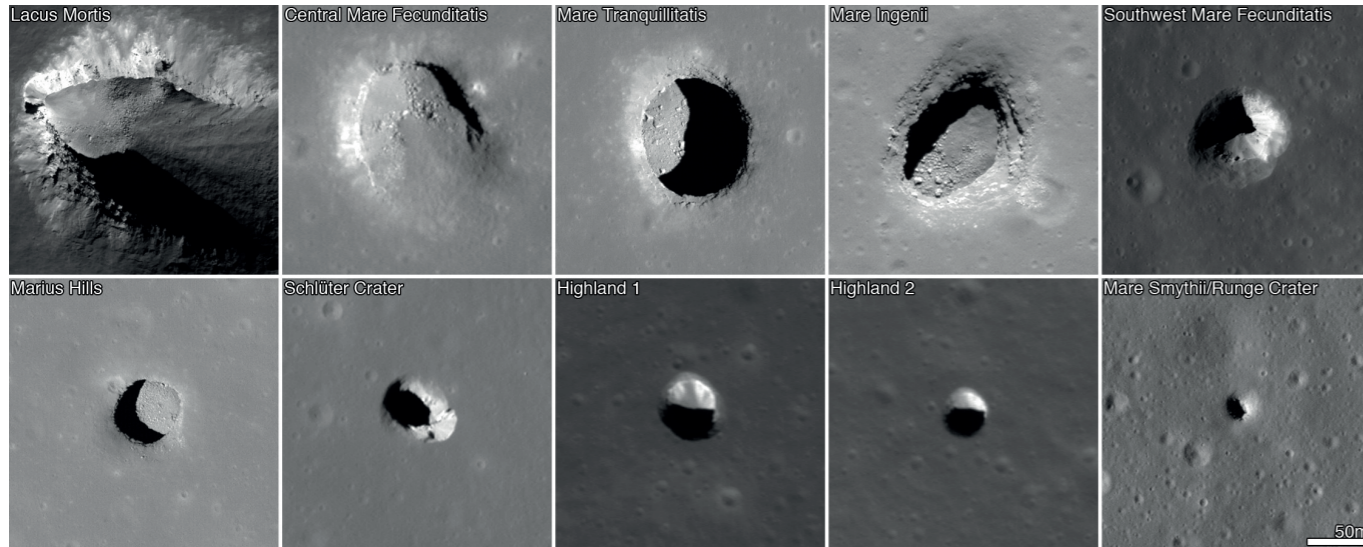


Imagen: extraída de <https://space.stackexchange.com/questions/10635/is-there-a-map-or-list-of-all-the-lava-tube-skylights-the-lro-has-detected-on-th>

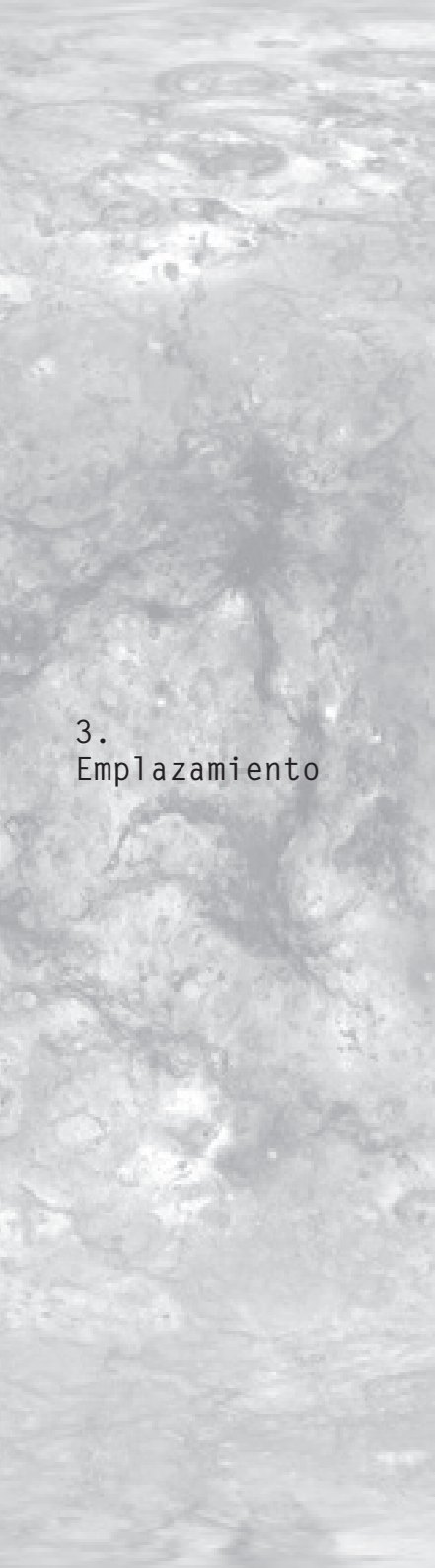
En el conjunto de imágenes se pueden apreciar entradas de posibles túneles dejados por la actividad volcánica.

18

19



Diagrama realizado con información extraída del documento "Situación actual del mercado de tierras raras y su potencial en Chile" de la Comisión Chilena del Cobre,



3. Emplazamiento

La elección del emplazamiento fue determinado por las características y condiciones que se deben cumplir para generar un ambiente análogo lunar.

20

3.1. Emplazamiento Terrestre

Expuestas las condiciones a emular, se buscó un lugar subterráneo similar a los túneles de lava presentes en la luna. Este lugar debe estar sometido a presión, para lo cual se debe encontrar uno a gran altitud, para que los futuros astronautas entrenen en un espacio homólogo y poco a poco se vayan acostumbrando a trabajar bajo un estrés físico permanente.

Como se mencionó anteriormente, el país posee una amplia historia en el desarrollo de la minería subterránea, actividad que, durante la extracción, va vaciando túneles que son recorridos diariamente por buses y camiones. Codelco es una de las principales empresas de extracción minera en Chile y posee minas subterráneas a lo largo del país. Una de estas minas es el El Teniente y se posiciona como el yacimiento de cobre subterráneo mas grande del mundo (Codelco, 2020). Se encuentra ubicada a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua, en la comuna de Machalí en la Región Libertador General Bernardo O'Higgins. El acceso a los túneles mineros se debe realizar desde el ADIT 71, posicionado a 2400 mt. sobre el nivel del mar (Ingenieros del Cobre y Minería, 2015). La mina posee 2400 km de galerías subterráneas y muchos de los túneles ya no se encuentran con actividad porque se vaciaron. Por lo tanto, estos túneles son el ambiente propicio para posicionar el proyecto.

21

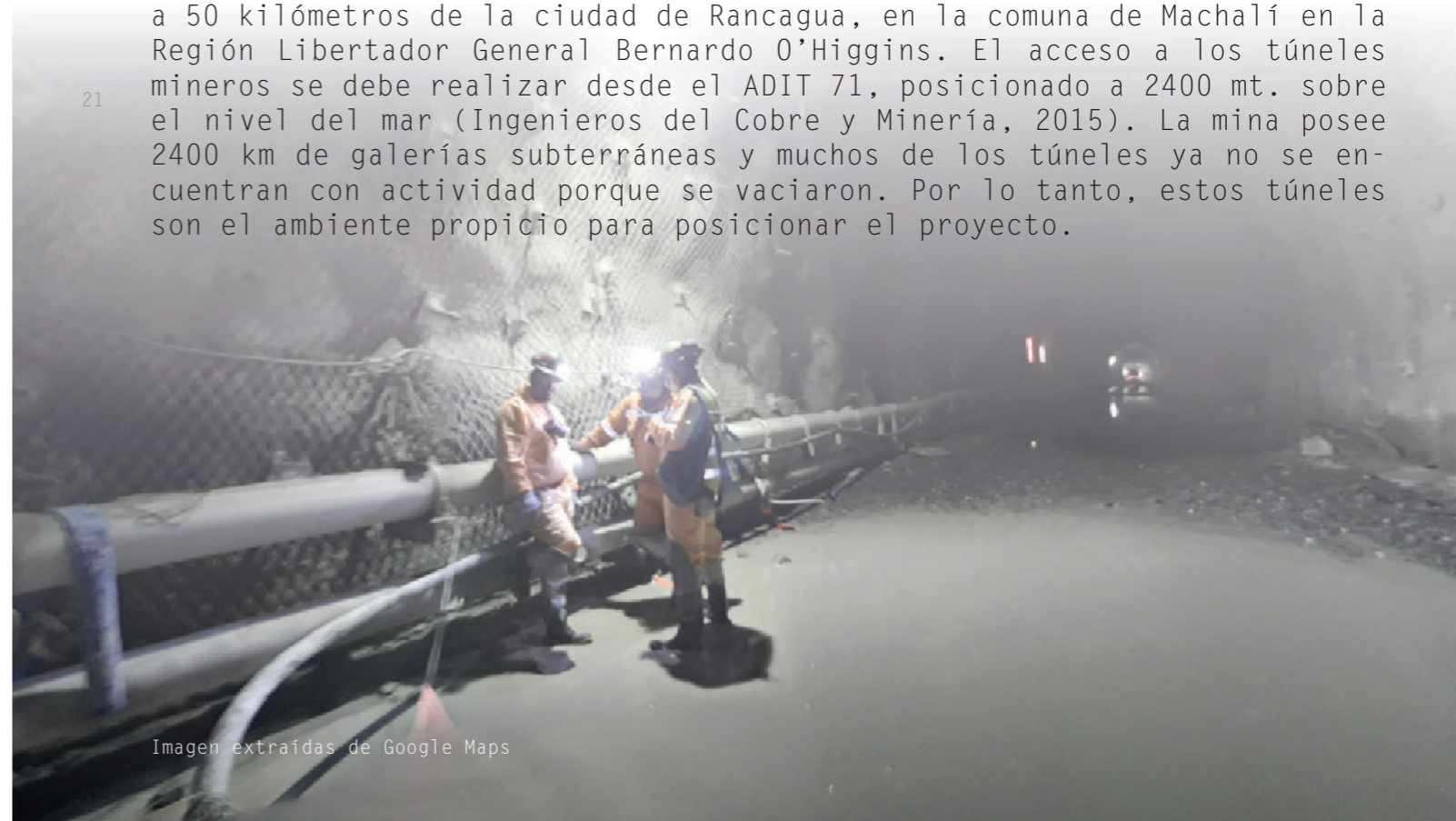
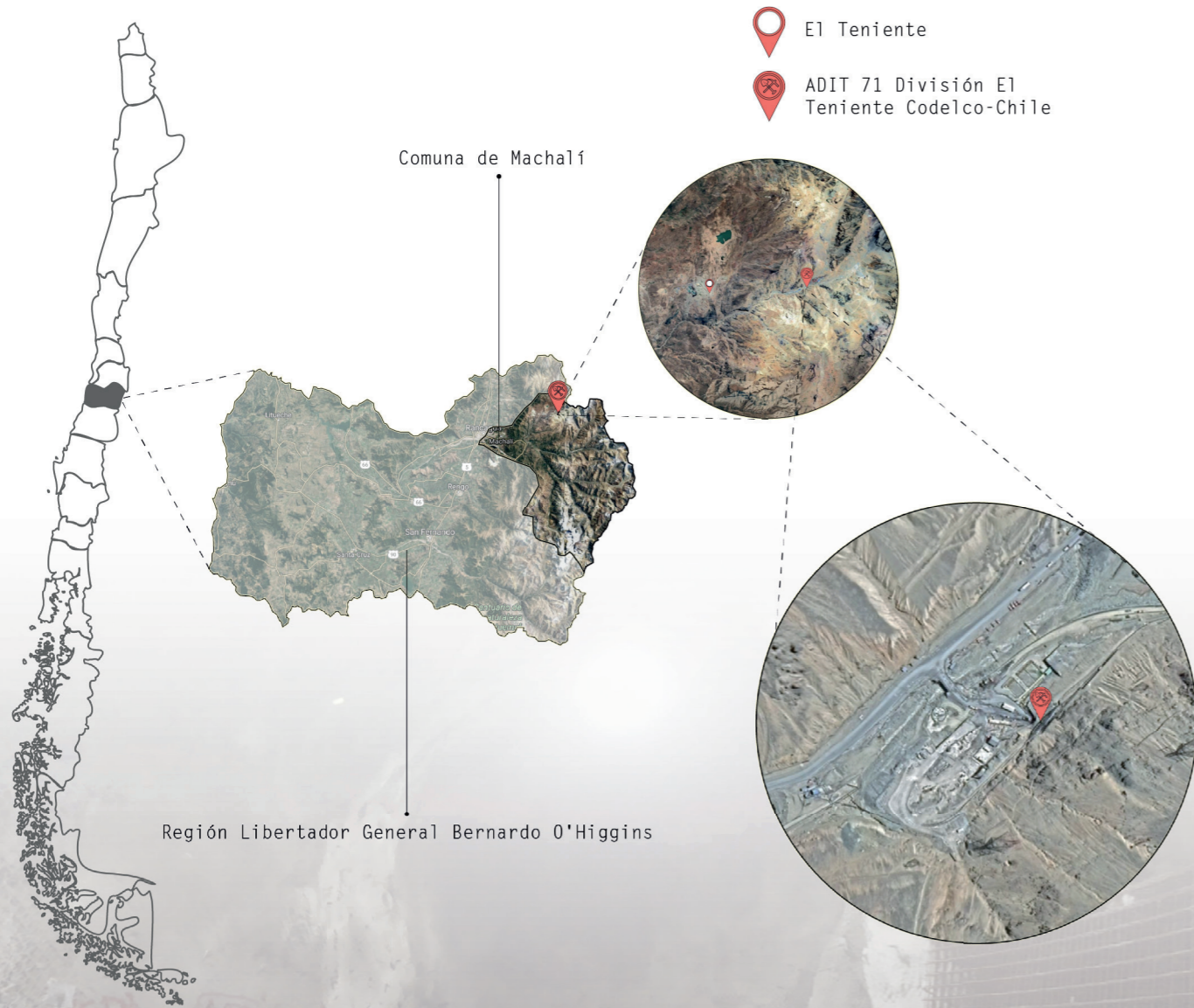


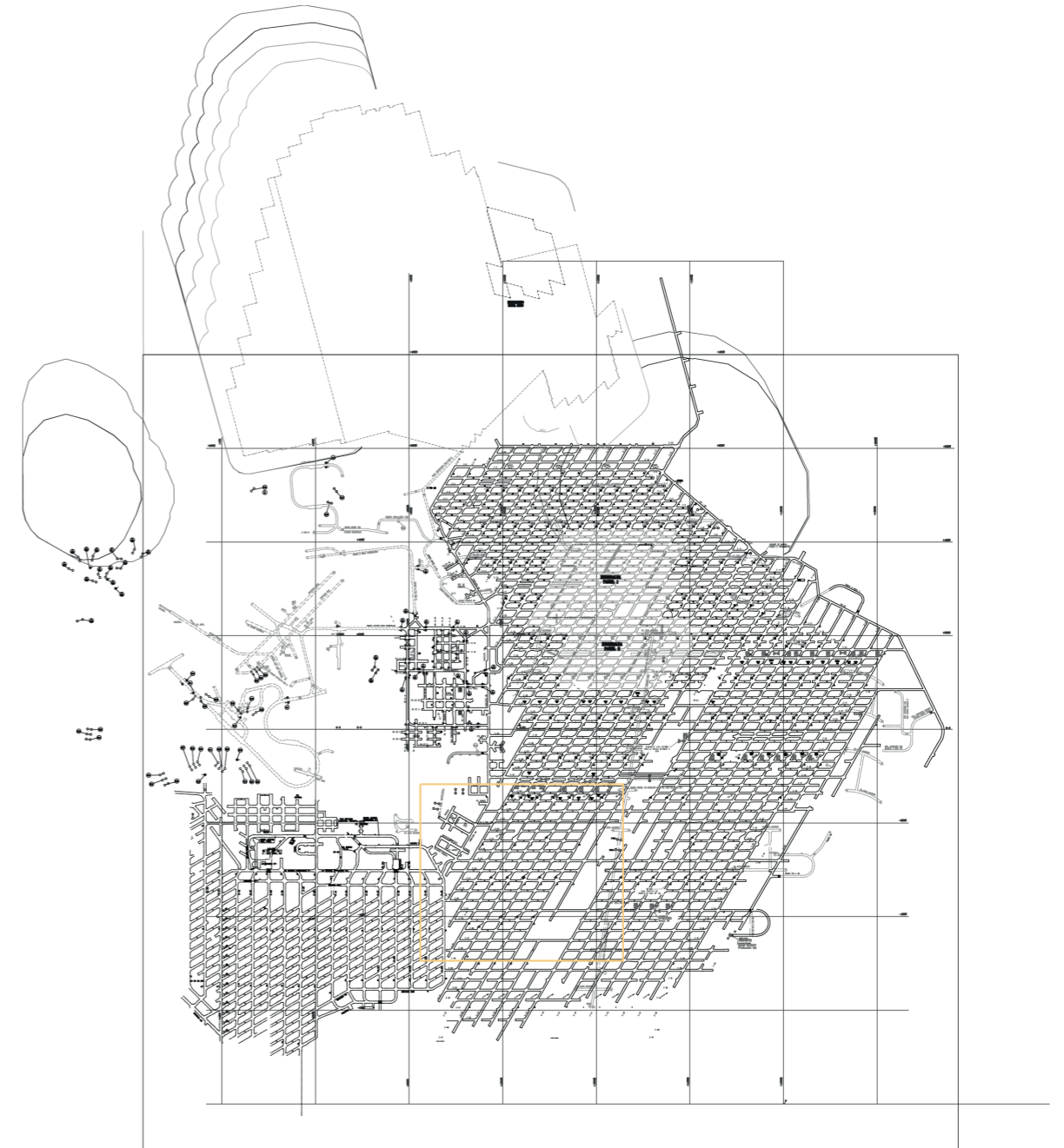
Imagen extraídas de Google Maps

Diagrama de ubicación



22

Planimetría de Túneles Subterráneos

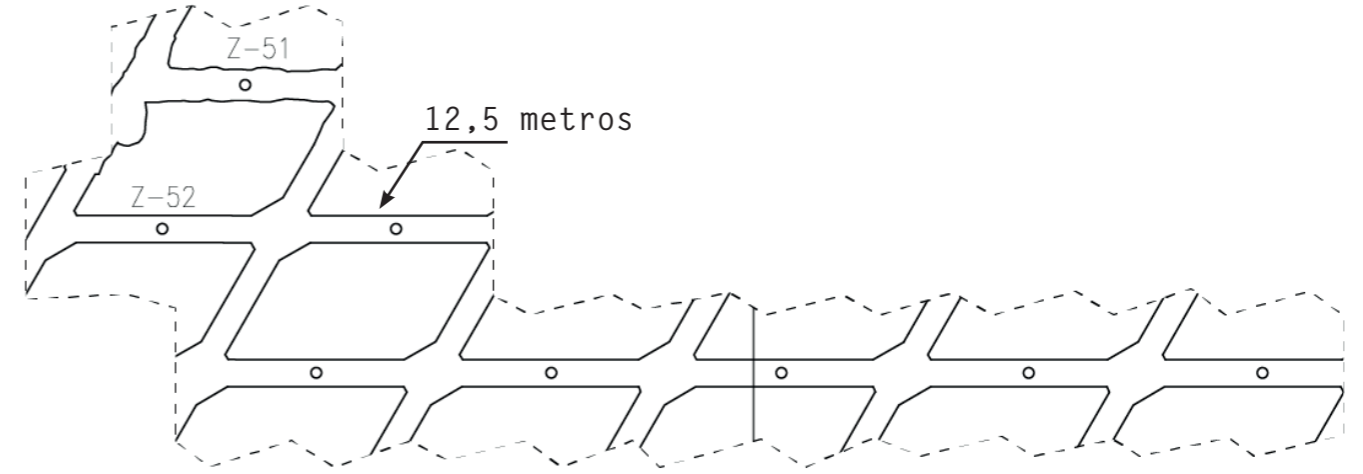


23

Detalle de túneles deseables como Emplazamiento



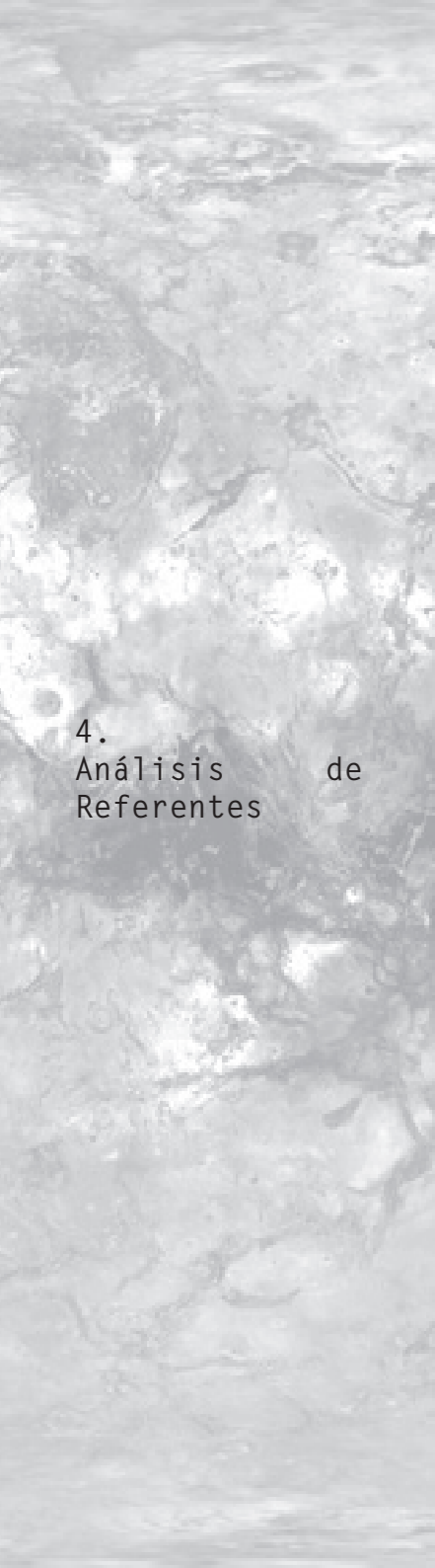
24



25

La elección del sitio se realizó por ser la zona de túneles vacíos, es decir, sin operaciones actuales; estos son los túneles vacíos a mayor altura sobre el nivel del mar, 2448 msnm. Además, se encuentran cerca de servicios y salidas donde se puede pedir asistencia.





4. Análisis de Referentes

Los referentes que se exponen a continuación poseen características únicas a emular en el diseño del laboratorio de entrenamiento, puesto que todos están sometidos a condiciones extremas de aislamiento.

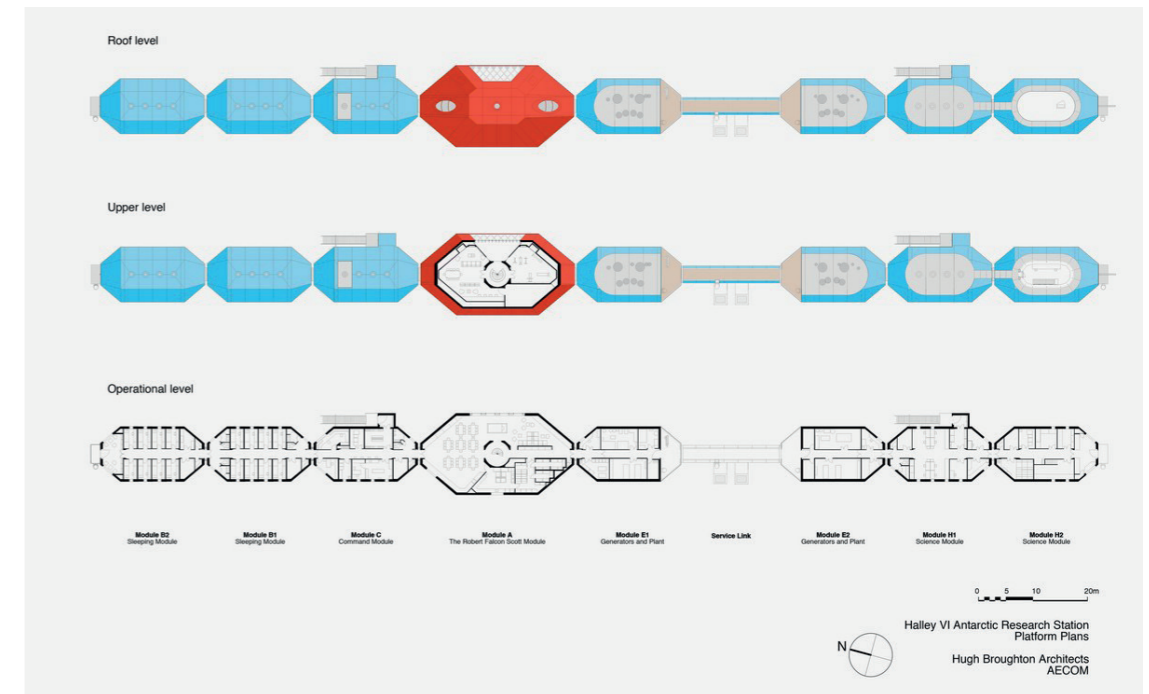
26

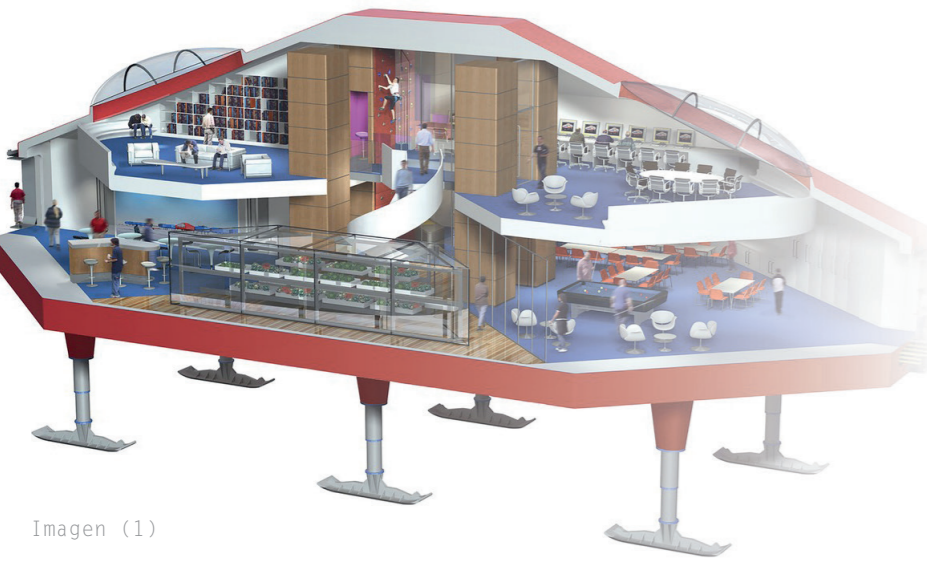


4.1. Base Halley, Antártica.

La Estación de Investigación Halley está ubicada sobre la plataforma de hielo Brunt y es la primera instalación de investigación reubicable del mundo. Fue diseñada por Hugh Broughton Architects y operada por British Antarctic Survey (BAS) y está conformada por 8 módulos unidos mediante brazos flexibles, que albergan laboratorios de vanguardia y espacios de alojamiento para los científicos.

27





Módulo de ocio

Uno de los módulos más importantes para la salud mental y física de los individuos es el **Módulo Robert Falcon** (imagen 1) destinado a ser un espacio de descanso y ocio; cuenta con una biblioteca, comedor, bar y un gran ventanal de cristal que permite visualizar el paisaje antártico.

Patas Hidráulicas

Sus patas hidráulicas le permiten ser movilizadas a lugares más seguros de la plataforma de hielo, ya que, dado los fuertes vientos, la base tiene de desplazarse por el continuo agrietamiento de los casquetes polares.

Imágenes extraídas desde <https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>

28



4.2. Estación Concordia, Antártida.

La estación de investigación Concordia en la Antártida está ubicada en una meseta a 3200 m sobre el nivel del mar, donde las temperaturas pueden descender a -80°C en el invierno, con una temperatura media anual de -50°C . Al encontrarse en el extremo sur de la tierra, la tripulación debe vivir sin luz solar durante 4 meses del año, ya que en invierno el sol no se eleva por encima del horizonte.

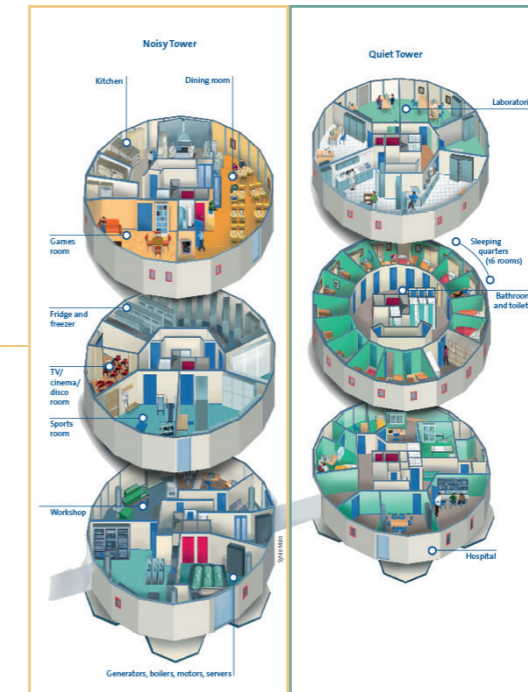
29

2º piso: cocina, lavaplatos, comedor, sala de estar, Biblioteca y sala de reuniones

Torre de Actividades Ruidosas

1º piso: área de almacenamiento de alimentos, sala de videos y gimnasio

Planta baja: generador de emergencia, taller técnico, lavadero y espacios de gestión de residuos



2º piso: laboratorios

Torre de Actividades Tranquilas

1º piso: dormitorios (16), baños y el simulador soyluz

Planta baja: hospital y telecomunicaciones

Imágenes obtenidas desde <https://institut-polaire.fr/en/antarctica/concordia-station/>

Imagen (1)



Imagen (2)



Imagen (3)

Sistemas de Habitabilidad

1. Central Eléctrica

Se utilizan 3 generadores eléctricos más uno de repuesto, a base de combustible. Cuando el combustible es convertido en electricidad, mediante el generador, se libera calor. Luego, este calor liberado, calienta el agua de radiadores que sirven de calefacción para la estación.

2. Planta de suministro de agua

Se realizan dos métodos, uno para el abastecimiento de agua dulce y otro es la reutilización de aguas grises.

El agua dulce es obtenida del derretimiento de hielo en un fundidor de 7 m³ y luego es tratada por ósmosis y rayos uv.

Para el reciclaje de aguas grises, el agua es tratada, filtrada y se vuelve a poner en circulación.

30

4.3. Estación del Polo Sur Amundsen Scott, Antártida.

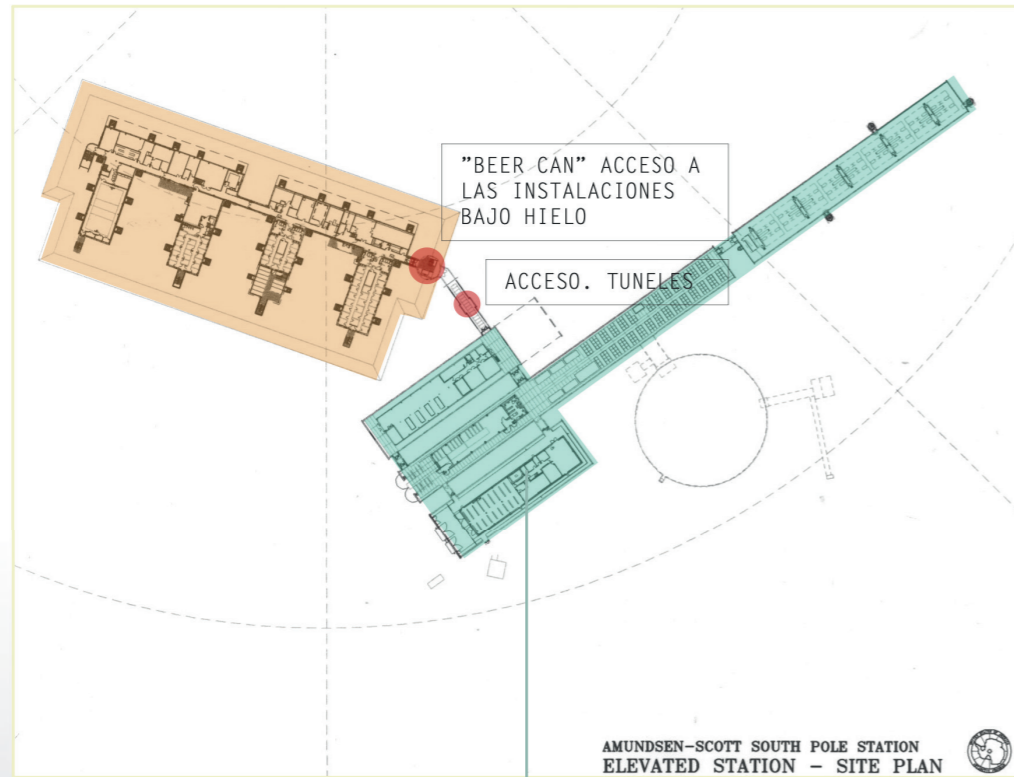


Es una estación de investigación elevada ubicada en el polo sur geográfico a una altura de 2835 mts sobre el nivel del mar, sometida a una temperatura promedio anual de -49 °c. Posee una capacidad para albergar un máximo de 200 personas en el verano austral, donde la temperatura promedio ronda los -28 °c. En cambio, en invierno, alberga una docena de personas encargadas del mantenimiento, y la temperatura alcanza una media de -60 °c.

Fue construida por Ferraro Choi para albergar los programas de investigación polar de la Fundación Nacional de Ciencias. La estación fue diseñada de manera que todos los componentes de construcción entraran en el compartimiento de carga de un avión lc-130 Hércules.

31

Planta de distribución de la Estación Amundsen-Scott



Instalaciones bajo hielo protegidas por arcos logísticos

Los túneles bajo el hielo se utilizan para la realización de investigaciones científicas. Bajo el hielo la temperatura solo varía 10 °c entre invierno y verano, es decir, de un promedio de -48 °c a -58 °c (Gone Venturing, 2020).

32

4.4. Estación Espacial Internacional, posicionada en la órbita baja (400 km sobre la tierra)



Es una estación orbital permanente que orbita la tierra cada 90 minutos a una velocidad de 5 millas por segundo. Es un lugar único, que permite el desarrollo de nuevas tecnologías. Tal es su aporte, que muchos de los objetos que utilizamos cotidianamente fueron desarrollados o mejorados en misiones realizadas en microgravedad.

33

Interior y Exterior hostil

Para el análisis de la Estación Espacial Internacional se desglosaron los temas de: microgravedad, habitabilidad en módulos herméticos, desorientación, obtención de energía y el uso de robots.

Microgravedad

La microgravedad es el estado de falta de gravedad que produce la constante aceleración centrípeta a una determinada altura y velocidad. Esto produce que los objetos y las personas en la estación espacial internacional floten, pero, en realidad están experimentando la caída libre. El permanecer varios meses en esta condición puede ocasionar serios problemas a la salud física y mental de los astronautas, problemas que son evidenciados al volver a la tierra (Carrillo et al., 2015).

El flujo sanguíneo recorre el cuerpo de manera no natural, produciendo problemas como, pérdida de masa ósea, masa muscular, problemas cardiovasculares, problemas a la vista, problemas cognitivos y problemas en la capacidad motora. En la estación poseen métodos para contrarrestar la degeneración física y mental, destinando un mínimo de dos horas diarias para hacer ejercicio en máquinas de ejercicio, ancladas a las paredes de los módulos, y horas destinadas al ocio (kW SPACE TV, 2016).

Imágenes obtenidas desde https://www.youtube.com/watch?v=06-Xm3_Ze1o&ab_channel=kWSPACETV

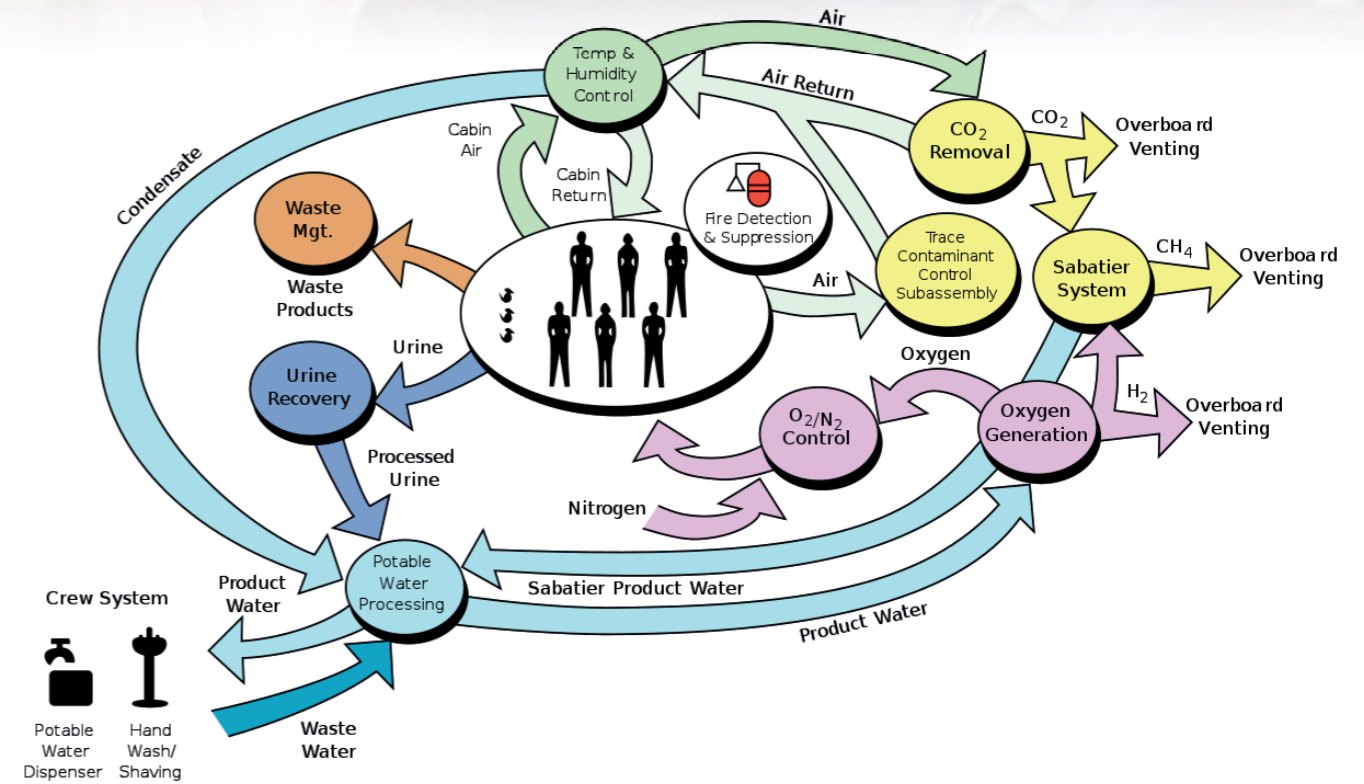


34

35

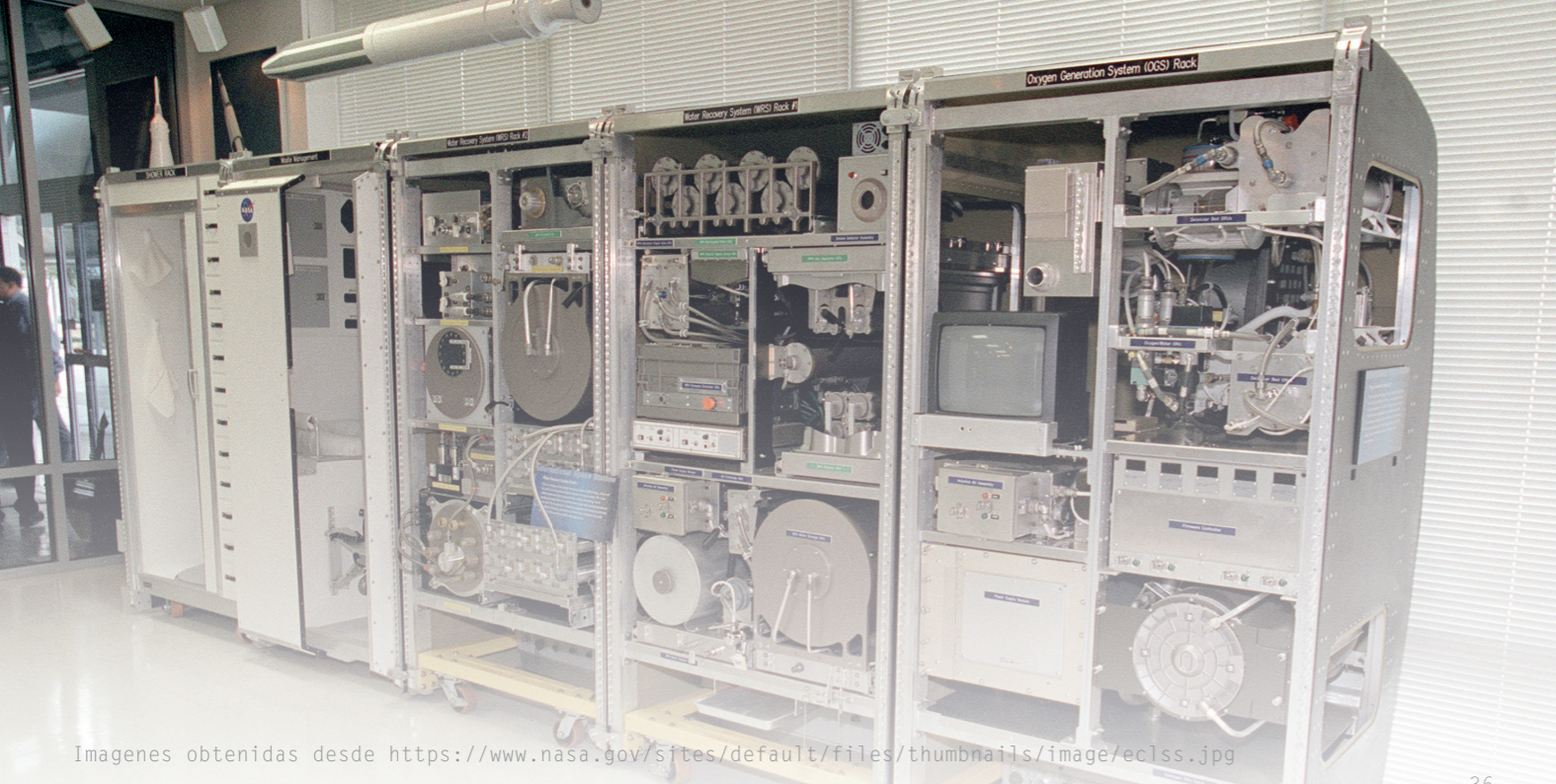
Habitabilidad en módulos herméticos

La estación esta desarrollada por módulos que deben tener la capacidad de funcionar independientemente de los demás, para lo cual poseen “racks” destinados al Sistema de Soporte Vital o ECLSS por sus siglas en inglés (National Aeronautics and Space Administration, 2010). El ECLSS está compuesto por el Sistema de Recolección de Agua o WRS y el Sistema de Generación de Oxígeno.

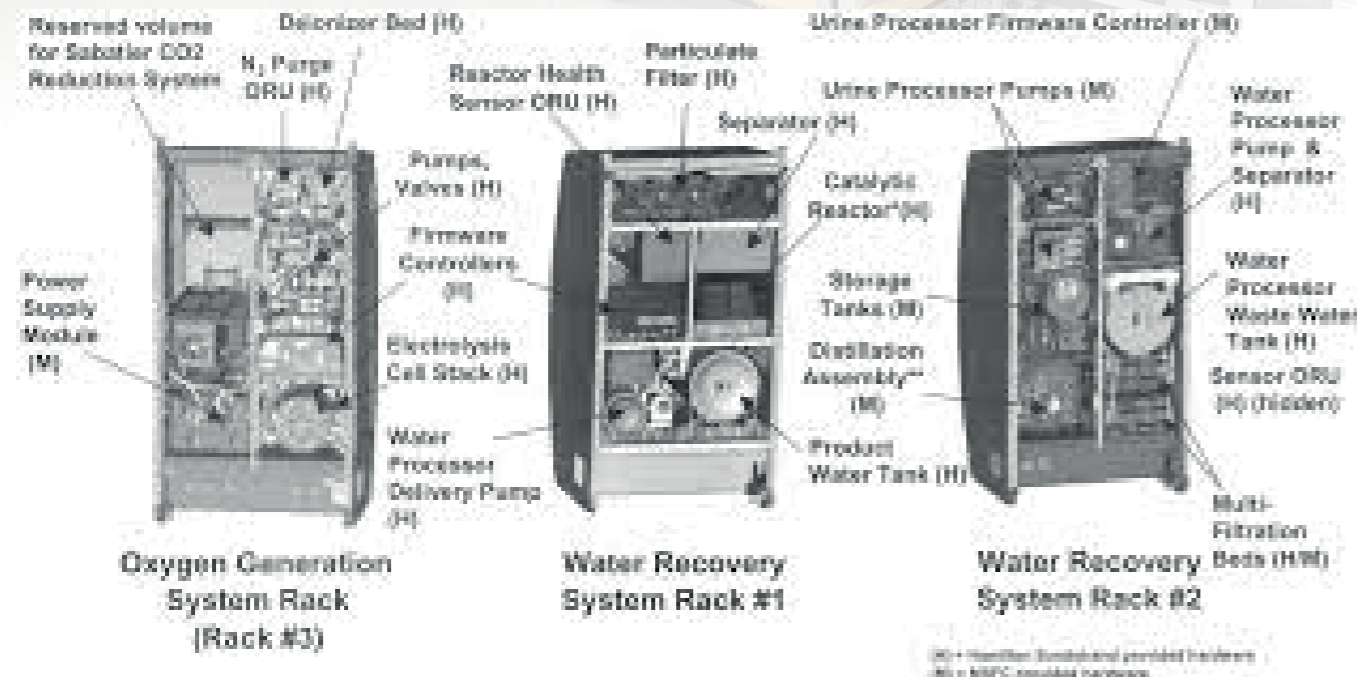


Imágenes obtenidas desde https://en.wikipedia.org/wiki/ISS_ECLSS

El WRS logra reutilizar el 93% del agua utilizada en la estación, según datos dados a conocer por la NASA el año 2021, al celebrar sus 20 años de funcionamiento. Los líquidos que se reutilizan son el sudor, la orina, fecas y partículas de agua que estén en la atmósfera de la estación.



Imágenes obtenidas desde <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/ec1ss.jpg>



Imágenes obtenidas desde <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/ec1ss.jpg>

Las “ventanas” son limitadas, por lo cual la tripulación vive bajo iluminación artificial que afecta el ciclo circadiano, impactando con el tiempo en la salud. Los pasajeros deben dormir en cubículos de espacio limitado o pegados a las paredes de los módulos.



Imágenes obtenidas desde <https://genial.guru/admiral-libre-los-tripulantes-de-la-estacion-espacial-de-la->

Desorientación

La fuerza de gravedad que poseemos en la tierra permite identificar lo que está arriba y abajo, siendo abajo la dirección en que la tierra nos atrae. En estado de ingravidez, esa fuerza no existe, por lo cual no existe un arriba ni un abajo. El uso de colores y etiquetado de los racks de almacenamiento según funciones, ayuda a la tripulación a orientarse dentro de la estación.

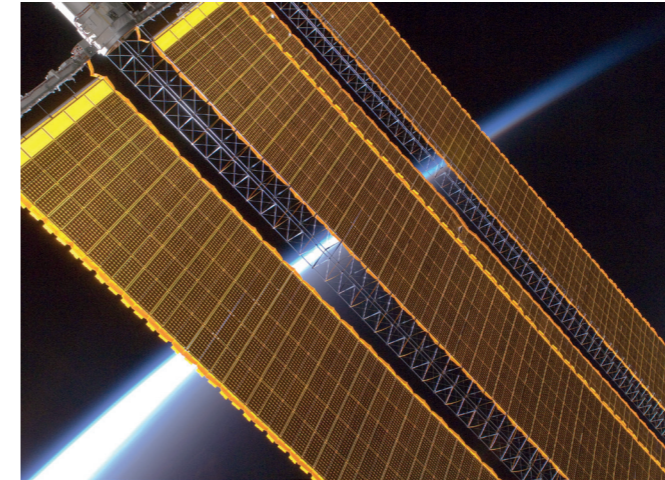


Imagen obtenida desde Arquitectura Espacial. Características y diseño de los hábitats en el espacio exterior, Javier Gomez Sanches (2018).

38

Obtención de energía

La estación obtiene energía mediante 4 pares de paneles solares (García, 2021) que son capaces de generar hasta 160 kilovatios de energía al día orbital, y han mantenido la estación espacial internacional en funcionamiento durante 20 años.



Imagenes obtenidas desde <https://www.nasa.gov/feature/new-solar-arrays-to-power-nasa-s-international-space-station-research>

39

Robots

Se utilizan robots para realizar trabajos extra vehiculares, como el Canadarm 2, siendo un sistema remoto manipulador espacial.



Imagen obtenida desde https://blogs.nasa.gov/ISS_Science_Blog/wp-content/uploads/sites/207/2013/10/Top-Ten_Two_A.jpg

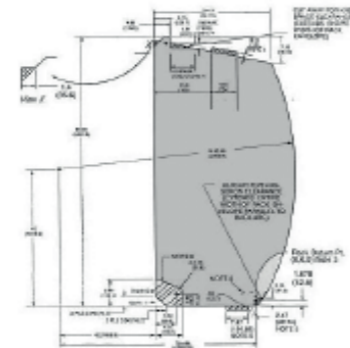
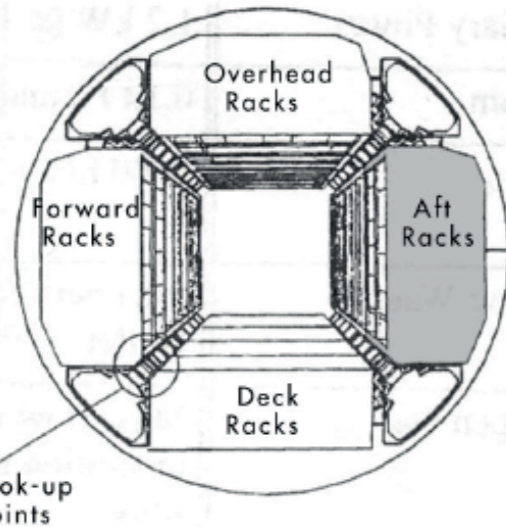


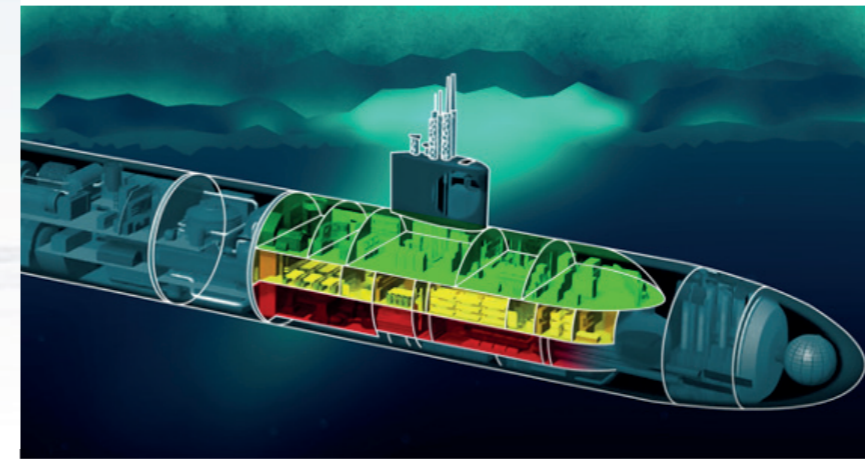
Imagen obtenida desde https://www.researchgate.net/figure/ISS-rack-structure-ISPR_fig4_269125314

4.5. Submarino Atómico Misión Antártica, nave nuclear submarina ASS Toledo, clase Los Angeles (SSN-769)

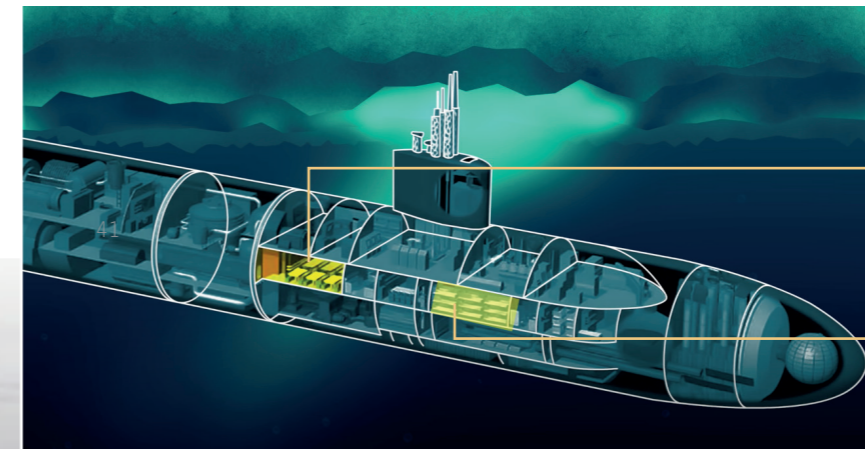
Son submarinos de ataque rápido y propulsión nuclear, cualidad que les permite permanecer sumergido e independiente de la superficie de manera indefinida, marcando como límite temporal la escasez de víveres. Su interior, puede albergar a un máximo de 180 personas, siendo marineros y oficiales capacitados para vivir bajo condiciones claustrofóbicas, con limitadas posibilidades de contacto con el exterior (SMARTEREVERYDAY, 2020).

Su independencia del exterior está respaldada por los sistemas de reutilización de agua y aire.

40

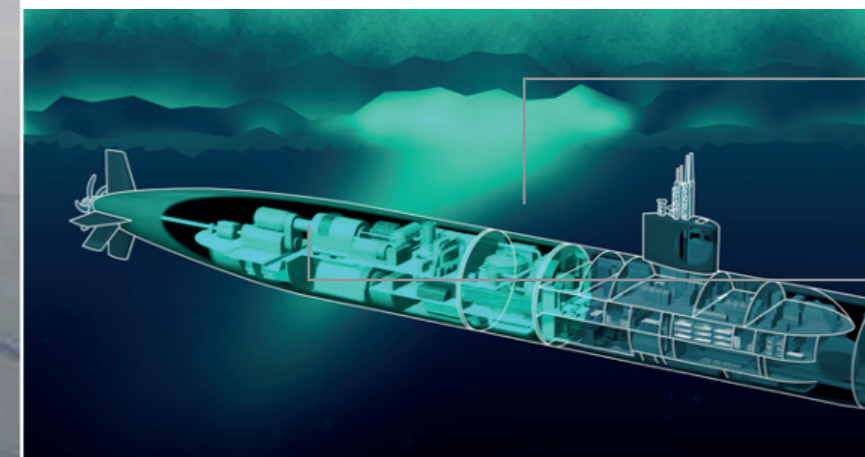


- Nivel 1: nivel de control
- Nivel 2: cubiertas de comedor, ataque y vestuario
- Nivel 3: cubierta de misiles, motor auxiliar y la sala de residuos



Comedor

Camarotes de la tripulación



Compartimiento del motor

Reactor nuclear

Diagramas en sección: SMARTEREVERYDAY: <https://youtu.be/RXXMJAU6vY8?list=PLjHf9jaFs8XWoGULb2H-QRvhzBc1S1yimW>

Rutina de la tripulación

Las misiones que debe llevar a cabo la tripulación pueden durar hasta 6 meses. Durante ese periodo, estando sumergidos y sin luz solar, pierden la noción del tiempo, por lo cual siguen una estricta rutina en que las 24 horas del día se dividen en 3 boques: 8 horas para dormir, 8 horas de turno de trabajo y 8 horas para actividades personales.

8 Horas Para Dormir



Imagenes obtenidas desde <https://youtu.be/RXXMJAU6vY8?list=PLjHf9jaFs8XWoGULb2HQRvzhzBc1S1yimW>

Los camarotes de la tripulación poseen luz roja para simular la oscuridad nocturna natural y estimular el sueño.

8 Horas Para Actividades Personales

Las horas destinadas a la alimentación marcan hitos importantes durante el día y durante la semana. Dependiendo de la clase de comida, pueden orientarse en el tiempo.

Deben destinar parte de su día a realizar ejercicios para mantenerse en forma, ya que ante alguna emergencia deben tener la resistencia y fuerza necesaria para enfrentarla.

La tripulación completa debe tener un entendimiento general de todas las actividades que se llevan a cabo en el submarino, aunque no esté dentro de sus actividades asignadas en la misión.

Existen momentos necesarios de ocio y recreación. Grupos de la tripulación realizan juegos de mesa, ven películas y series, leen y juegan videojuegos desde puntos de conexión.

Sistemas Reutilización De Agua Y Aire

El submarino posee sistemas para poder ser habitable estando aislado de la superficie. El primero es el sistema de reutilización de aire, que posee un método principal que funciona por electrólisis, mediante el “automatic electrolytic oxygen generator”. Esta máquina utiliza electricidad para generar oxígeno desde agua salada purificada previamente y un sistema secundario, generadores químicos de oxígeno, que son “velas” compuestas por componentes que reaccionan al calor, fierro y clorato de sodio, que al quemarse liberan oxígeno.

Para la extracción del CO_2 utilizan un proceso llamado monoethanolamine, que se realiza mediante una máquina que conecta con el exterior del submarino donde la utilización de aminas juega un rol fundamental. Además, utilizan hidróxido de litio mediante rejillas que filtran el aire separando el CO_2 .

En lo que respecta a la reutilización de agua usan el método de osmosis inversa y la destilación.



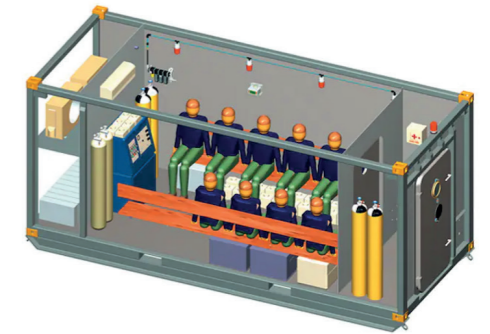
44

4.6. Unidades de Refugios Mineros

Chile es un país minero que posee una basta experiencia en minería subterránea y mecanismos de rescate y contingencia. Para ello, las empresas mineras emplean marcas tales como:

Draeger Risk

Posee refugios que permiten 12 horas de independencia con dimensiones básicas de 3x6 mts. El modelo base puede tener 3 variantes y agregar modificaciones opcionales.



45

Imágenes obtenidas desde https://www.draeger.com/es_csa/Safety/Engineered-Solutions/Refuge-and-Rescue-Solutions

DSI Underground

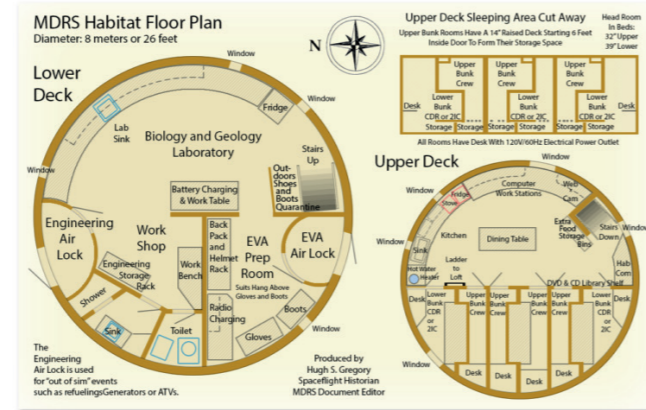
Los refugios diseñados por esta empresa tienen las mismas características que la anterior y solo se modifica la distribución de los elementos.



Imágenes obtenidas desde <https://www.dsiunderground.com/fileadmin/downloads/dsi-underground.cl/dsi-underground-myref-refugios.pdf>

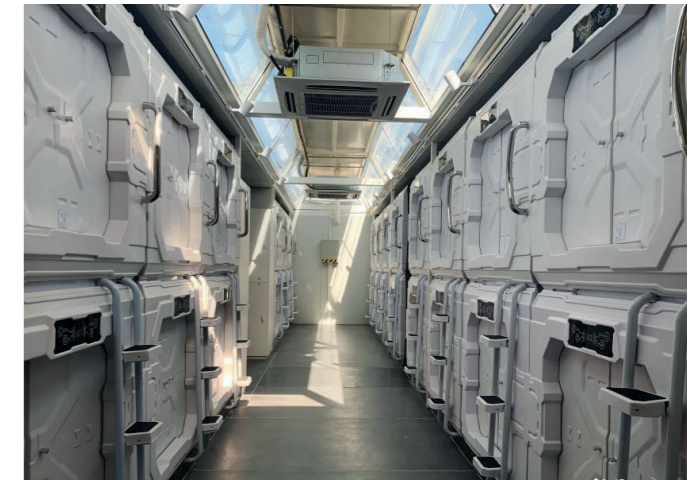
4.7. Campos de Investigación en Territorios Análogos Extraterrestres

Mars Camp, estación de investigación del desierto de Marte. Utah, Estados Unidos. Elaborado por Mars Society.



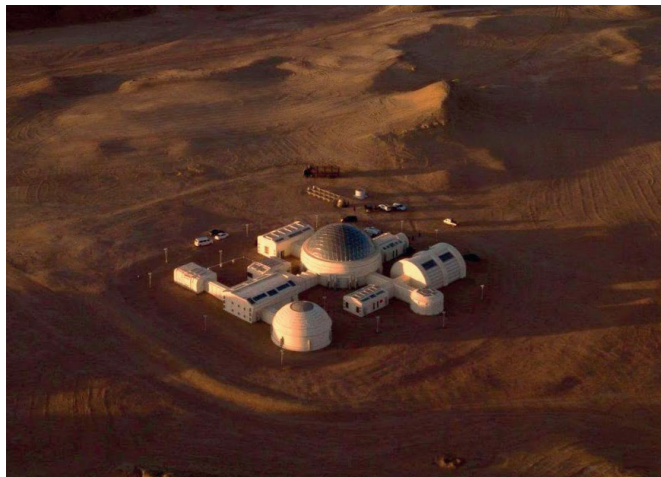
Imágenes obtenidas desde <https://www.marssociety.org/>

MARS CAMP. QINGHAI, CHINA. Elaborado por C.SPACE



http://www.china.org.cn/chinese/2019-03/04/content_74530014_4.htm

Base Mars no. 1. Desierto de Gobi, China. Elaborado por C-SPACE



<https://www.humanmars.net/search/label/C-Space%20Project%20%28China%29>

Estos proyectos, que están destinados a la investigación de nuevas tecnologías y al entrenamiento de postulantes a astronautas, funcionan como un acercamiento a lo que sería la vida en la superficie de un territorio extraterrestre. Se puede apreciar que son instalaciones modulares, conectadas por pasillos, pero que funcionan de manera independiente, ya que en circunstancias extremas los módulos se deben aislar hasta que la emergencia sea resuelta.

4.8. Instalación de entrenamiento de astronautas. NASA Johnson Space Center.

“Sala de clases” para astronautas donde pueden entrenar y aprender utilizando réplicas a escala real y de baja a media fidelidad de instalaciones de la Estación Espacial Internacional. Es así, que en estas instalaciones los astronautas e ingenieros aprenden sobre los diversos sistemas de las naves y desarrollan sus habilidades para resolver situaciones de emergencia. (Space Center Houston, s.f.)



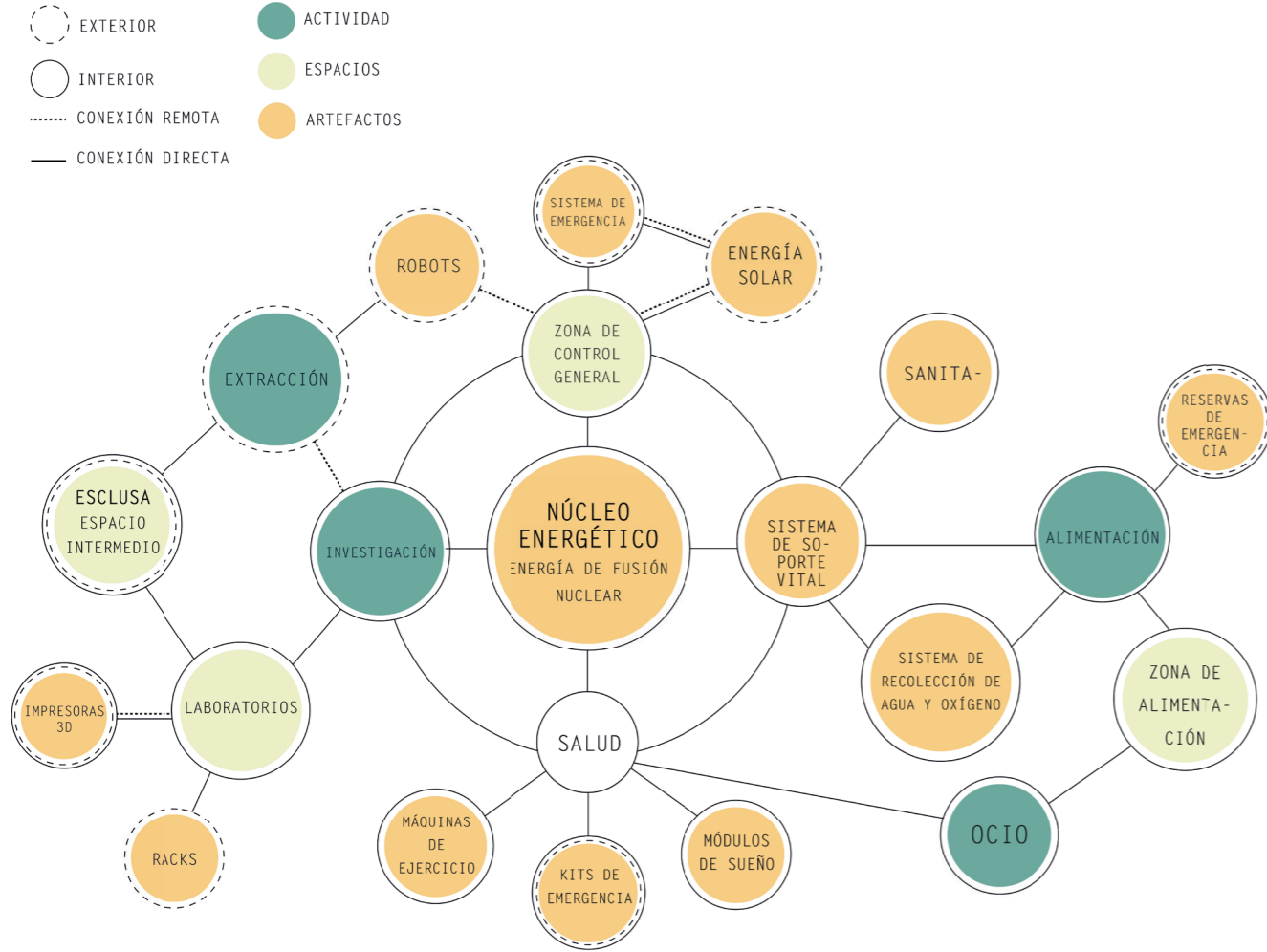
48

5. Programa

49

Desarrollo del programa para el diseño del laboratorio de entrenamiento para mineros astronautas

5.1 Diagrama Programático

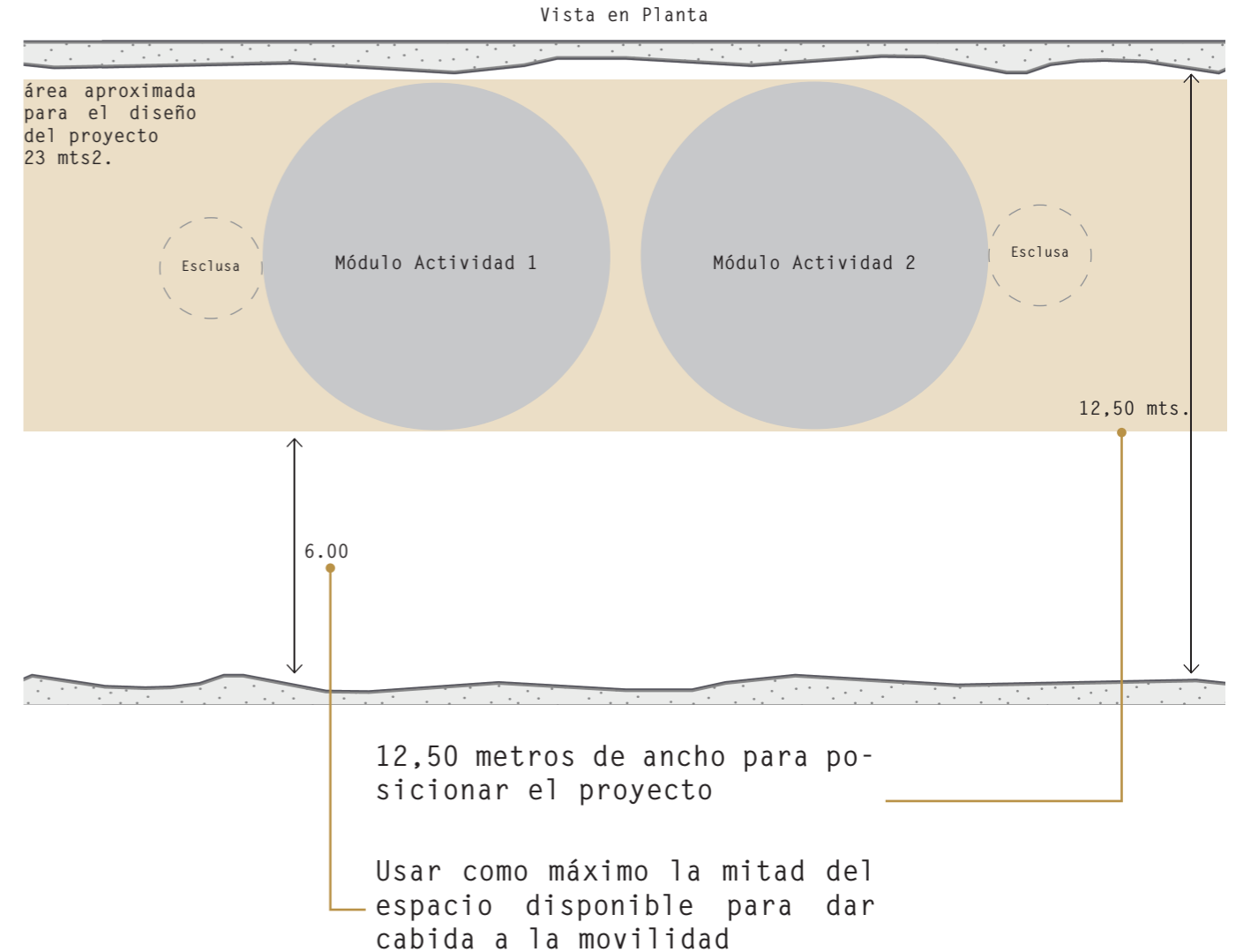


Elaboración propia.

A partir de el análisis de referentes, se identificaron los elementos necesarios para el diseño de un habitáculo autosuficiente y que tenga la capacidad de trabajar independiente del exterior. También se logró dilucidar las maneras de afrontar los ambientes hostiles, donde la movilidad del asentamiento es importante.

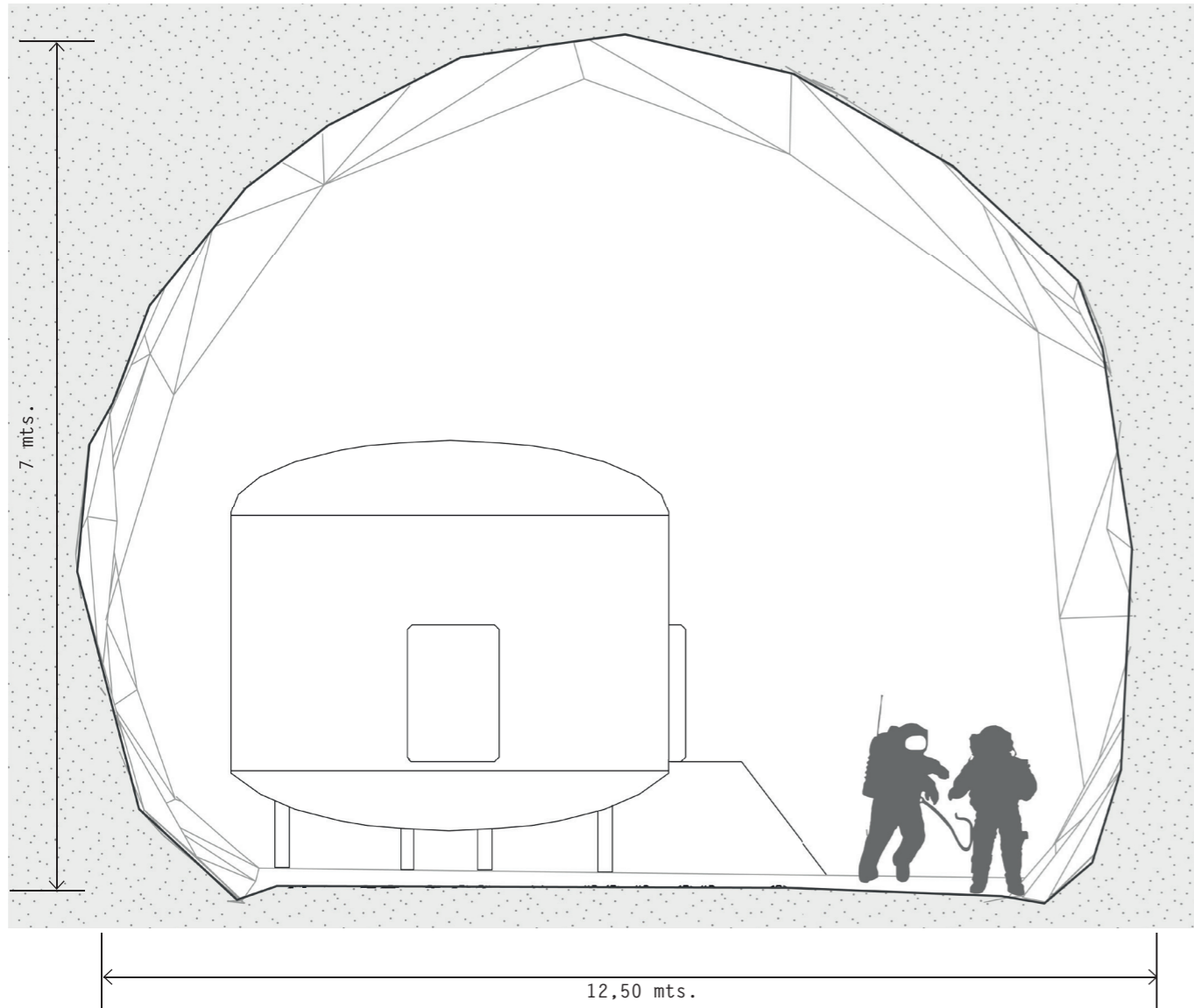
Diagrama de distribución de los módulos

Para dar cabida a las actividades que se van a desarrollar en los módulos de entrenamiento, es necesario realizar bocetos que representen el orden de los espacios y las temporalidades, considerando las dimensiones que poseen los túneles mineros de El Teniente.



Elaboración propia.

Vista en Sección



Elaboración propia.

5.2. Programa de seguimiento

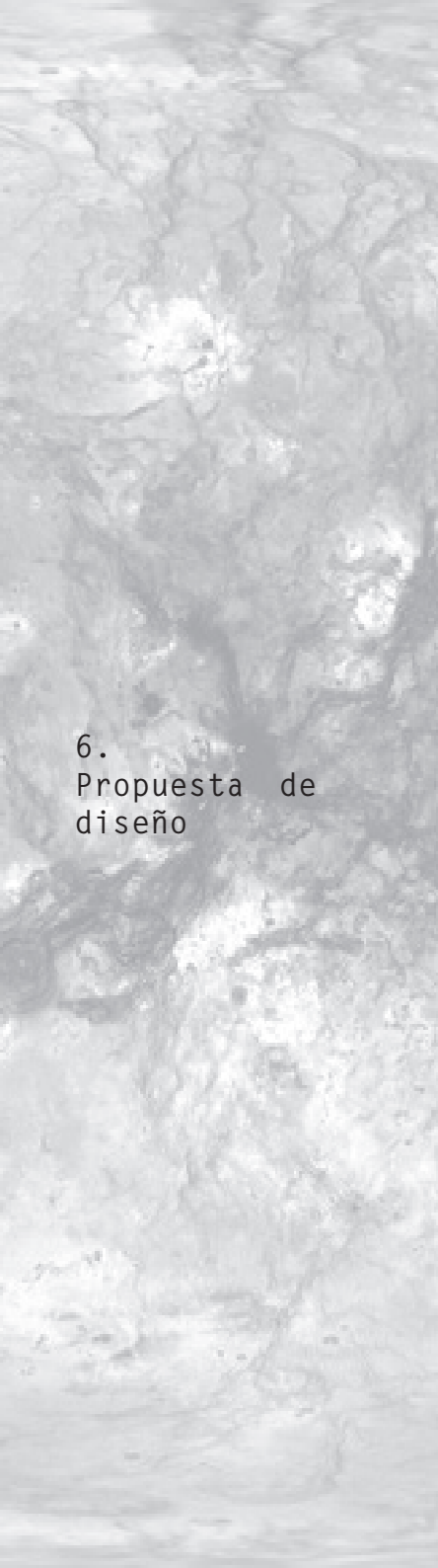
Módulo de monitoreo

Por su condición de ser un laboratorio de entrenamiento, los candidatos a mineros astronautas deberán ser monitoreados de manera remota las 24 horas del día, tarea que debe ser llevada a cabo por especialistas del área de la salud mental y física, área aeroespacial y minera.

Desde su zona de control, posicionada dentro del túnel minero en cercanía a los módulos de entrenamiento, recibirán todas las lecturas necesarias para conocer el estado en la que se encuentra la tripulación. En casos de emergencia, podrán acudir al interior de los módulos, puesto que la distancia del módulo de monitoreo a los módulos de entrenamiento no superará los 100 metros, por razones de conexión remota y acceso presencial.

Imagen extraída de Lifeboat Foundation





6. Propuesta de diseño

Diseño modular del programa y de los espacios asociados a las faenas internas y externas a realizar

54

6.1 Conceptos de diseño

Para el diseño de los espacios interiores y exteriores del proyecto fueron considerados los elementos que poseen las instalaciones subterráneas mineras, dimensiones para la habitabilidad en espacios reducidos y elementos de los laboratorios químicos.

Instalaciones de minería subterránea

Dentro de los criterios de diseño interior de las instalaciones subterráneas mineras, como son los refugios mineros, se encuentran:

Sistema de Soporte Vital y Control del Ambiente

- Sistema de depuración de aire
- Sistema de recuperación de agua

Sistema de obtención energética

- Primario: Paneles solares superficiales
- Secundario: Generador de emergencia

Sistemas de detección de gases y absorción de CO/CO2 (sistemas depuradores)

Sistema de iluminación de emergencia

Dimensiones de habitabilidad en espacios reducidos (ver en anexos)

- Actividades cotidianas: Dormir, comer y aseo
- Trabajo de pie y sentado

Elementos de agarre - simulación espacio con menor gravedad (ver en anexos)

- Uso de elementos de agarre como manillas, como se utilizaría en un espacio ingrávigo o de baja gravedad.
- Uso de materiales adhesivos, como velcro, en las superficies como sería en un espacio ingrávigo o de baja gravedad.

55

Tres momentos modulares definen la rutina de entrenamiento

El proyecto consta de tres espacios modulares dedicados a actividades específicas. El primero, denominado Módulo Habitáculo, está dirigido al descanso, a la realización de actividades y estudio personal. Este módulo debe necesariamente estar conectado al Módulo de Supervivencia en testeo, ya que provee agua, aire y un sanitario a los módulos presurizados. Luego, se encuentra el Módulo Laboratorio de extracción y procesamiento de tierras raras, que consta de los dispositivos

necesarios para el manejo remoto de la maquinaria de extracción de material minero y el procesamiento de las muestras extraídas del exterior. Y, por último, la esclusa de aire junto con el traje de actividades extravehiculares acoplado, que se utiliza en las actividades que requieren de contacto directo con el exterior. Esto es necesario para no exponer a la tripulación al ambiente externo, ya que, en el caso real de estar en un ambiente lunar, no existe la



posibilidad de sobrevivir en el exterior sin el traje. Al entrar al habitáculo con el traje puesto, se corre el riesgo de ingresar regolito lunar, que puede llegar a ser letal para los sistemas electrónicos de éste.

Del mismo modo, es importante contemplar la necesidad de elevar del suelo la parte inferior de los módulos, ya que el suelo lunar está compuesto por regolito que es perjudicial para el funcionamiento de estos, comprometiendo el ambiente interior.

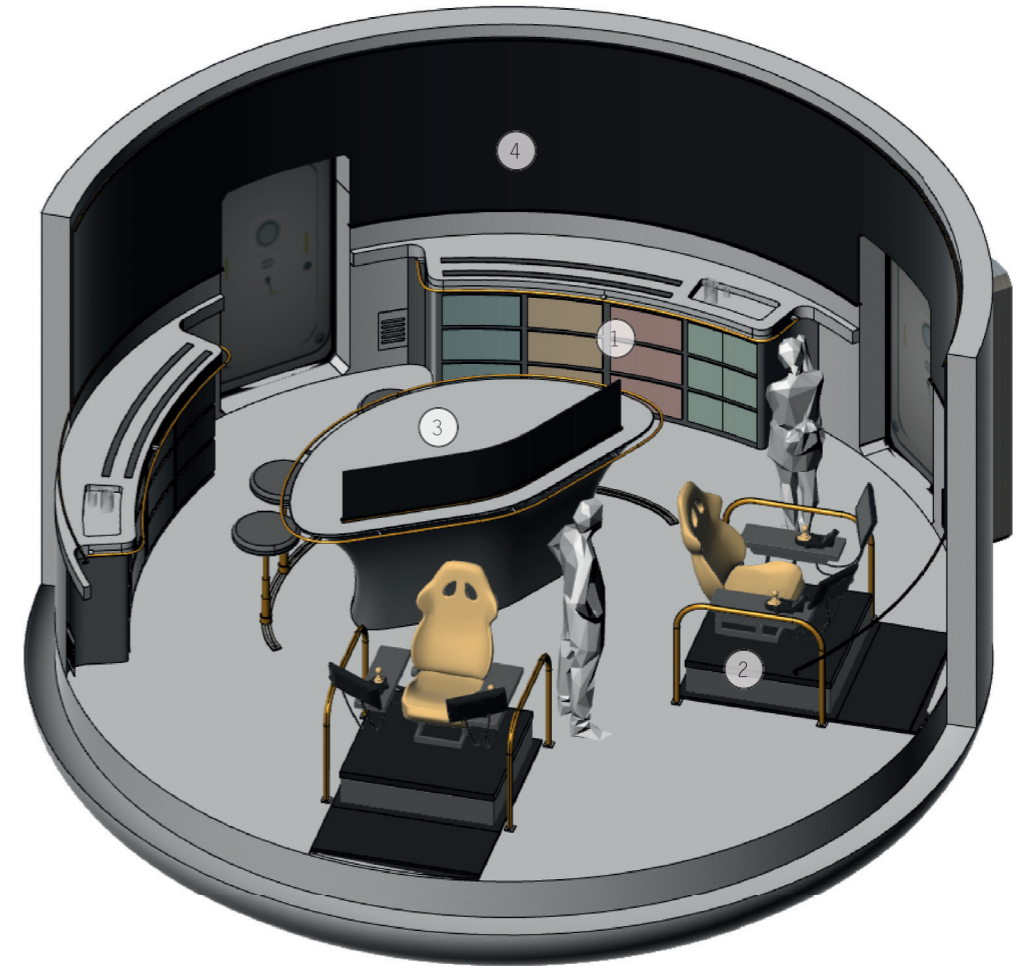
Además, los módulos se deben diseñar con una morfología cilíndrica y con la menor cantidad de bordes rectos que sea posible, con el propósito de mejorar su conducta en el vacío, puesto que los vértices tienden a soportar la mayor cantidad de fuerzas hacia el exterior, dada la salida de los gases.



58

6.2 Módulo Laboratorio de Extracción y Procesamiento de tierras raras

Este módulo está destinado, por un lado, al trabajo de extracción de recursos de manera remota, mediante las sillas de control a distancia de la maquinaria minera. Y, por otro lado, al procesamiento de las muestras extraídas desde el exterior.



59

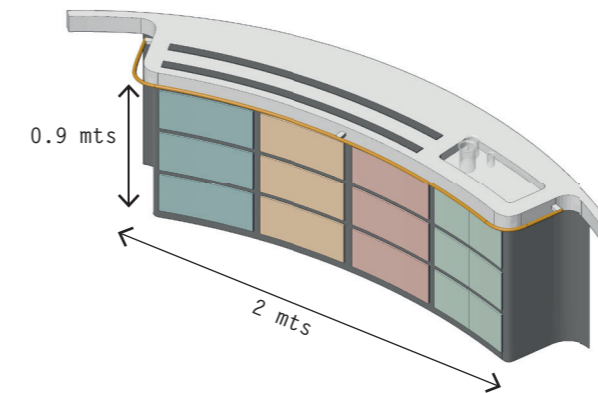
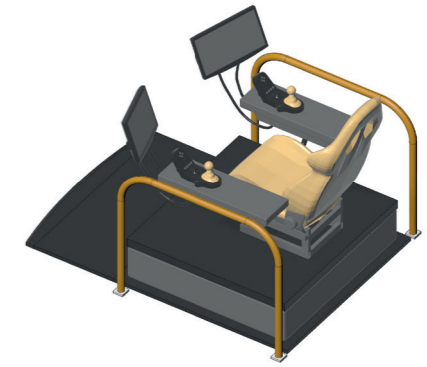
Diagrama con vista hacia las mesas de laboratorio

Elementos

- ① Laboratorio miniaturizado de procesamiento de tierras raras con compartimentos distinguidos en 4 colores, separando las etapas principales del procesamiento de las muestras minerales. (ver anexo)

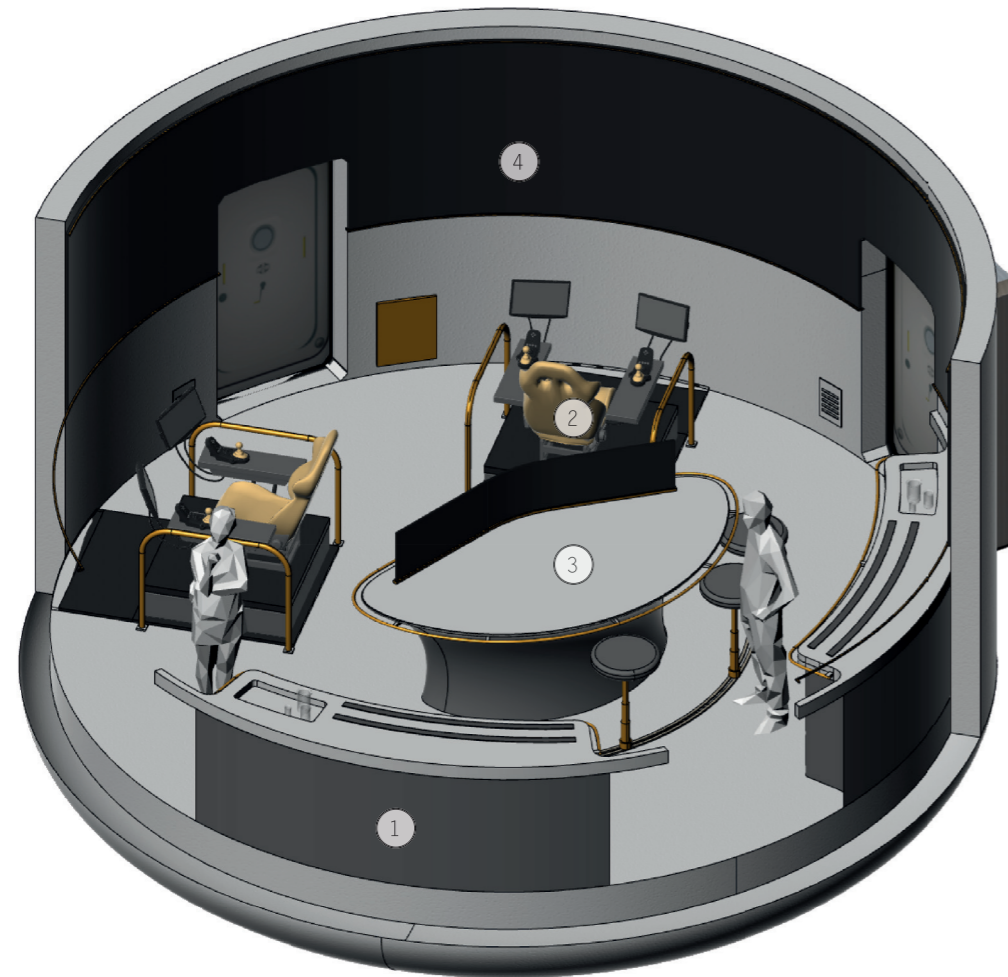
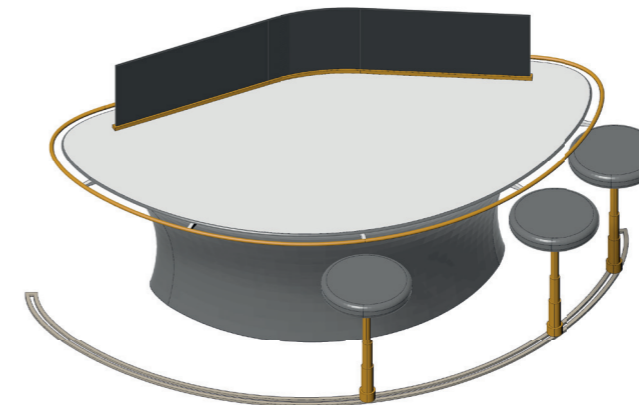
Uso de velcro en las superficies simulando el ambiente lunar.

- ② Silla ergonómica de simulación para el control remoto de maquinaria minera.



- ③ Mesa de trabajo colaborativo para 3 personas con sillas en riel para movilidad controlada. Consta de una pantalla ultra delgada para el trabajo focalizado.

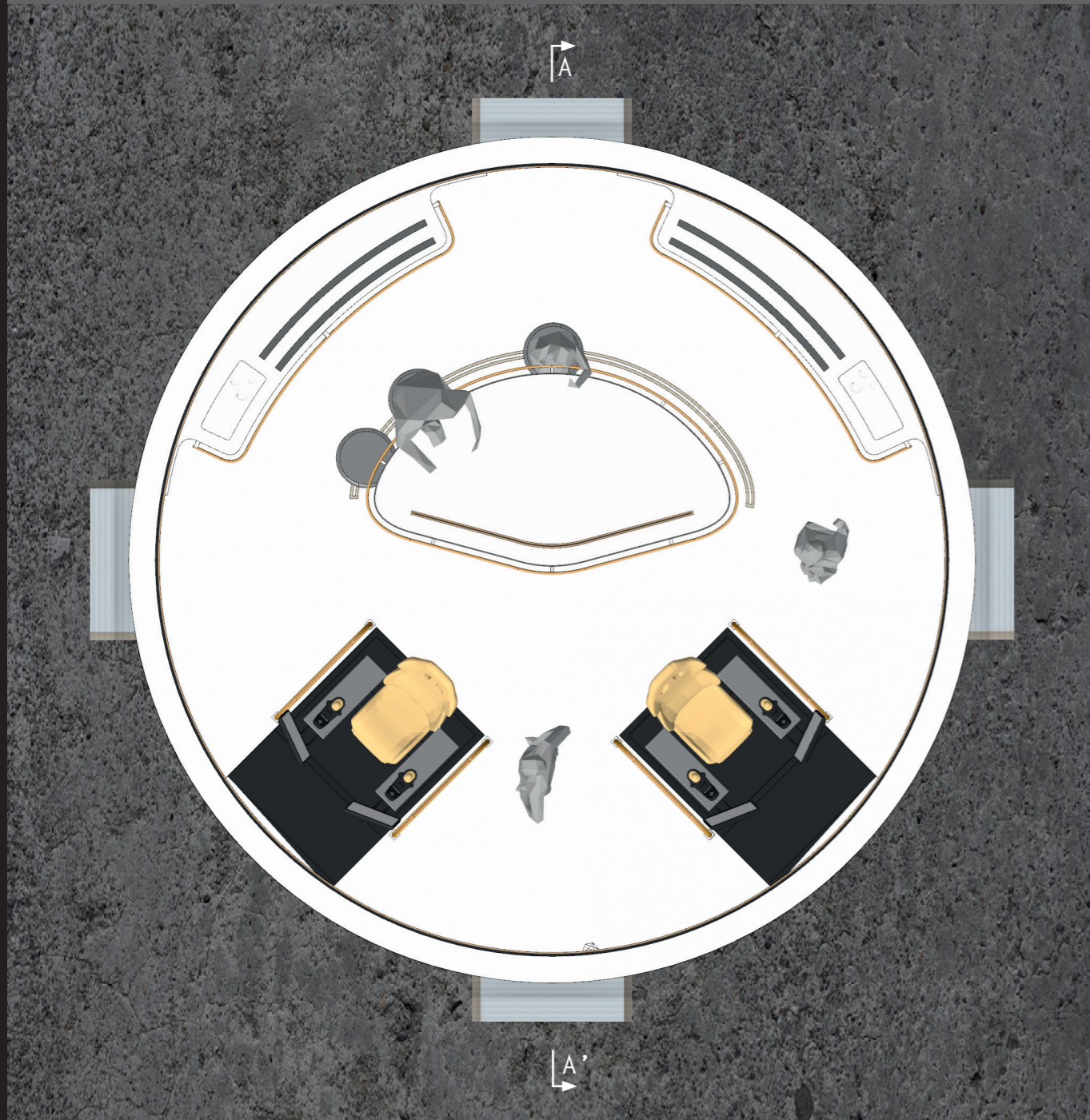
- ④ Pantalla de alta definición 360° para proyección múltiple de las feanas exteriores.



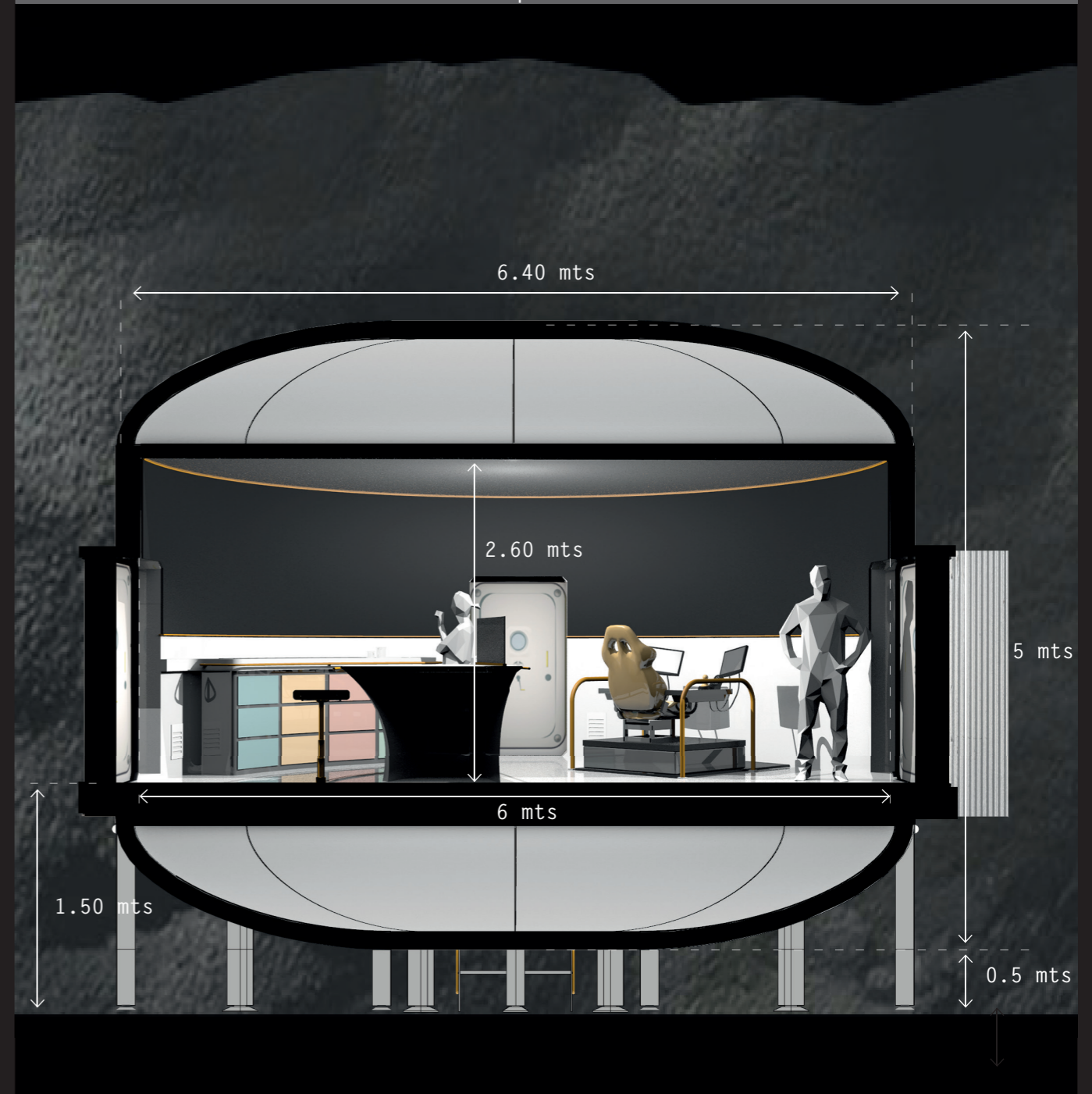
60

61

Vista en Planta

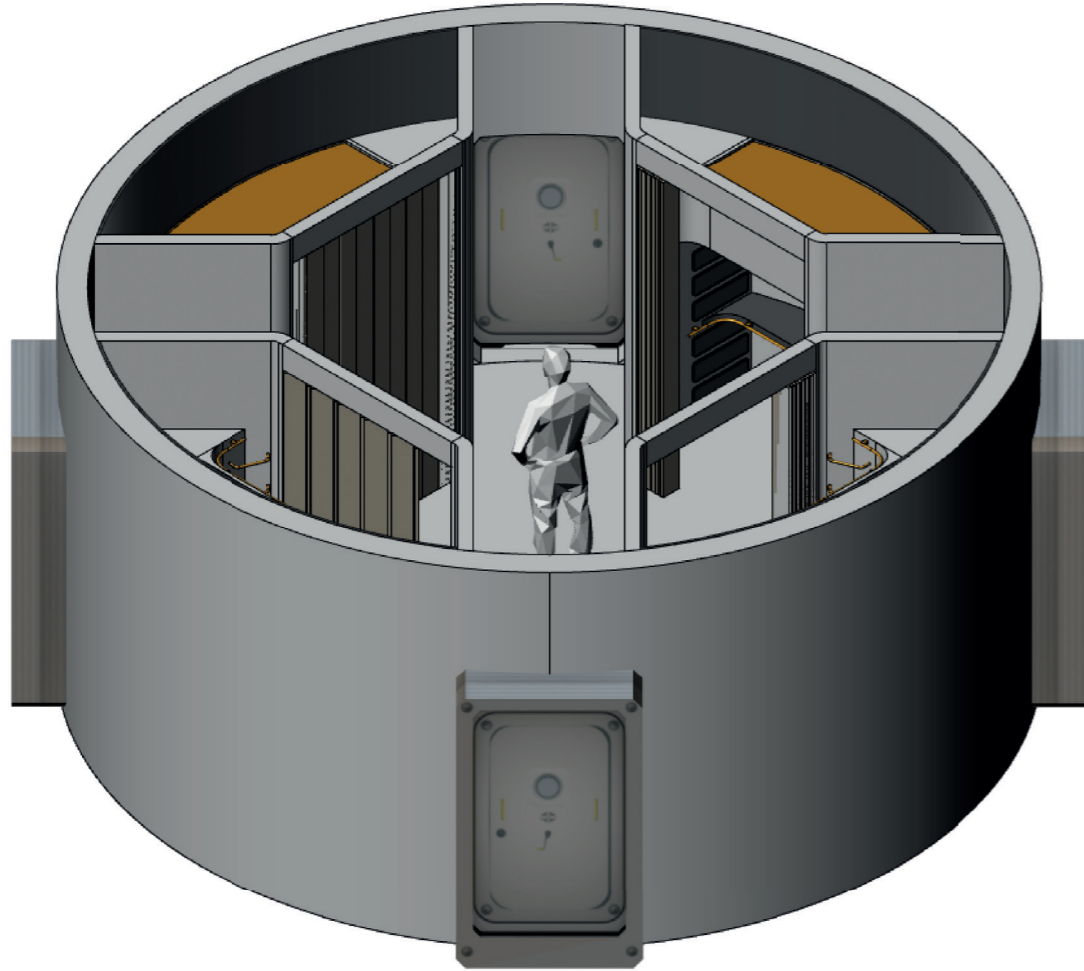


Corte Perspectivado A-A'



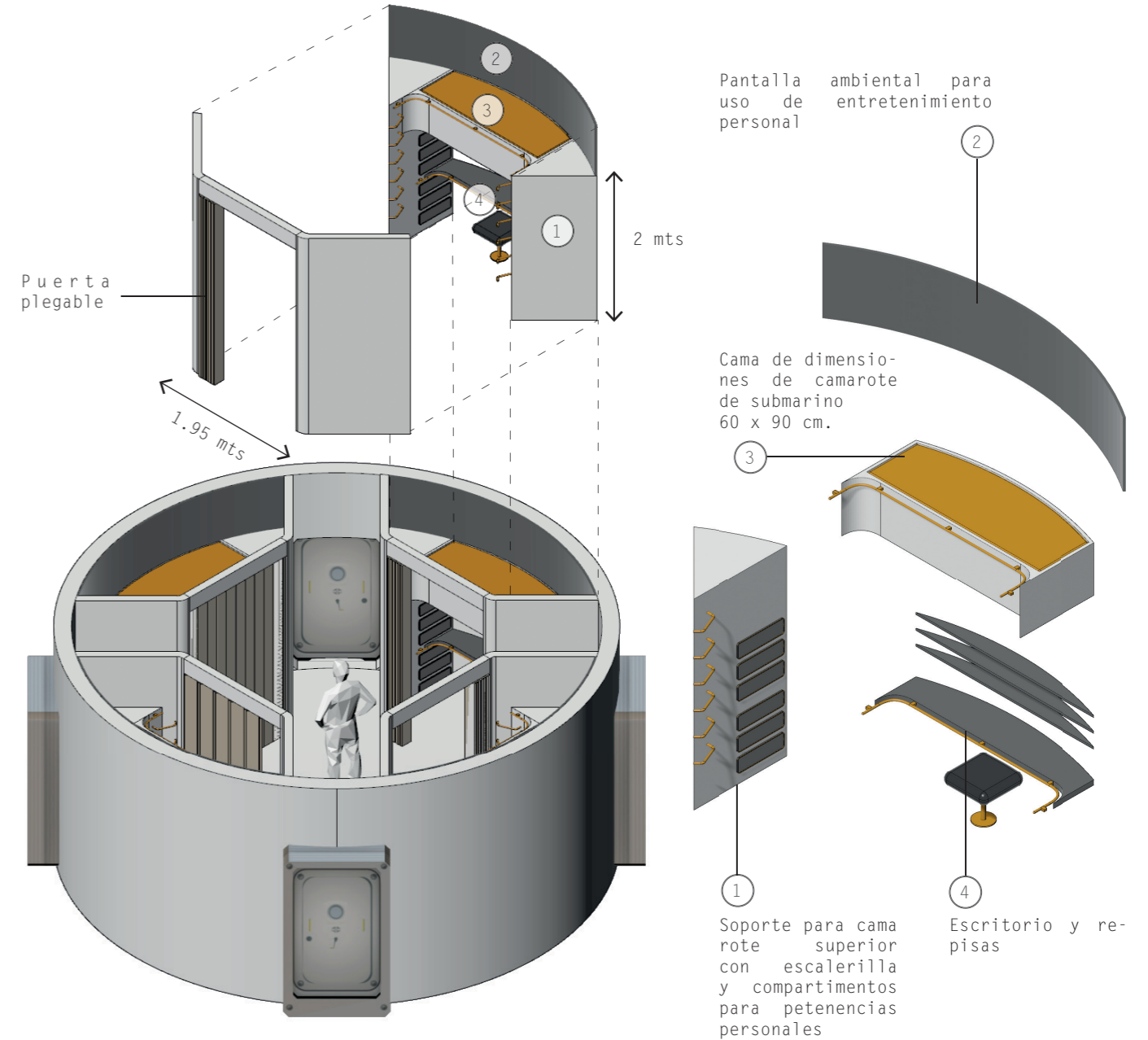
6.3. Módulo Habitáculo

Módulo de descanso , para actividades de recreación y estudio personal. Cuenta con Habitaciones individualizadas miniaturizadas.



Axonométrica sin despliegue

Módulo habitación miniaturizada

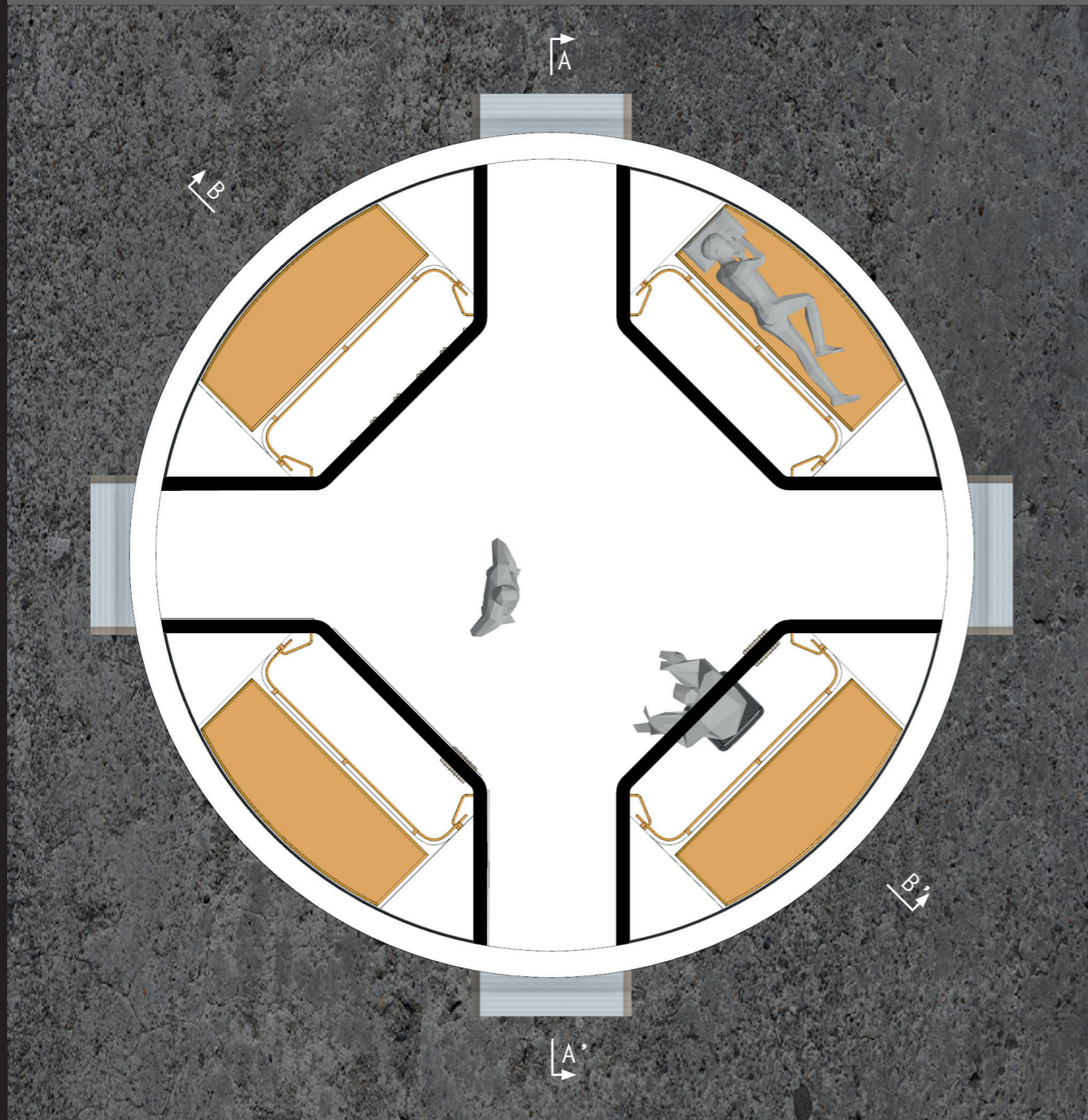


64

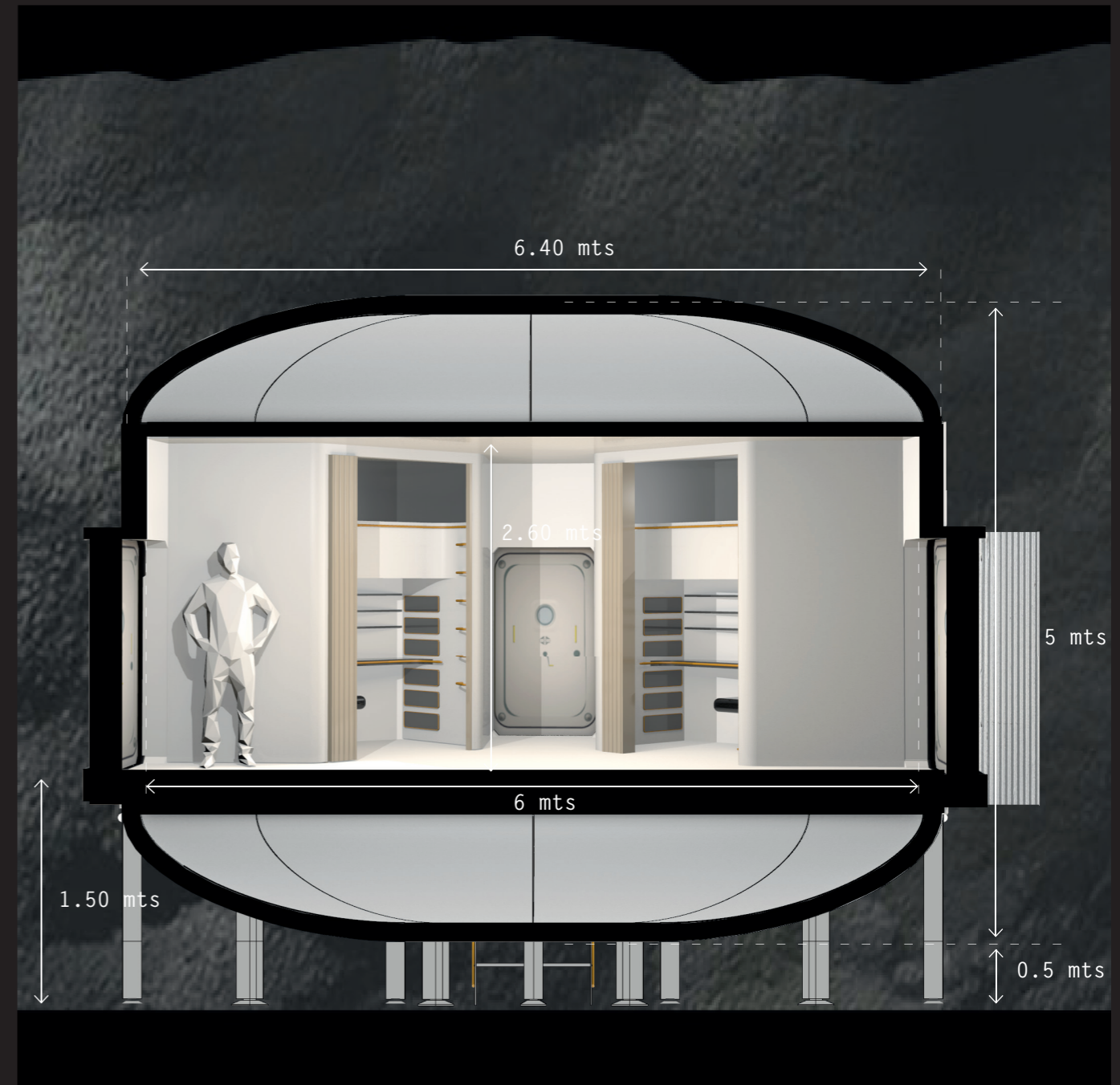
65

Axonométrica sin despliegue

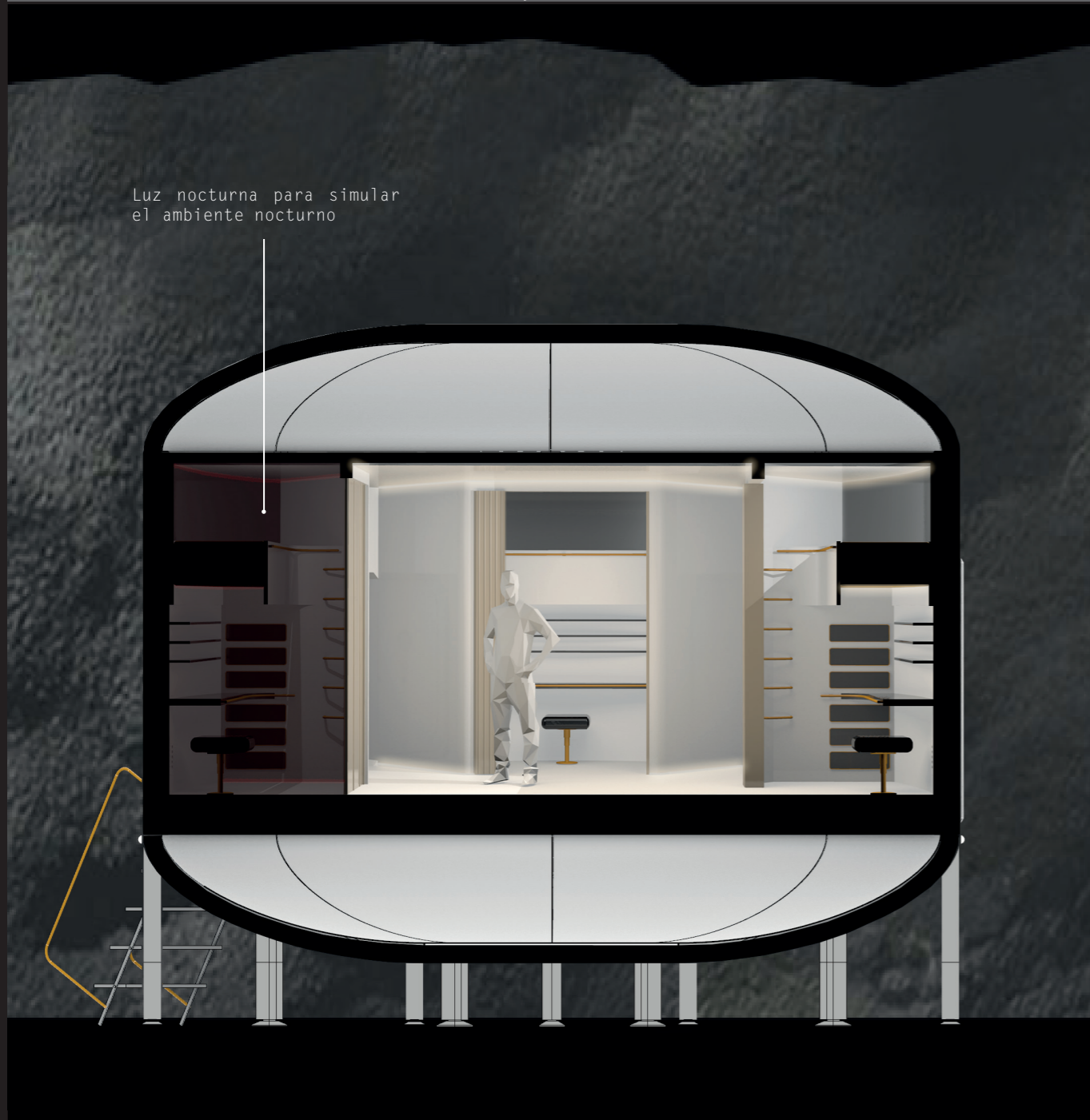
Vista en Planta



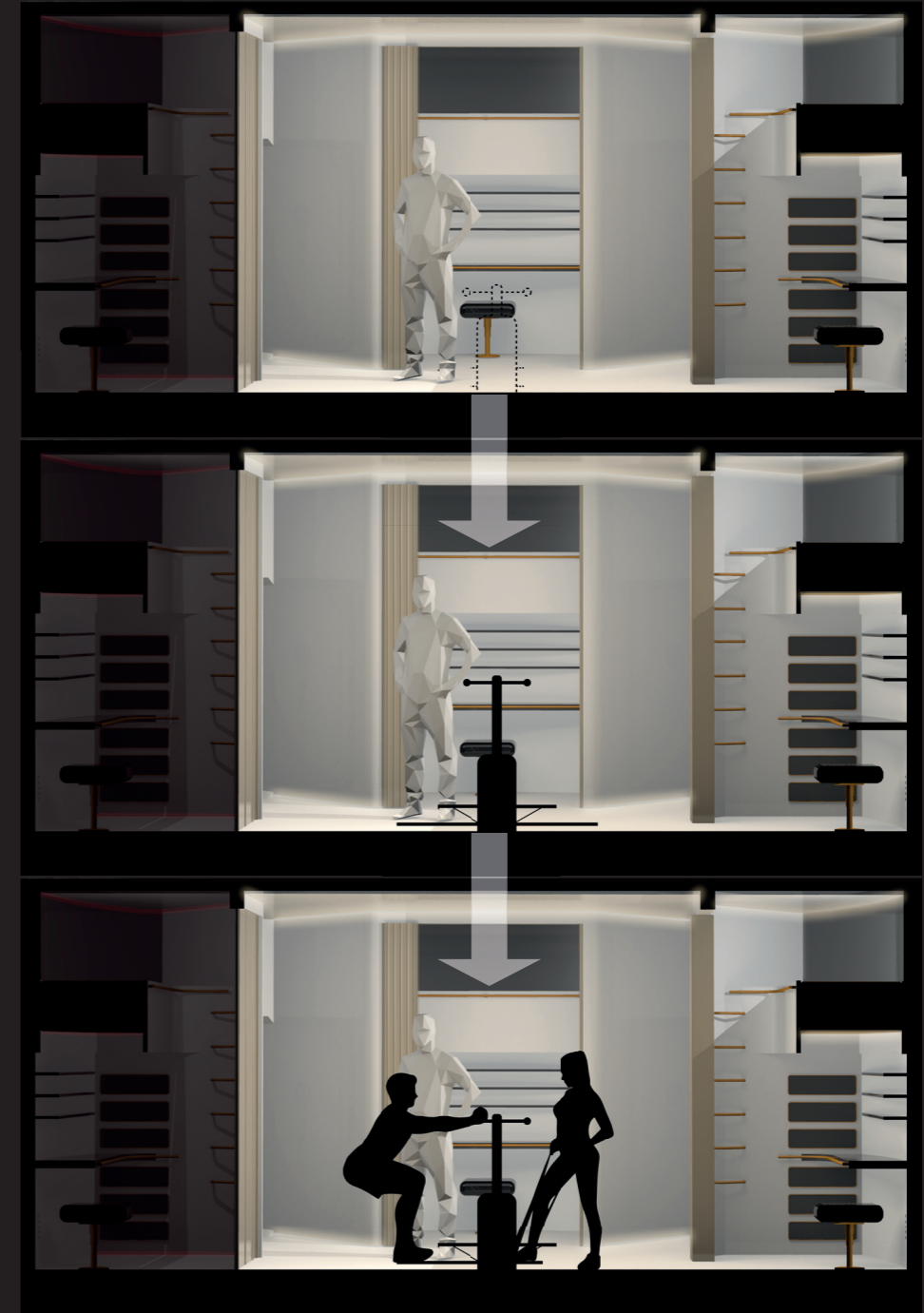
Corte Perspectivado A-A'



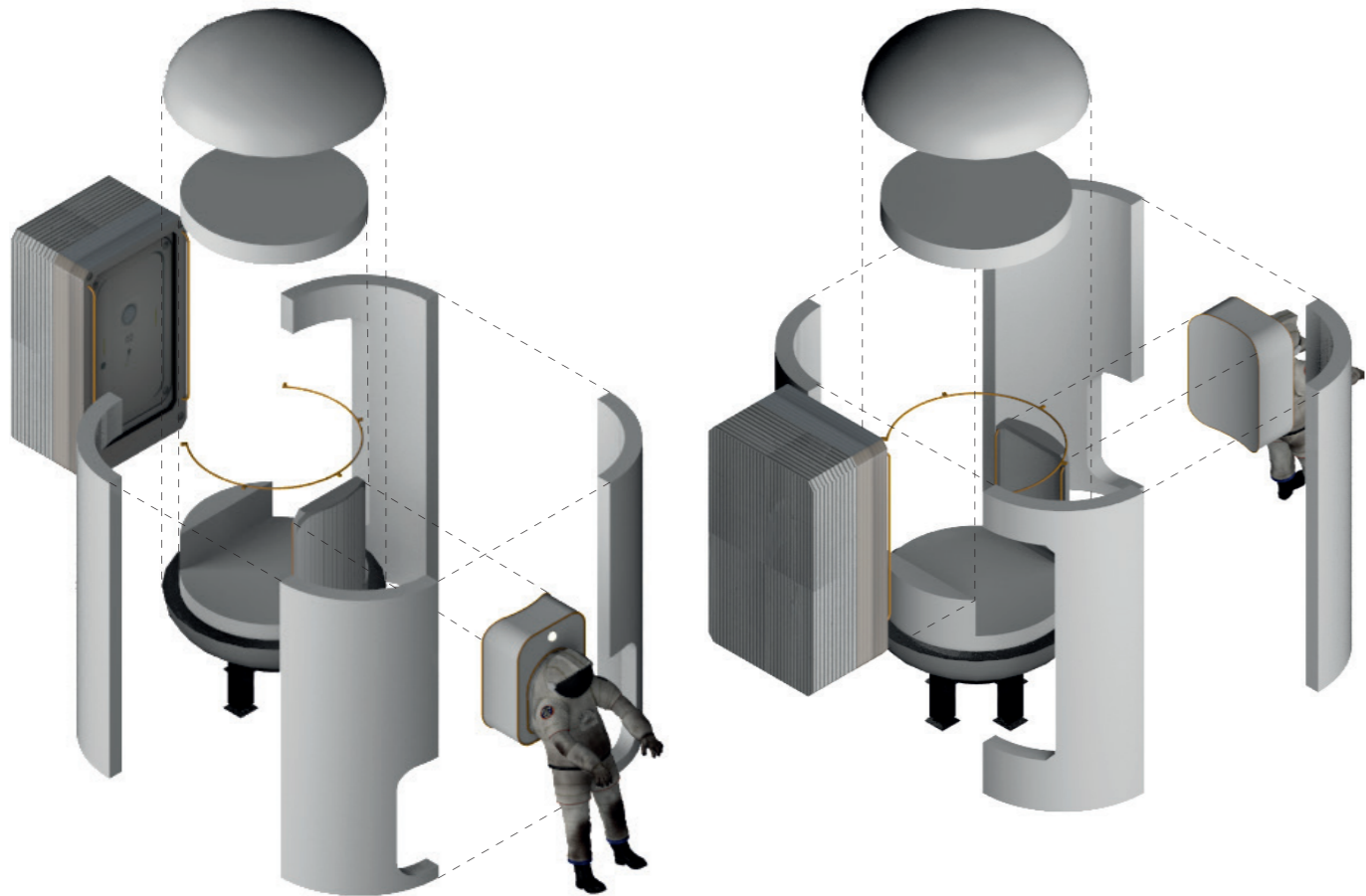
Corte Perspectivado B-B'



Espacio de libre tránsito con elementos para realizar actividad física



6.4. Esclusa de traspaso Interior- Exterior



Axonométrica explotada NE

Esclusa presurizada de uso individual que tiene por función ser un intermediario entre el interior de los módulos y el exterior hostil. Evita que el ambiente interior sea contaminado por elementos externos luego de realizar actividades extravehiculares.

Imagen extraída de Space Exploration Vehicle Concept. National Aeronautics and Space Administration

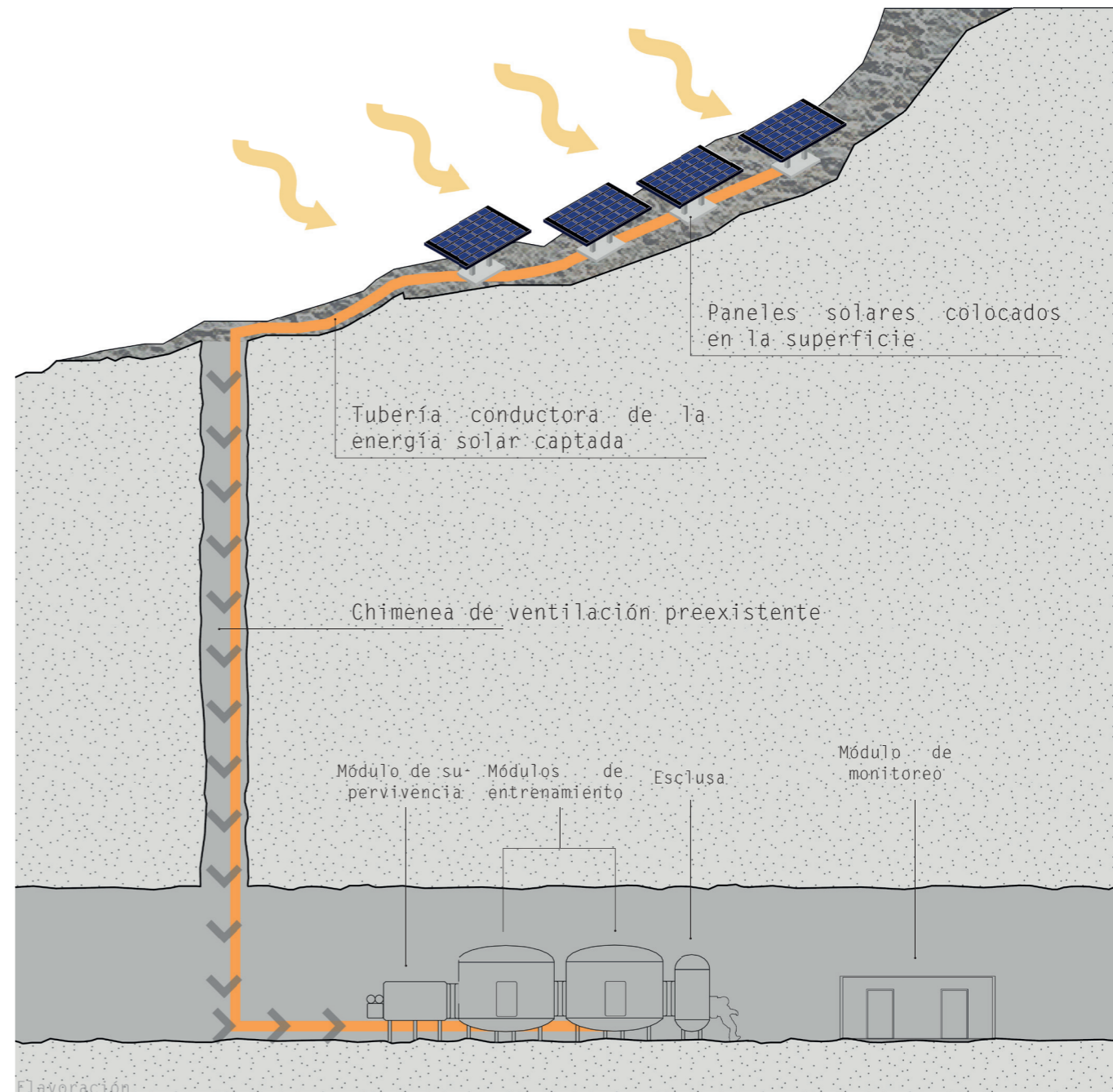
Axonométrica explotada SE



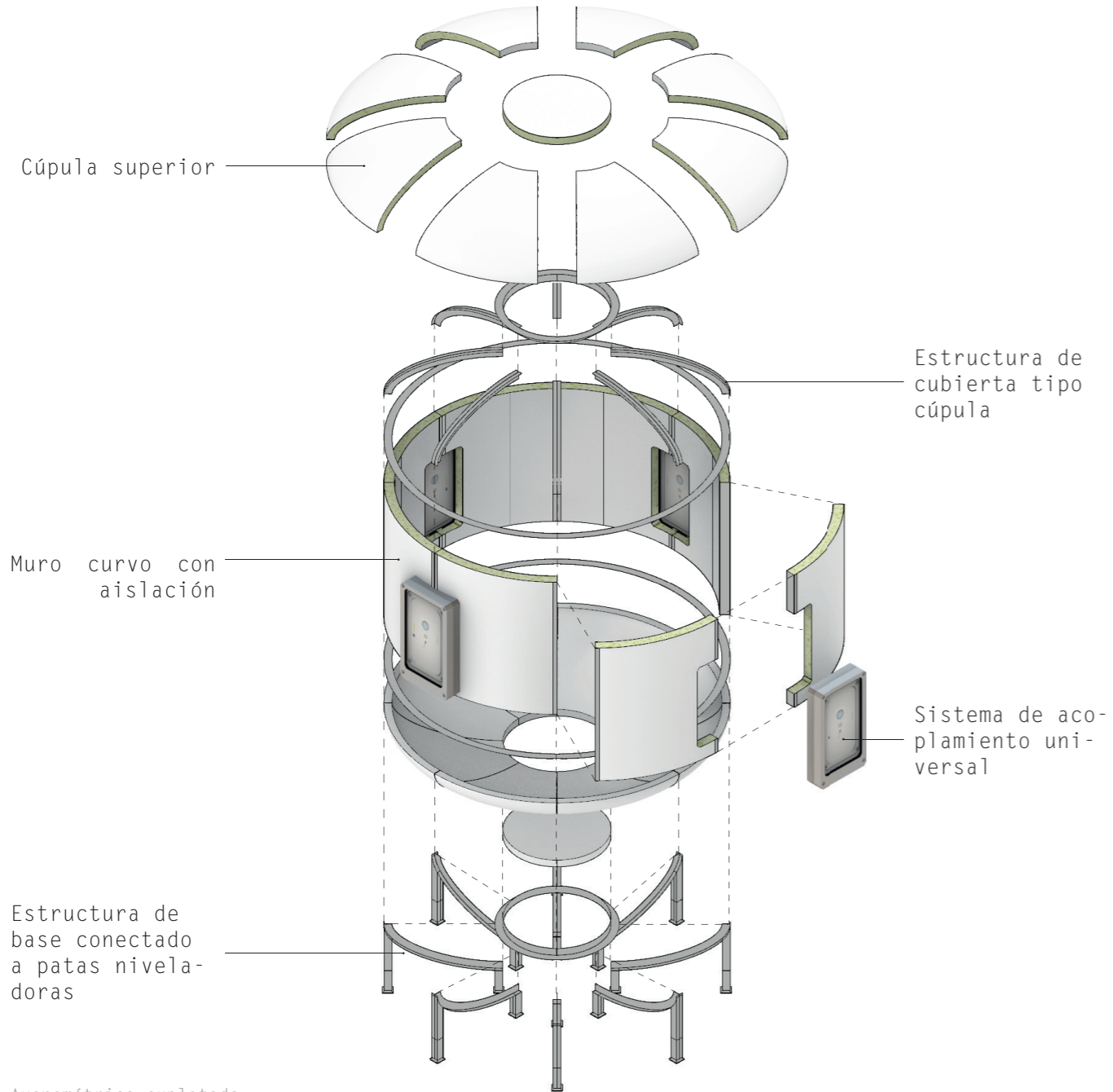
70

71

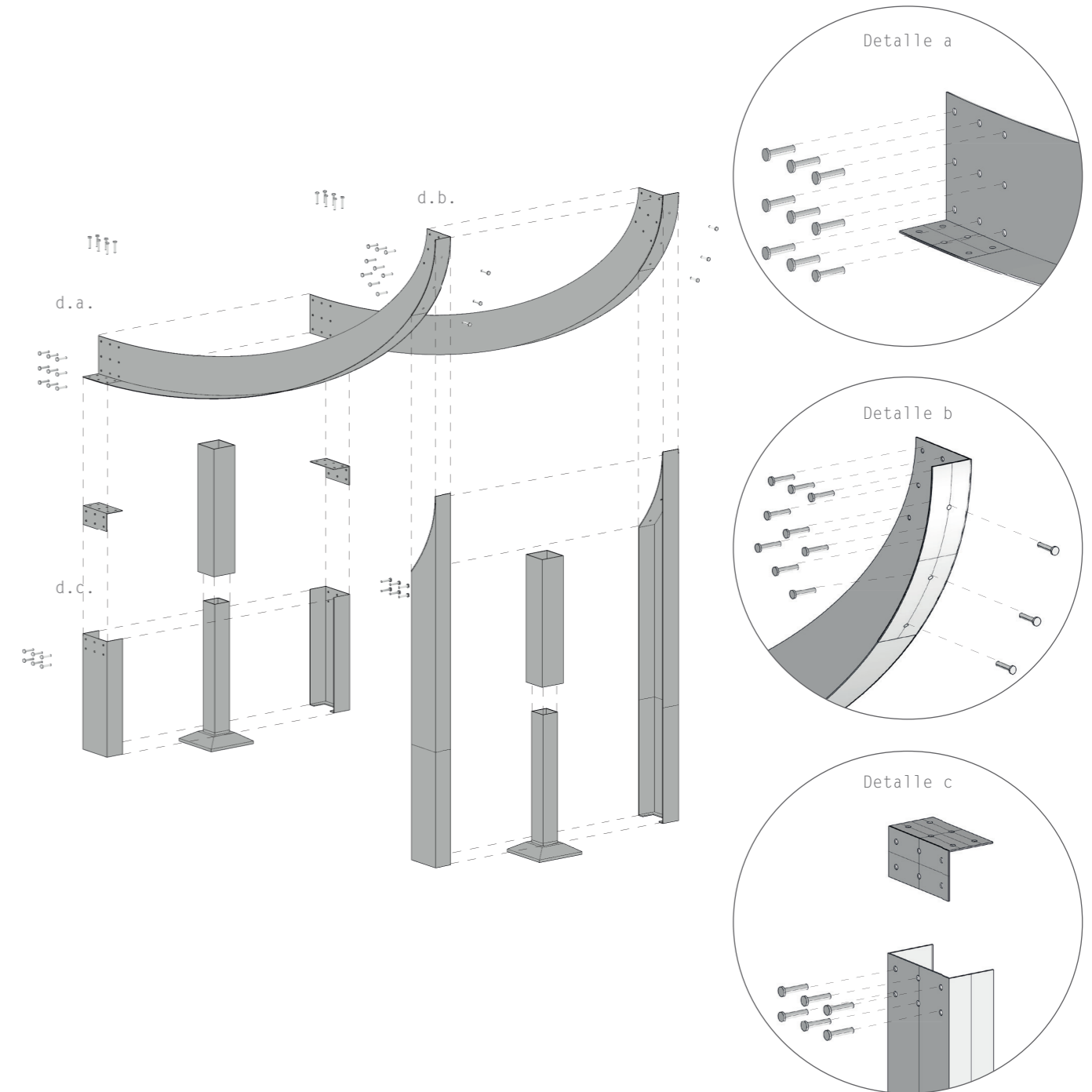
6.5. Captación de energía



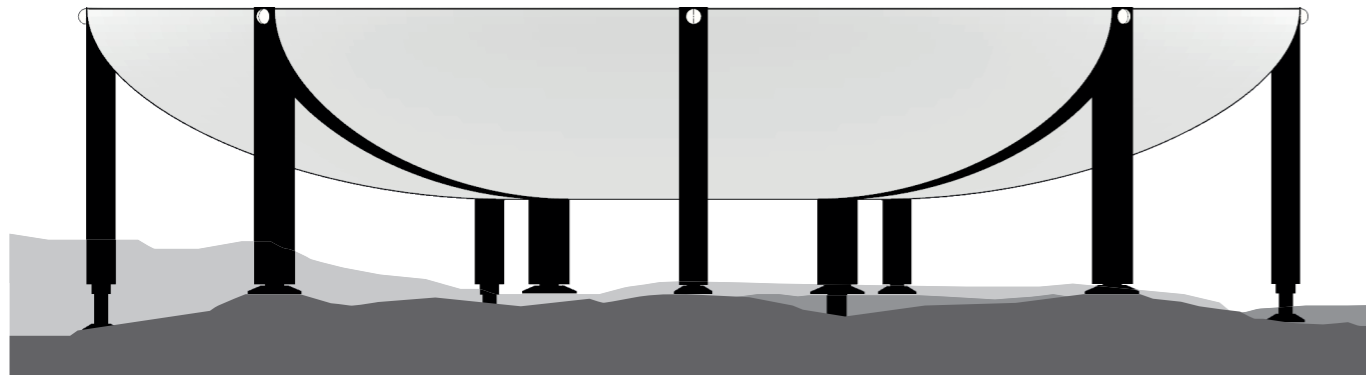
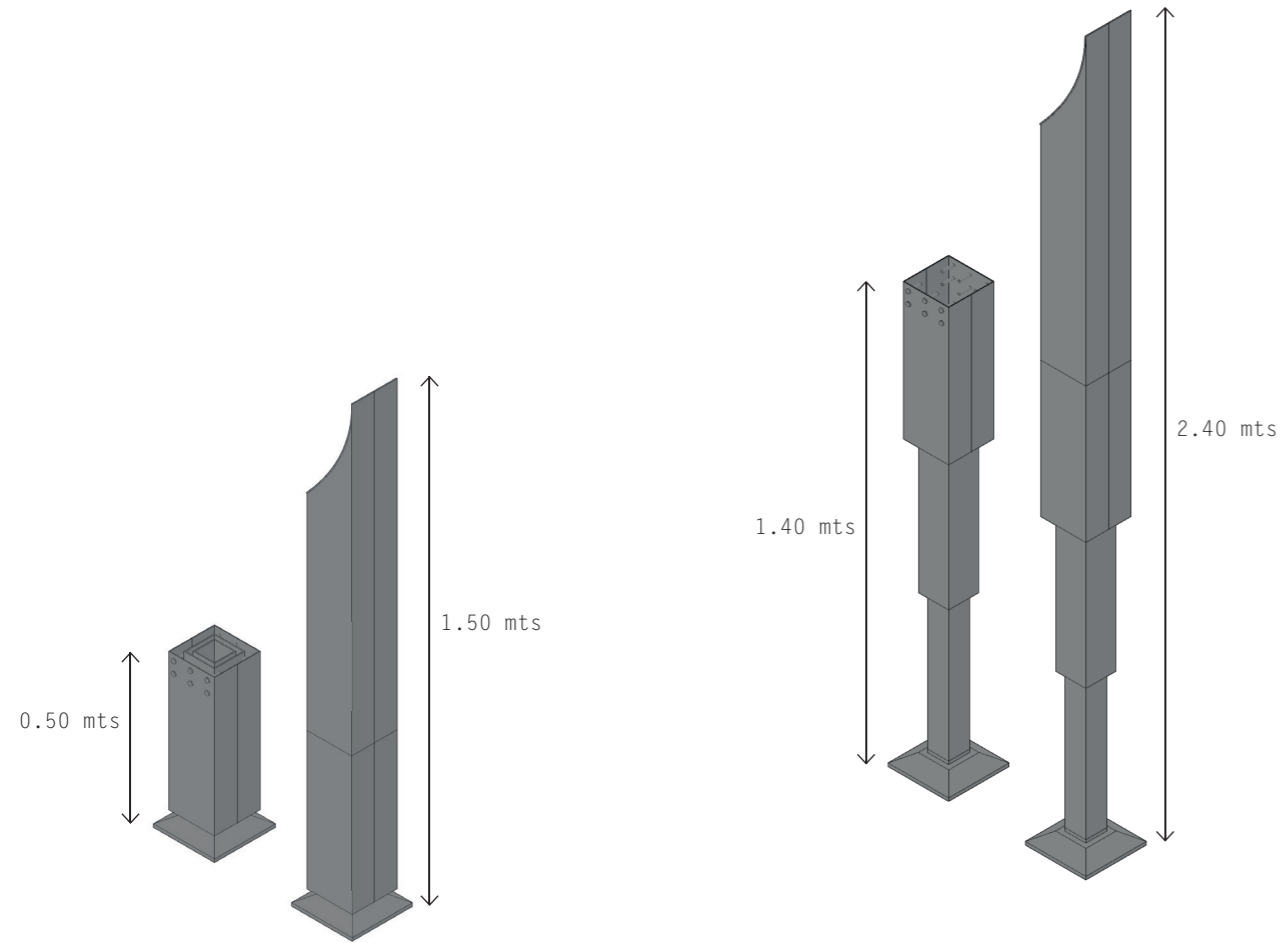
6.5. Materialidad



Detalles de estructura de portante de semi esfera base y superior



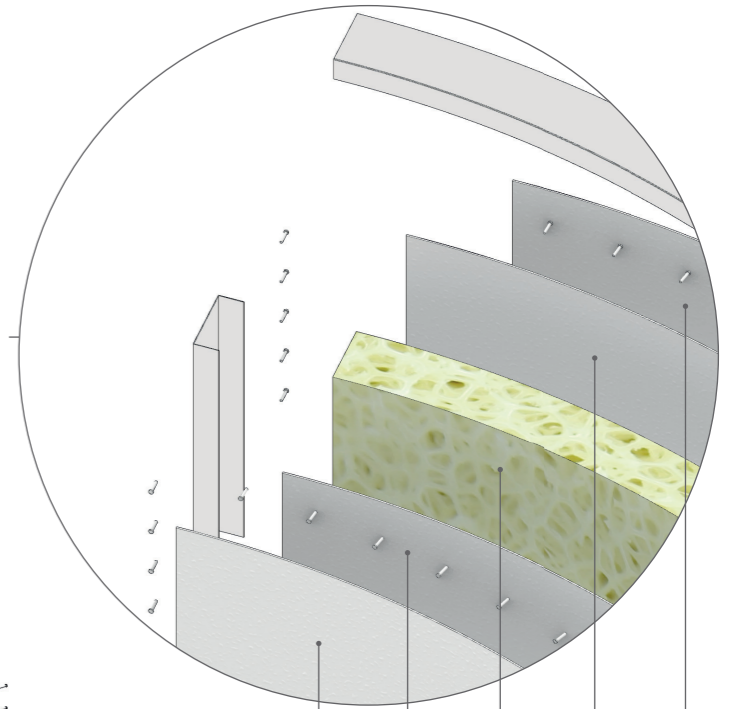
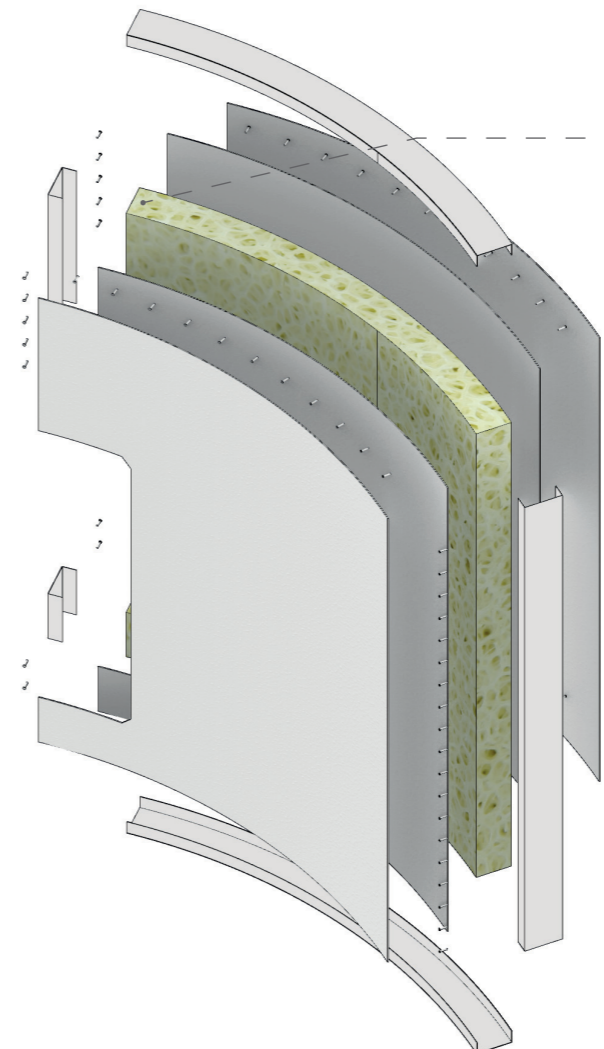
Sistema de patas niveladoras para superficies irregulares



Detalles de materialidad

74

75



Pintura resistente a la corrosión de acabado semi mate

Lámina interior de acero de 3 mm.

Aislamiento de lana mineral ignífuga

Lámina exterior de acero de 5 mm

Pintura resistente a la corrosión de acabado semi mate

6.6. Traslado y ensamble

En el presente punto se detalla la modalidad de traslado y ensamble de los módulos. Se consideran ambos módulos de trabajo y habitabilidad como un único resultado, siendo la esclusa un elemento sujeto a la necesidad de actividades extravehiculares.

Módulos de trabajo y habitabilidad

El peso calculado de acuerdo con las densidades de los materiales utilizados y su volumen en metros cúbicos

Acero Inoxidable

Densidad = 7.980 kg/m³

Metros cúbicos = 3,22 m³

27,3 toneladas

Lana mineral ignífuga

Densidad = 70 kg/m³

Metros cúbicos = 39,30 m³

2,8 toneladas

Esclusa

El peso calculado de acuerdo a las densidades de los materiales utilizados y su volumen en metros cúbicos

Acero Inoxidable

Densidad = 7.980 kg/m³

Metros cúbicos = 0,13 m³

1,04 toneladas

Lana mineral ignífuga

Densidad = 70 kg/m³

Metros cúbicos = 4,91 m³

344 kilogramos

Transporte y ensamble

El transporte está condicionado por la cantidad de carga que puede trasladar un camión contenedor y el orden de ensamble del proyecto en su totalidad. Se sigue la lógica de comenzar por los sistemas de energía y servicios básicos, continuando con la estructura, base, paredes, estructura superior, cubierta, sistema de acoplamiento universal y elementos interiores de cada módulo.

Peso total de los módulos de trabajo y habitabilidad

30,1 toneladas

Esclusa

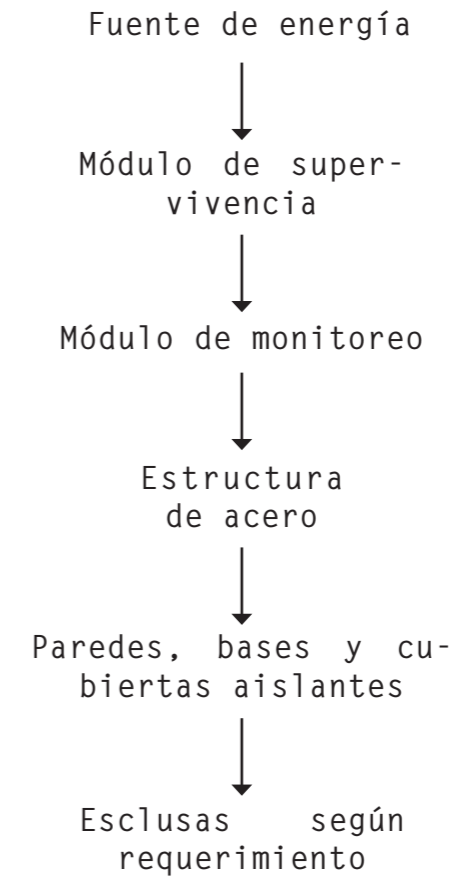
1,384 toneladas

78

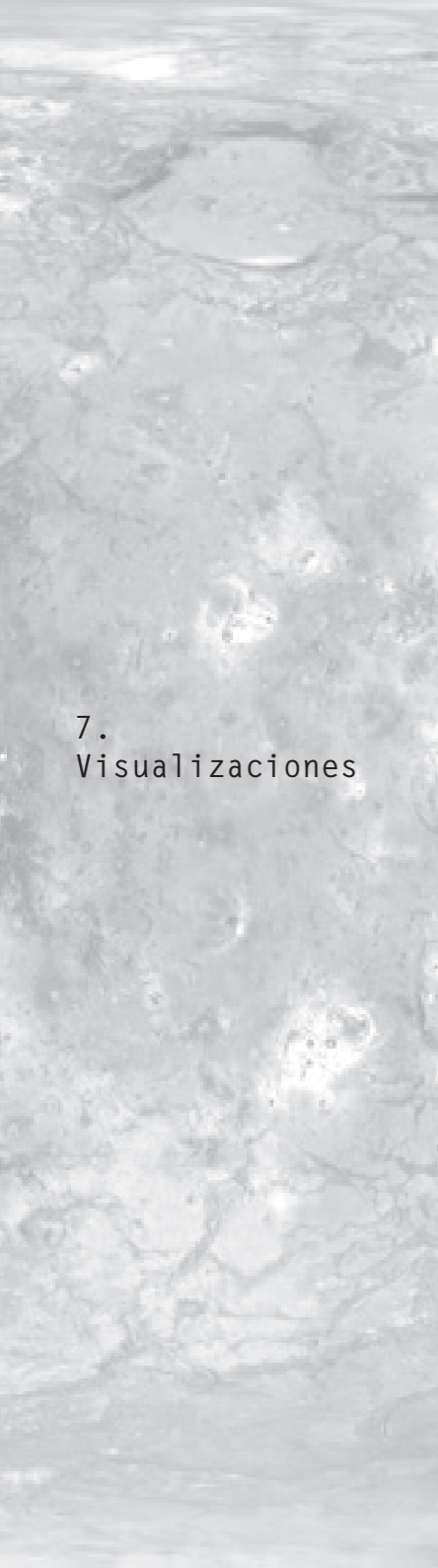
79

Orden de transporte

Según las características de los camiones de traslado existentes, se puede establecer el orden de llegada de los elementos al túnel elegido.



Se considera un tracto-camión con semiremolque especial para el transporte de automóviles, con un máximo de 4.30 de altura y 22,40 metros de largo, con una capacidad de carga de 26 000 kilos, siendo un vehículo de carga pesada (Transgesa, 2018).



7.
Visualizaciones

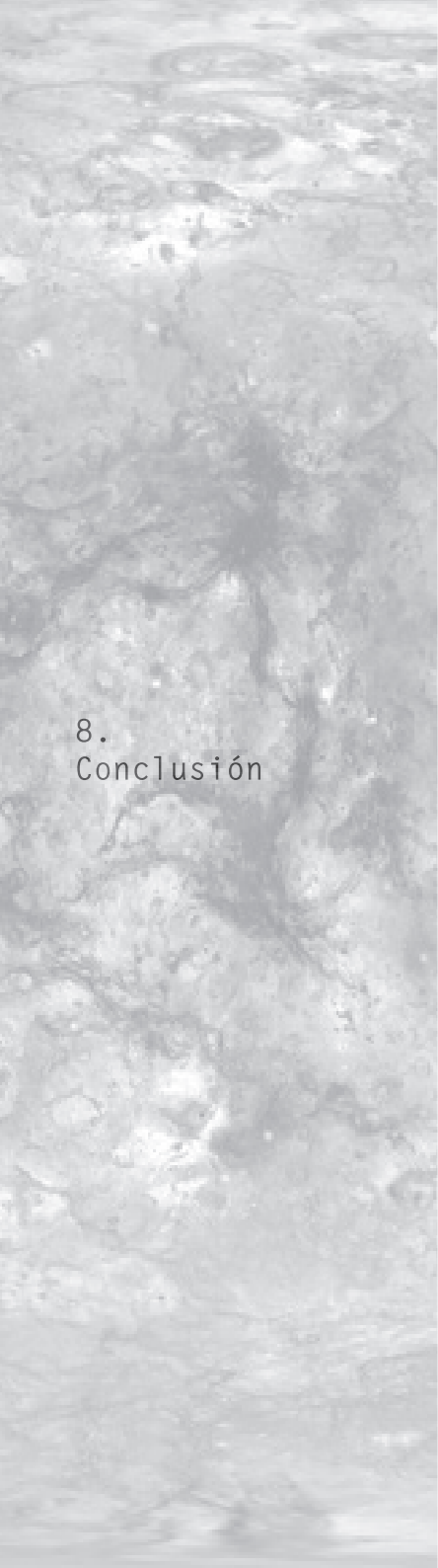
Imágenes objetivo del proyecto posicionado dentro de un túnel minero de la minera El Teniente.

Visualización exterior al interior de túneles de la Mina el Teniente



Visualización exterior de actividades extravehiculares





8. Conclusión

Para el desarrollo del proyecto en su totalidad fueron variados los desafíos que se tuvieron que enfrentar con el propósito de lograr un diseño acorde a las necesidades y limitaciones encontradas durante el proceso de indagación. Entre estas limitaciones fue posible constatar la necesidad de adecuarse a las dimensiones de los túneles mineros. Para ello fue menester reducir el tamaño de los módulos y limitar su distribución para evitar que sea este un obstáculo para la realización de las actividades exteriores que deberán llevar a cabo los usuarios.

Otra limitación se desprende de la condición sanitaria por pandemia Covid 19 que impidió la movilidad a nivel mundial, obligando la realización la búsqueda del lugar de emplazamiento de manera remota.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos, fue posible responder a cada uno de ellos, logrando un diseño acorde a los propósitos establecidos y en coherencia con los fundamentos teóricos y los referentes analizados.

84

Asimismo, al ser un proyecto visualizado luego de la segunda llegada de la humanidad a la luna, está vinculado con los requerimientos futuros del entrenamiento para candidatos a astronautas y con la actualización de instrumentos para la detección y procesamiento de recursos mineros en ambientes controlados.

Sumado a lo anterior, es relevante destacar que el proyecto desarrollado me permitió evidenciar la importancia que poseen las tierras raras en el desarrollo de alta tecnología que permite el desenvolvimiento de la vida cotidiana. Y, por lo tanto, son recursos fundamentales para la economía nacional.

85

Por último, y no menos importante, un proyecto con estas características permite situar a Chile en una posición competitiva respecto de la carrera espacial, relevando las competencias y recursos que tiene nuestro país para desenvolverse de manera adecuada y oportuna en este contexto que es cada vez más real.

9. Bibliografía

Comisión Chilena del Cobre. (2016, agosto). *Situación actual del mercado de tierras raras y su potencial en Chile*. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Tierras%20Raras%20final.pdf>

MOON VILLAGE ASSOCIATION (2021, 21 de junio). *Statute of the association*. <https://moonvillageassociation.org/about/>.

Minería Chilena. (2020, 25 de agosto). *Para diseño, construcción y operación: JRI posiciona sus tecnologías de vanguardia en proyectos mineros subterráneos*. <https://www.mch.cl/2020/08/25/para-diseno-construccion-y-operacion-jri-posiciona-sus-tecnologias-de-vanguardia-en-proyectos-mineros-subterraneos/>

INERCO (2018, noviembre). Estudio de impacto ambiental proyecto Biolantánidos. *Capítulo 2: descripción del proyecto o actividad*. Biolantánidos minera.

Corvalán, F. (2019, 28 de febrero). *Nasa prueba en el desierto de Atacama cómo un rover podría detectar vida en Marte*. <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/nasa-prueba-en-el-desierto-de-atacama-como-un-rover-podria-detectar-vida-en-marte/548898/>

James D. Burke (2021, 23 de abril). *Moon*. Lunar Surface. Enciclopedia Británica. <https://www.britannica.com/place/Moon/Motions-of-the-Moon#ref54206>

Gómez, J. (2018, primavera). *Arquitectura Espacial (Características y diseño de los hábitats en el espacio exterior)*.

Codelco (2020). *División El Teniente*. https://www.codelco.com/division-el-teniente/prontus_codelco/2016-02-25/155825.html

Ingenieros del Cobre y Minería (2015, abril). *El Teniente: 110 años de historia*. https://issuu.com/ingenierosdelcobre/docs/ic_m_55

MININGTAG. (2021, 5 de abril). Plano de estado de área mina El Teniente.

Hugh Broughton Architects (s.f). *Halley VI British Antarctic Research Station, A pioneering relocatable polar science research station*. <https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>

British Antarctic Survey (s.f). *Halley VI Research Station*. <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/#about>

VENTURA (s.f). *Halley VI, una base científica en movimiento por el hielo de la Antártida*. <https://vaventura.com/divulgacion/ciencia/halley-vi-una-base-cientifica-movimiento-hielo-la-antartida/>

Julien, (2017, 22 de enero). *Staying at Concordia*. <https://blogs.esa.int/concordia/2017/01/22/staying-at-concordia/>

Institut Polaire Français (s.f). *La station Concordia*. <https://institut-polaire.fr/fr/antarctique/la-station-concordia/>

NSF - National Science Foundation (s.f). *Amundsen-Scott South Pole Station*. <https://www.nsf.gov/geo/opp/support/southp.jsp>

Gone Venturing (2020, 19 de enero). *Amundsen-Scott South Pole Station Tour!!*. https://www.youtube.com/watch?v=2bNRNqaKxZ8&ab_channel=GoneVenturing

MININGTAG. (2021, 5 de abril). Plano de estado de área mina El Teniente.

Hugh Broughton Architects (s.f). *Halley VI British Antarctic Research Station, A pioneering relocatable polar science research station*. <https://hbarchitects.co.uk/halley-vi-british-antarctic-research-station/>

British Antarctic Survey (s.f). *Halley VI Research Station*. <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/#about>

VENTURA (s.f). *Halley VI, una base científica en movimiento por el hielo de la Antártida*. <https://vaventura.com/divulgacion/ciencia/halley-vi-una-base-cientifica-movimiento-hielo-la-antartida/>

Julien, (2017, 22 de enero). *Staying at Concordia*. <https://blogs.esa.int/concordia/2017/01/22/staying-at-concordia/>

Institut Polaire Français (s.f). *La station Concordia*. <https://institut-polaire.fr/fr/antarctique/la-station-concordia/>

NSF - National Science Foundation (s.f). *Amundsen-Scott South Pole Station*. <https://www.nsf.gov/geo/opp/support/southp.jsp>

Gone Venturing (2020, 19 de enero). *Amundsen-Scott South Pole Station Tour!!*. https://www.youtube.com/watch?v=2bNRNqaKxZ8&ab_channel=GoneVenturing

kW SPACE TV (2016, 31 de marzo). *ISS - International Space Station - Inside ISS - Tour - Q&A - HD*. https://www.youtube.com/watch?v=06-Xm3_Zelo&ab_channel=kWSPACETV

Carrillo, R. Díaz Ponce, J. Peña, C. Flores, O. Ortiz, A. Cortés, O. Cruz de Jesús, J. y Méndez, L. (2015). *Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000300013&lng=es&tlng=es.

National Aeronautics and Space Administration (2010). *Reference Guide to the International Space Station: Assembly Complete Edition*. https://www.nasa.gov/pdf/167120main_Elements.pdf

García, M. (2021, 19 de abril). *New Solar Arrays to Power NASA's International Space Station Research*. <https://www.nasa.gov/feature/new-solar-arrays-to-power-nasa-s-international-space-station-research>

SMARTEREVERYDAY (2020, 26 de julio). *Boarding a US NAVY NUCLEAR SUBMARINE in the Arctic - Smarter Every Day 240*. <https://youtu.be/RXXMJAU6vY8?list=PLjHf9jaFs8XWoGULb2HQRvzhBc1S1yimW>

Space Center Houston (s.f). *Astronaut Training Facility*. <https://spacecenter.org/exhibits-and-experiences/nasa-tram-tour/astronaut-training-facility/>

Transgesa (2018, 20 de marzo). *transporte terrestre y tipos de camiones*. <https://www.transgesa.com/blog/transporte-terrestre-tipos-camiones/>