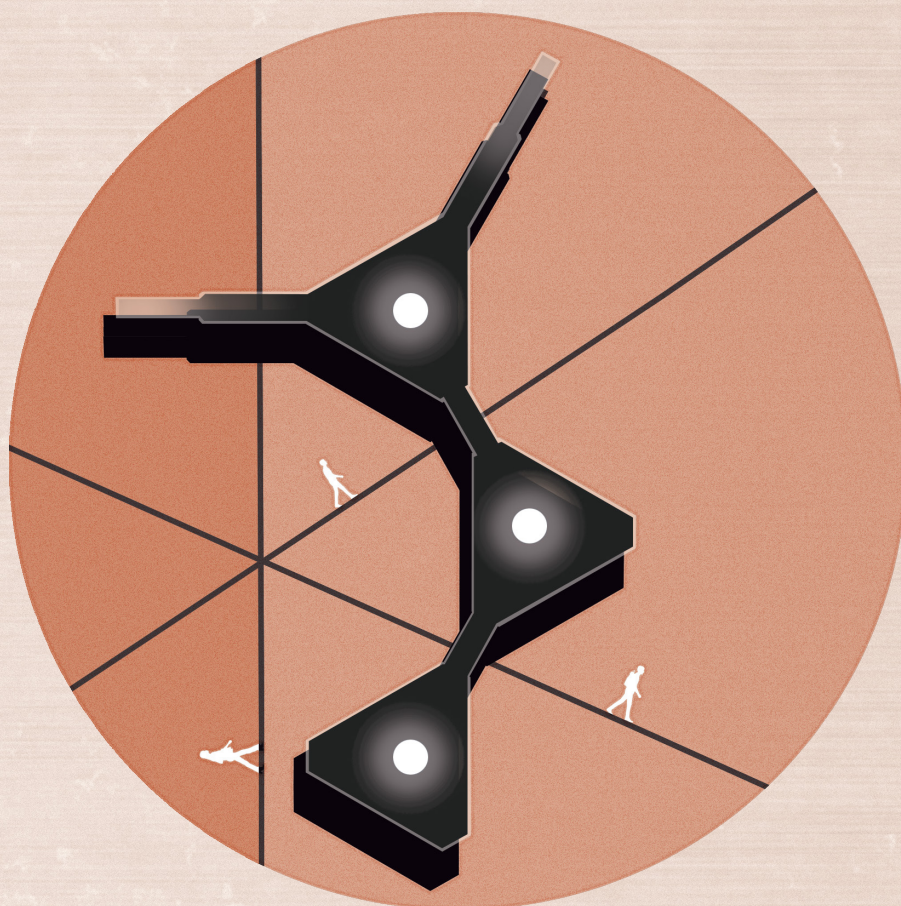


MARS CITADEL



Centro de simulación e investigación de superficies planetarias CSISP

Linda Débora Cortés Satizábal

*Proyecto de Fin de Master, Mars Citadel
Directores: Manuel Collado y Héctor León
Universidad de Alcalá*

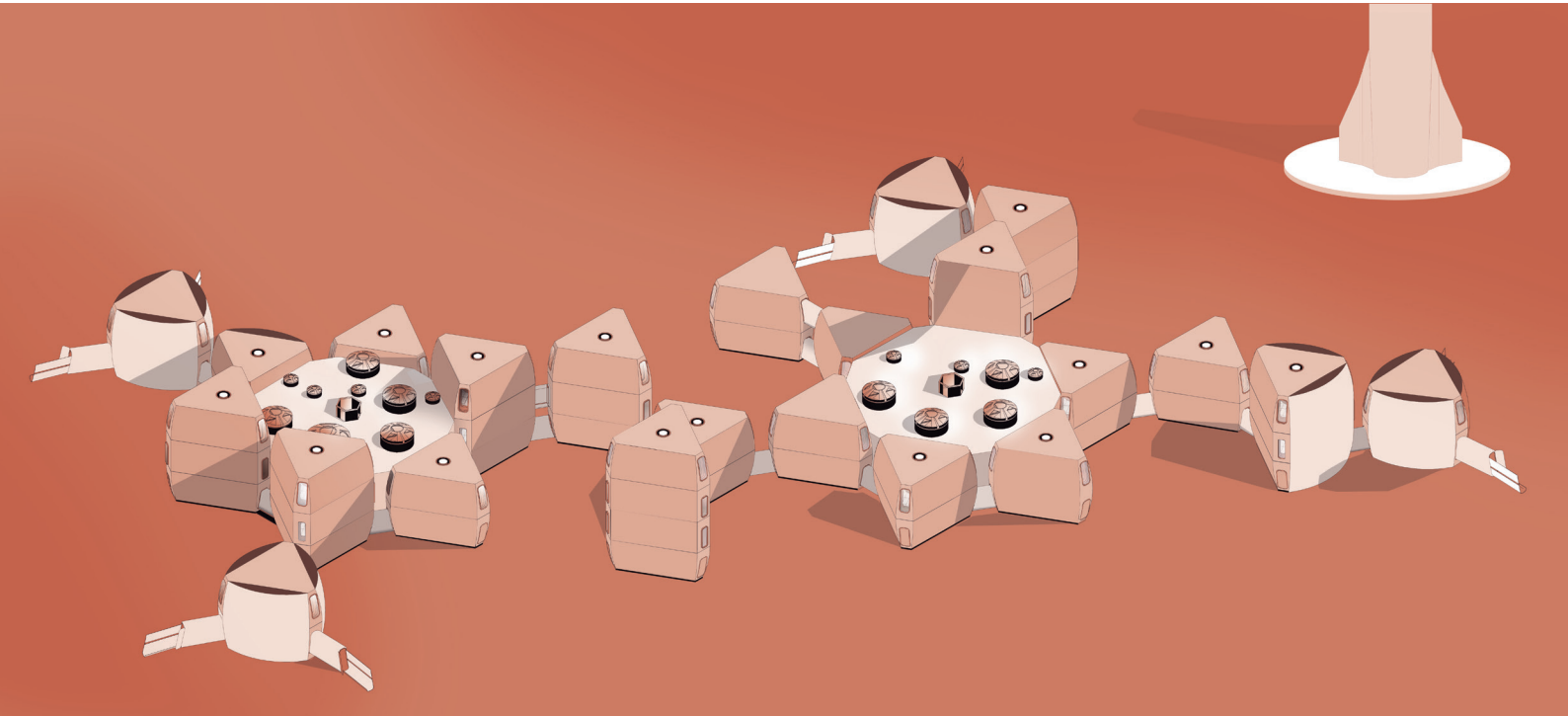


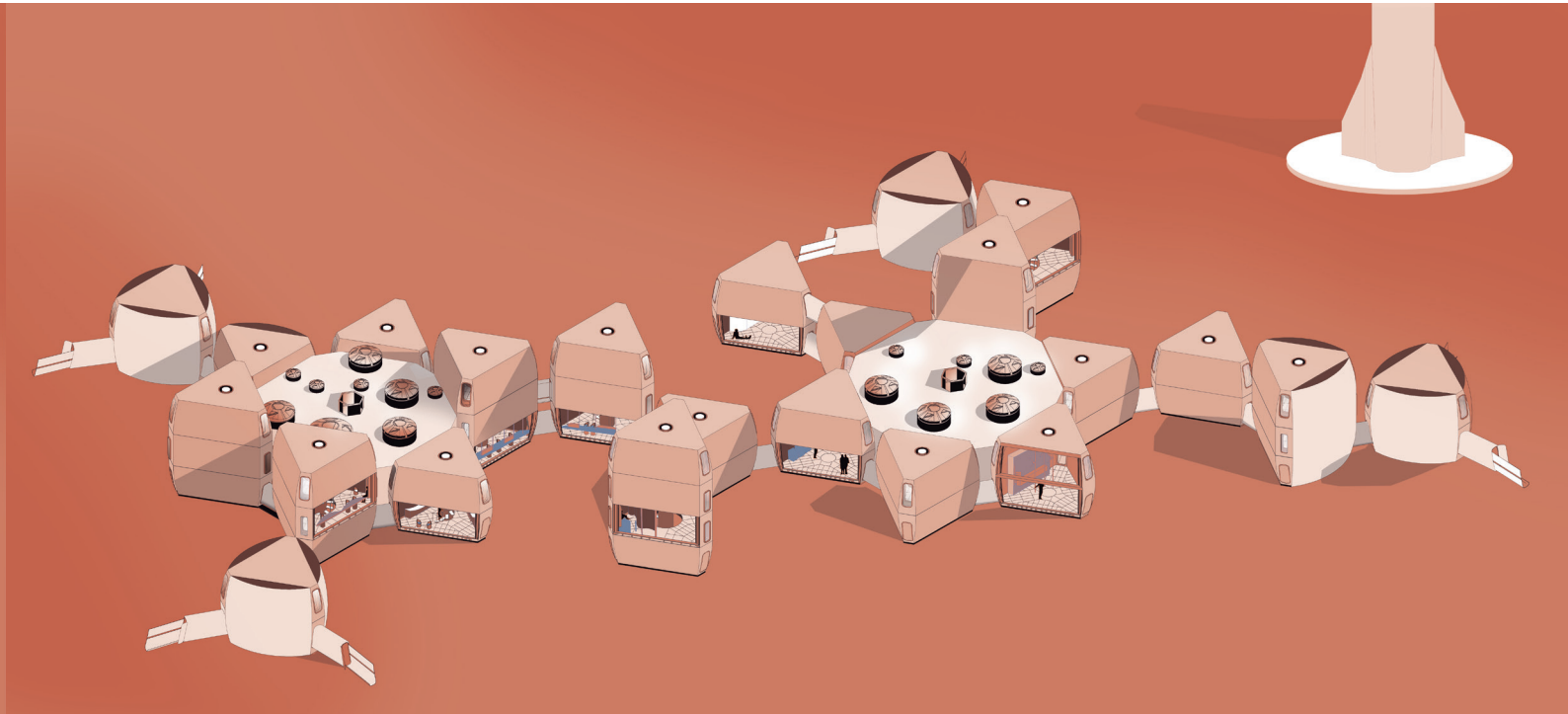
Resumen

Se realiza un proyecto en Minas de Riotinto (Huelva, España) en la zona conocida como La Naya-Zarandas. Esta ubicación es escogida debido a la herencia del lugar con respecto a las diversas actividades relacionadas con el espacio que se han realizado en el sitio. La represa II, situada en la zona norte de lo que antiguamente era el poblado minero de La Naya, lleva siendo desde hace una década zona de pruebas de la ESA (Agencia Espacial Europea) y la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio). El uso de este paraje se debe a factores tales como las condiciones extremas en las que se encuentra el lugar, así como el terreno arcilloso y compacto de los antiguos residuos del concentrador ahí situado durante el siglo XX y los minerales encontrados, la jarosita y la hematita, también presentes en el suelo de Marte.

El proyecto se desarrolla a partir de las misiones ahí llevadas a cabo por las diferentes Agencias Espaciales, el llamado Moonwalk, el cual se trata de un proyecto en el que el astronauta toma contacto con una superficie planetaria ficticia en la Tierra y el robot de apoyo (Rover) simula los movimientos que se llevarían a cabo en Marte o la Luna.

De esta manera, y conectando con mi TFG *Cosmos de la Vkhutemas a la Soyuz, la arquitectura de las cápsulas espaciales rusas* se proyecta un simulador a gran escala de un hábitat marciano, para poder realizar las actividades de investigación del terreno durante un tiempo prolongado, recreando así, una situación real de un entorno marciano, pudiendo interactuar con los diversos factores externos de la zona minera, convirtiéndolo en el campo de pruebas de superficies planetarias más grande de Europa. La represa número II se convierte entonces en una gran maqueta de Marte.





Antes de empezar la memoria me gustaría agradecer a las personas que han hecho posible que este proyecto se haya hecho realidad; a Oliver Schulz por su apoyo, contribución y consejos durante todo el proceso, a Gonzalo García-Rosales mi tutor de TFG dado que el proyecto es un proceso de años y gracias a su ayuda y confianza he podido perseguir y materializar mi sueño, a mi madre por su apoyo incondicional y a mi amigo Víctor Ballesteros, por su ayuda no sólo este año, sino durante toda la carrera.



¿Qué buscamos en el exterior que nos hace dar un paso al frente y arriesgarnos a lo desconocido?
(Cortés Satizábal, 2020: 11)

Con esta pregunta empezaba mi Trabajo Final de Grado *Cosmos, de la Vkhutemas a la Soyuz: la arquitectura de las cápsulas espaciales rusas*.

Con el proyecto realizado en Minas de Riotinto intento dar una respuesta a esta cuestión que me formulaba hace un año. El ser humano es investigador por naturaleza, este es uno de los motivos por los que se busca una forma de poder habitar la superficie marciana de aquí a unos años.

Esta pregunta sencilla me ha acompañado en el trabajo, haciéndome reflexionar sobre todas las cuestiones a las que debía dar respuesta en un espacio hermético.

Figura 1: Aterrizando en Mars Citadel. Fotografía de una huella en La Naya (zona llamada Rockgarden), simulando la llegada al hábitat al igual que la huella de la primera vez que se llegó a la Luna. Fotografía de la autora.

Índice

1. Introducción

- 1.1 Tema de trabajo
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodología
- 1.4 Estado de la cuestión

2. El lugar

- 2.1 El paisaje
- 2.2 La Naya, represa número II
- 2.3 Aproximación al proyecto.

3. Factores importantes del proyecto. La vida espacial

- 3.1 Inicios del proyecto

4. El proyecto

- 4.1. Programa y usuario
- 4.2 La planta
- 4.3 El módulo variable

5. Construcción

- 5.1 Catálogo de objetos interiores y pieles del módulo
- 5.2 Construcción del hábitat
- 5.3 Instalaciones

6. Conclusión

7. Prospectiva

8. Bibliografía

1.1 Introducción. Tema de trabajo

Desde épocas remotas el tema espacial ha sido de gran importancia a la hora de entender la cultura, por este motivo, ya entrado el siglo XIX, varios científicos entre los que destacan Pedro Paulet y Kostantin Tsiolkovsky empezaron a desarrollar prototipos de futuras naves en las cuales se podría viajar al espacio, intentando dar así una respuesta directa a aquello que veíamos cada noche pero que aún no habíamos alcanzado.

Durante la carrera espacial, a mediados del siglo XX, las dos potencias, la Unión Soviética y Estados Unidos de América, protagonizaron una auténtica guerra por la conquista del espacio, la cual tuvo uno de los resultados más importantes para la humanidad, la llegada del hombre a la Luna. Ya en aquella época se estaban haciendo propuestas para lo que podría ser una base en la Luna para la llegada regular de astronautas, pero el coste económico que todo esto llevaba y el fin de la carrera espacial, terminó hundiendo el sueño de poder habitar otra superficie planetaria.

En los años noventa, no se dejó de lado todo lo que se había investigado y se propuso una Estación Espacial Internacional (ISS), en la cual se ha estado investigando, pero nunca han llegado a salir de la órbita terrestre.

Hasta el día de hoy se han estado enviando vehículos robóticos de tipo Rover a Marte, así mismo, se han realizado diversas actividades en la superficie planetaria de la Luna, todas ellas mediante vehículos dirigidos desde la Tierra. Pero, desde hace varios años y con la propuesta de varias empresas privadas como SpaceX y Blue Origin, la fiebre por llegar a Marte y poder crear un hábitat que acoja a gente de manera regular, se ha vuelto a extender.

Por este motivo, se han estado desarrollando estos últimos años, misiones en la Tierra que simulen la vida en Marte, como el conocido Mars 500 desarrollado en Rusia o el HI-SEAS (Hawaii Space Exploration Analog and Simulation), entre otros.

Con esta idea y debido a que en España contamos con un área muy parecida a la superficie marciana en las Minas de Riotinto, la ESA (Agencia Espacial Europea), el CAB (Centro de Astrobiología) y la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio) se han interesado por el lugar para realizar sus investigaciones por medio de programas dirigidos.

Tomando este factor como referencia y punto de partida, se propondrá en el lugar un centro de simulación fijo, para el estudio de las superficies planetarias y las opciones de vida que se puedan crear en ellas. Haciendo de Riotinto un Marte en la Tierra.

1.2 Introducción. Objetivos

1. Crear un hábitat que pueda ser usado de manera real en la superficie planetaria de Marte. Este, al usarse en la Tierra y no poder generar algunos factores básicos como la gravedad, tendrá que dar respuesta también a las necesidades de la Tierra.
2. Investigar las formas de construcción para este tipo de espacios, que en su gran mayoría serán modulares y de fácil transporte. Actualmente, existen dos formas de construir en el espacio, usando recursos in-situ mediante el regolito del suelo planetario o enviando de manera prefabricada la pieza.
3. Estudio de materiales, estructura y formas de vida en espacios herméticos, en el que el más mínimo fallo puede provocar efectos muy graves o fatales.
4. Estudio del lugar en el que me sitúo para poder así dar una solución que no se encuentre exenta del lugar sobre el que trabajo, Minas de Riotinto (Huelva, España).

1.3 Introducción. Metodología

Para poder realizar este trabajo se ha necesitado el apoyo por medio de libros relacionados con Riotinto y sus peculiaridades: Amils, R. 2010, *Riotinto: Viaje a Marte*, Sevilla: Editorial Alfar.

Así como de diversos textos en los que se explican las diferentes curiosidades del terreno minero. Las misiones de Moonwalk se tratan de un punto de inicio del proyecto, por este motivo, he necesitado ver diversos vídeos y la lectura de artículos científicos relacionados con esto, en el que destaco: Groemer, G. 2011, *Riotinto 2011 Mission Report*, Austrian Space Forum, Innsbruck. Visto noviembre 2020. Disponible en : <https://oewf.org/portfolio/spanien-rio-tinto-2011/>

No sólo ha sido necesario leer sobre el tema, sino que he necesitado ponerme en contacto con gente experimentada en la materia. Entre ellos está el Dr. Felipe Gómez, científico senior del CAB (Centro de Astrobiología) y encargado del estudio de entornos extremos, límites de vida y del desarrollo de habitabilidad en entornos adversos. Así como, el ingeniero eléctrico y aeroespacial, Diego Urbina, miembro de la ESA (Agencia Espacial Europea), el cual ha participado en el experimento Moonwalk en Riotinto como astronauta y en el Mars-500 en Moscú siendo uno de los 6 astronautas que formaban la tripulación.

1.4 Introducción. Estado de la cuestión

Actualmente existen varios proyectos sobre posibles hábitats en otras superficies planetarias, desarrollados en varias universidades o por estudios de arquitectura, debido a que es un tema en auge en los últimos años. La gran mayoría de ellos proponen trabajar in-situ los materiales, pero la posibilidad de que estos recursos funcionen de manera adecuada debido a la radicación que presentan las superficies planetarias sin una atmósfera como la de la Tierra.

En archivos científicos hay información sobre nuevos materiales para construir en Marte, pero son tan actuales que no es sencillo encontrarlos y ponerlos en práctica puesto que existen únicamente textos describiendo el tipo de material, pero en ningún momento se detalla de manera más técnica si se quisiera usar en un prototipo.

Los proyectos que actualmente existen de forma pública sobre formas de habitar en Marte o la Luna, no profundizan en su mayoría en materia técnica, la manera en la que se van a construir o cómo funciona la estructura de estos, suele hacerse en muchos casos siguiendo el mismo patrón. El regolito y un módulo hinchable. Esto dificulta si se quiere experimentar con la búsqueda de otras maneras de habitar Marte o la Luna.

Vocabulario necesario

CAB- Centro de Astrobiología

NASA- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

ESA- Agencia Espacial Europea

EVA- Actividad Extravehicular

ISS - Estación Espacial Internacional

Starship- prototipo de aeronave que será enviada a Marte y la Luna creada por la compañía SpaceX la cual está pasando varias pruebas con excelentes resultados. Diseñada no sólo para transportar a personas sino también como cohete de carga.

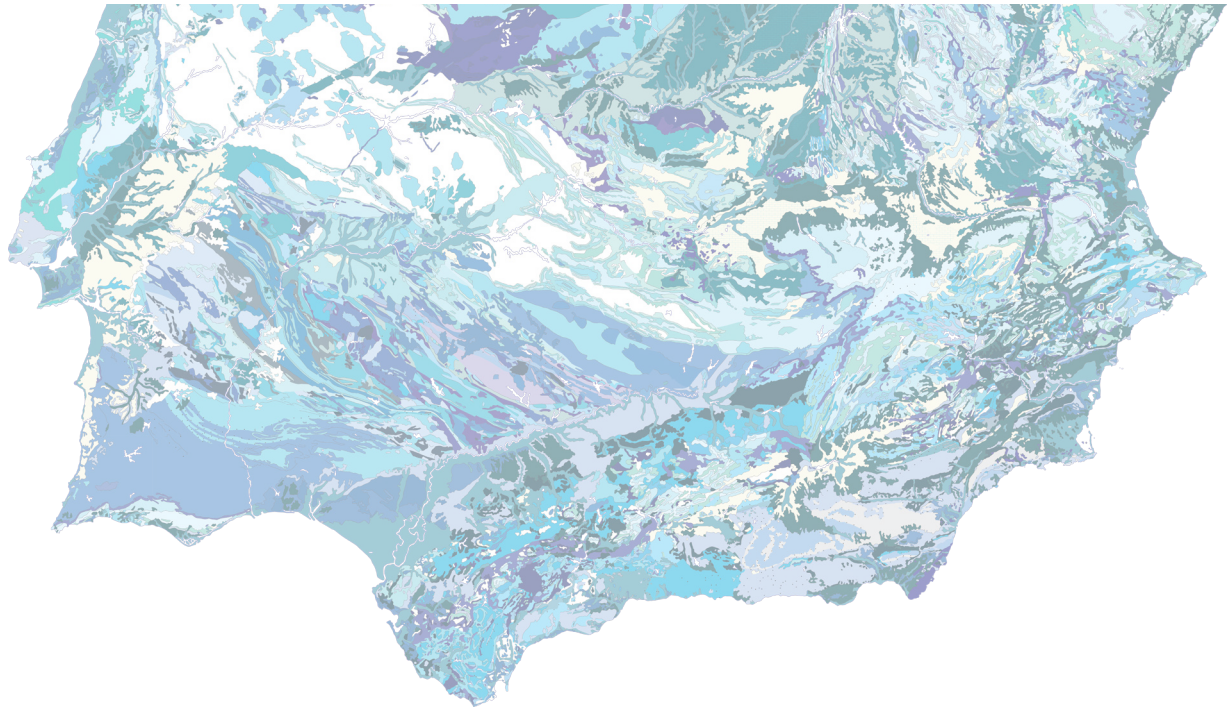


Figura 2: Mapa Geológico de la mitad sur de la Península Ibérica. En un recuadro se marca la zona en la que se encuentra Minas de Riotinto sobre la conocida Faja Pirítica. Creado por la autora mediante la imagen del Mapa Geológico de la Península Ibérica y Baleares del Instituto Tecnológico Geo minero de España, año 2001.

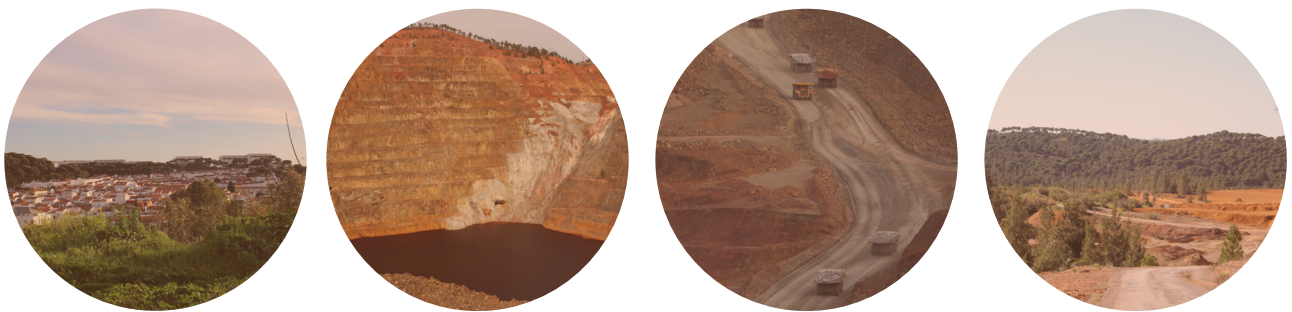


Figura 3: Diferentes imágenes de las zonas explicadas en el texto. Empezando de izquierda a derecha. 1. El pueblo de Minas de Riotinto. 2. La Corta Atalaya inundada. 3. Cerro Colorado siendo explotado. 4. Espacio abandonado donde se encontraba antiguamente el concentrador. Actualmente quedan algunas ruinas del lugar en mal estado. Fotografías de la autora.

2. El lugar

La zona de Minas de Riotinto se encuentra en la provincia de Huelva, situada en el suroeste de la Península Ibérica, haciendo frontera con Portugal. Está ubicada unos 85 km de la ciudad de Sevilla y a 70 km de la ciudad de Huelva. Esta zona es conocida por los geólogos debido a que está asentada sobre una zona conocida como la Faja Pirítica Ibérica (figura 2). Se trata de un espacio geológico en el que se concentran altas cantidades de sulfuros masivos, los cuales ofrecen una orografía característica a la zona.

El sector de la Naya donde se sitúa el proyecto se encuentra en una de las zonas del antiguo complejo minero de Minas de Riotinto. Este emplazamiento minero empieza su actividad en la Edad de Bronce, siendo también explotado por los romanos. No sería hasta finales del siglo XIX, cuando la compañía inglesa Rio Tinto Company llevase una de las mayores explotaciones mineras en la zona, creando un conjunto de edificaciones destinadas a la vida minera entre las que se encuentran las viviendas para los ingleses colonos, los pequeños poblados en los que se albergaba a la población autóctona que trabajaba en la empresa, una amplia zona de explotación minera y un ferrocarril posterior que conectaba la zona con la ciudad de Huelva.

2.1 Paisaje

El paisaje del lugar está compuesto por pueblos habitados y abandonados, zonas mineras, montañas, el río, depósitos de residuos, ruinas y naturaleza (figura 3). La zona está rodeada por dos pueblos de mayor dimensión llamados Minas de Riotinto y Nerva, contando el primero con una población de 4500 habitantes y el segundo por 5300 personas.

Otro de los lugares importantes es la Corta Atalaya, la cual llegó a ser una de las minas a cielo abierto más grandes de Europa. Está actualmente fuera de uso, pero en marzo de 2021 tras una visita, se observó que hay proyectos de recuperación de la corta para su futura explotación y el agua, que había inundado gran parte de los pisos, está siendo bombeada al exterior poco a poco.

El Cerro Colorado se trata de otro espacio característico del espacio minero. Actualmente está siendo explotado por la empresa Atalaya Mining, la cual está al cien por ciento de su actividad, generando empleo en la zona o destruyendo la reserva paisajística, según el punto de vista del que se quiera observar. Otra de las zonas de interés se encuentra en el sur del complejo minero. Es un conjunto de instalaciones las cuales se encuentran abandonados, pero en su día fueron bastantes importantes, como la lavadora de la mina y la fundición Bessemer, en la que se encontraba el concentrador. Otro espacio, aquel que da nombre al lugar, es el famoso río Tinto, el cual sigue su curso por esta zona con un característico color rojizo que se debe a las cantidades de minerales ferrosos que se encuentran disueltas en sus aguas.



Figura 4: Represa número II, espacio con pequeños montículos. Fotografía de la autora.



Figura 5: Represa número II, esplanada con usos varios. Fotografía de la autora.



Figura 6: Represa número II, Rockgarden, zona hundida de la represa con aspecto rojizo parecida a Marte. Fotografía de la autora.

Las fotografías donde aparezco yo, han sido realizadas por Víctor Ballesteros Mateos durante el viaje al lugar.

2.2 La Naya, represa número II

El proyecto se sitúa en una zona que actualmente está abandonada, La Naya, la cual ha despertado el interés de muchos científicos que trabajan para la NASA, el CAB y la ESA debido a las similitudes con la superficie marciana. Aparte de haber encontrado en este lugar minerales que están presentes en Marte, la jarosita y la hematita. Esto ha impulsado el uso del paraje como espacio de pruebas para los diferentes robots y los trajes espaciales que serán usados, así como las diferentes formas científicas y de análisis para encontrar vida. Uno de los proyectos más importantes realizados en el lugar es el Moonwalk, en el que se realizan diferentes operaciones con robots, analizando la interacción que hay entre la persona y el robot. Uno se realizó en el año 2011 y el otro en 2017, siendo la represa número II de La Naya la base de operaciones. El nombre de la Naya-Zarandas viene del antiguo poblado que se encontraba en la zona para dar servicio a las instalaciones mineras y al ferrocarril.

Uno de los puntos importantes del lugar es el inicio del túnel 16, el cual conectaba toda la red del ferrocarril con la Corta Atalaya y atravesaba el espacio minero de manera subterránea. La fundición Bessemer, creó un pequeño microhábitat de los trabajadores de la zona, que hacían uso de la carretera y de las instalaciones que actualmente se encuentran en ruina.

El siguiente punto importante es la represa de residuos número II en la que antiguamente se encontraba el concentrador. Este espacio, dado que es el más llano y el que simula mejor las condiciones del terreno en Marte, es el escogido para realizar el proyecto. Cuenta además con varios lugares que sirven como campo de pruebas.

Uno se trata de unos pequeños montículos (figura 4), los cuales pueden usarse como espacio con terreno irregular, el otro es la gran esplanada (figura 5), amplio espacio de uso con un terreno de textura parecida a la arena del mar con un sedimento inferior rocoso y por último el Rockgarden (figura 6), espacio derrumbado en el cual se aprecian unas tonalidades rojizas y una textura arcillosa, haciéndolo un espacio idóneo para uso de los astronautas y robots.

La creación del depósito de residuos II de la Naya se realizó mediante el sistema de aguas arriba, es por eso que durante su proceso de formación el agua era existente. Actualmente el terreno más cercano al firme aún permanece húmedo. Aun así, las condiciones del terreno se presentan óptimas para construir en su superficie, siempre y cuando se haga de manera superficial.

La composición de las capas del terreno es la siguiente; la parte superior está compuesta por una serie de residuos mineros mezclados con tierra para compactar el lugar, el siguiente estrato se compone de residuos mineros como el óxido e hidróxido de hierro. También cuenta con presencia de arsénico, plata, cobre, plomo y zinc. La tierra cuenta con un pH bastante ácido de 3,09.

Por último, nos encontramos con el firme, el terreno antiguo que se encontraba antes de depositar aquí los residuos.



Figura 7: Plano con el proyecto. Ubicado en la represa número II se representa el proyecto.

2.3 Aproximación al proyecto

Actualmente las actividades que se han realizado por parte de la NASA y del CAB, son las actividades del Moonwalk y de investigación. En el Moonwalk, las actividades que se realizaban eran de interacción con las personas y los robots Rover y la interacción persona-persona. Los objetivos de este proyecto eran el desarrollo de tecnologías innovadoras para apoyar la exploración cooperativa entre un humano y un robot en una superficie planetaria. La creación de infraestructuras en Europa que permitan el estudio de superficies y probar nuevas tecnologías era uno de los propósitos, pero desde el 2017 no se ha vuelto a hacer uso del lugar debido a que no cuenta con infraestructuras que perduren en el lugar.

Es aquí donde nace el proyecto, un espacio fijo de investigación de superficies planetarias por medio de un hábitat que pueda ser colonizado de manera progresiva a lo largo del tiempo, generando así una pequeña ciudad marciana en Riotinto, la cual debe poder funcionar también en Marte. Este tendrá una interacción continua con el exterior, el paisaje minero de la zona.

Existen en estos momentos varios puntos en la Tierra donde se están desarrollando actividades parecidas. Uno de ellos es en las estaciones de la Antártida, el proyecto del Mars-500 en Moscú, el cual carecía de un espacio donde desarrollarse en el cual hubiese un contacto con el medio ambiente puesto que se realizó en un lugar cerrado. En Hawái se encuentra el proyecto HI-SEAS, en el que se aísla durante un año a un conjunto de persona para simular una estancia en Marte. El lugar cuenta únicamente con un módulo en el cual se desarrollan todas las actividades. Las misiones de la NASA, denominadas NEEMO, las cuales se desarrollan bajo el mar, para recrear un ambiente en condiciones extremas. El Houghton Mars Project (HMP) el cual intenta recrear una estancia en Marte, está localizado en Canadá, en la isla de Devon. Por último, se puede encontrar en China el proyecto Mars Base Camp, en el desierto de Gobi, el cual recrea un hábitat marciano.

Como se puede ver, no hay proyectos de este tema en Europa, contando, sin embargo, con el análogo de Marte en la Tierra en tierras europeas.

El proyecto se encuentra ubicado en el centro de la esplanada (figura 7) alrededor del árbol más grande que se encuentra en la zona. Se ubica en esta posición debido a que es el centro estratégico de las tres áreas de trabajo, los montículos, la esplanada y el Rockgarden. También cuenta con suficiente espacio seguro para construir e iluminado para plantear un pequeño parque de paneles solares que de servicio al hábitat. Cuenta también con ruinas que se pueden usar, como el depósito de agua. Se encuentra a la entrada de la carretera por lo que desde Nerva y Riotinto facilitando su acceso.

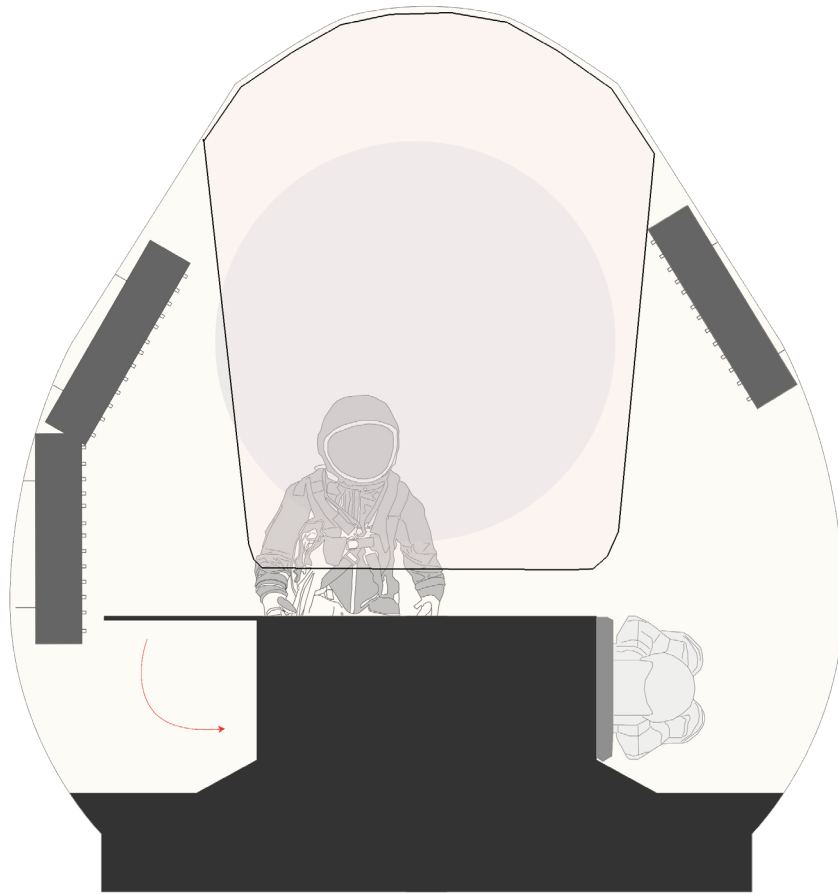


Figura 8: Primera tipología de hábitat proyectado por Roscosmos para el módulo lunar durante la carrera espacial. Dibujo de la autora.

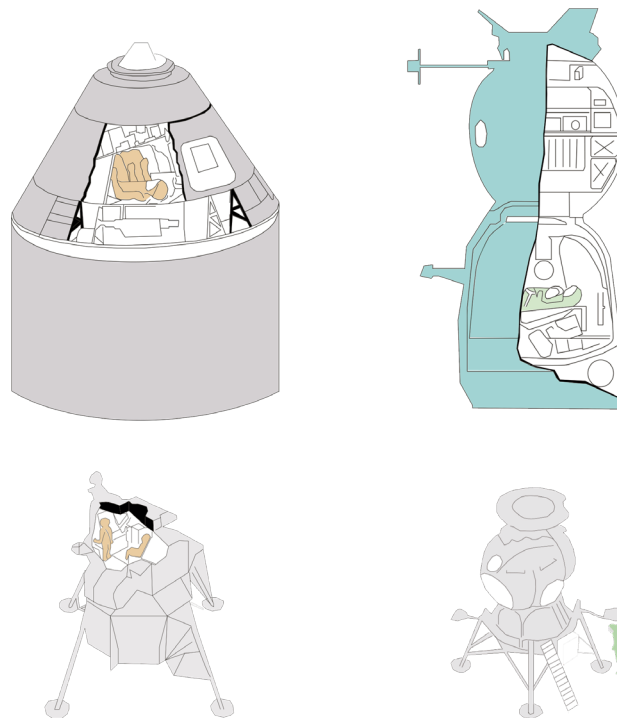


Figura 9: Primeros hábitats de módulos lunares. Representadas también las cápsulas Apollo y Soyuz. Dibujos de la autora.

3. Factores importantes del proyecto. La vida espacial

Para poder entender la forma en la que se va a crear el hábitat, es necesario tener unos conceptos previos, los cuales van estrechamente ligados con la forma de vida espacial. Estos factores se han debido tener en cuenta a la hora de hacer el proyecto dado que se espera que en un futuro este tipo de hábitat pueda ser enviado a Marte, aun así, no se pueden generar agentes externos tales como la gravedad, la presión o el tipo de atmósfera, pues situamos el proyecto en la Tierra.

Para empezar, explicar las diferentes formas de construir que tienen en una superficie planetaria exterior. Las condiciones son extremas, esto significa, que no existirá un grupo de personas que se dediquen a la construcción, sino que se tiene que idear un sistema constructivo en la Tierra para una construcción mecanizada por medio de robots antes de la llegada de las personas. Por este motivo, actualmente existen varias versiones de cómo se puede ejecutar esta actividad. La primera sería mediante una impresión in-situ utilizando el regolito del lugar. Esto abarataría los costes de transporte y se utilizaría el material que encontramos en la superficie. Se realiza mediante una impresora 3D y se necesitarían varios meses desde la llegada de los robots hasta su estado final en el que se puede habitar. Quizás el problema más grave de este método es que aún no ha sido probado en Marte para una escala de un hábitat, poniendo en duda si este sistema funcionaría realmente a la variación de presión y la intensa radioactividad del lugar.

Por otra parte, se ha estado investigando en la posibilidad de enviar módulos hinchables, los cuales, al tener una forma esférica aguantan bastante bien la diferencia de presiones. El problema de este tipo de módulos es que una vez terminados necesitan una segunda capa que los proteja contra los impactos. Esta se realiza por medio de regolito, requiriendo así una impresión en 3D.

Existe otra posibilidad, la cual he escogido para la formación del hábitat, los módulos prefabricados. Estos serían más caros a la hora de enviarlos, pero se genera de manera ordenada y rápida una colonia, pudiendo ser habitada de manera inmediata. Este sistema funciona como una pequeña cápsula (figura 8), al estilo de la cápsula del Apolo o Soyuz (figura 9), siendo estas un objeto fabricado en la Tierra y enviado al espacio en su conjunto.

A la hora de crear espacios fuera de la Tierra, hay que tener en cuenta que se necesitan reciclar todos los recursos vitales, agua, electricidad, desechos y oxígeno. Por este motivo es necesaria la presencia de un parque de paneles solares, un depósito de agua que se conecte al hábitat, el reciclaje de los desechos vitales de los astronautas y un generador de oxígeno. Todo deberá estar controlado mediante un entorno cerrado. Hay que puntualizar que, debido a la necesidad de ahorrar el máximo de agua, debido a que la falta de este recurso, se usará el método de la hidroponía para generar hortalizas y frutas de consumo.

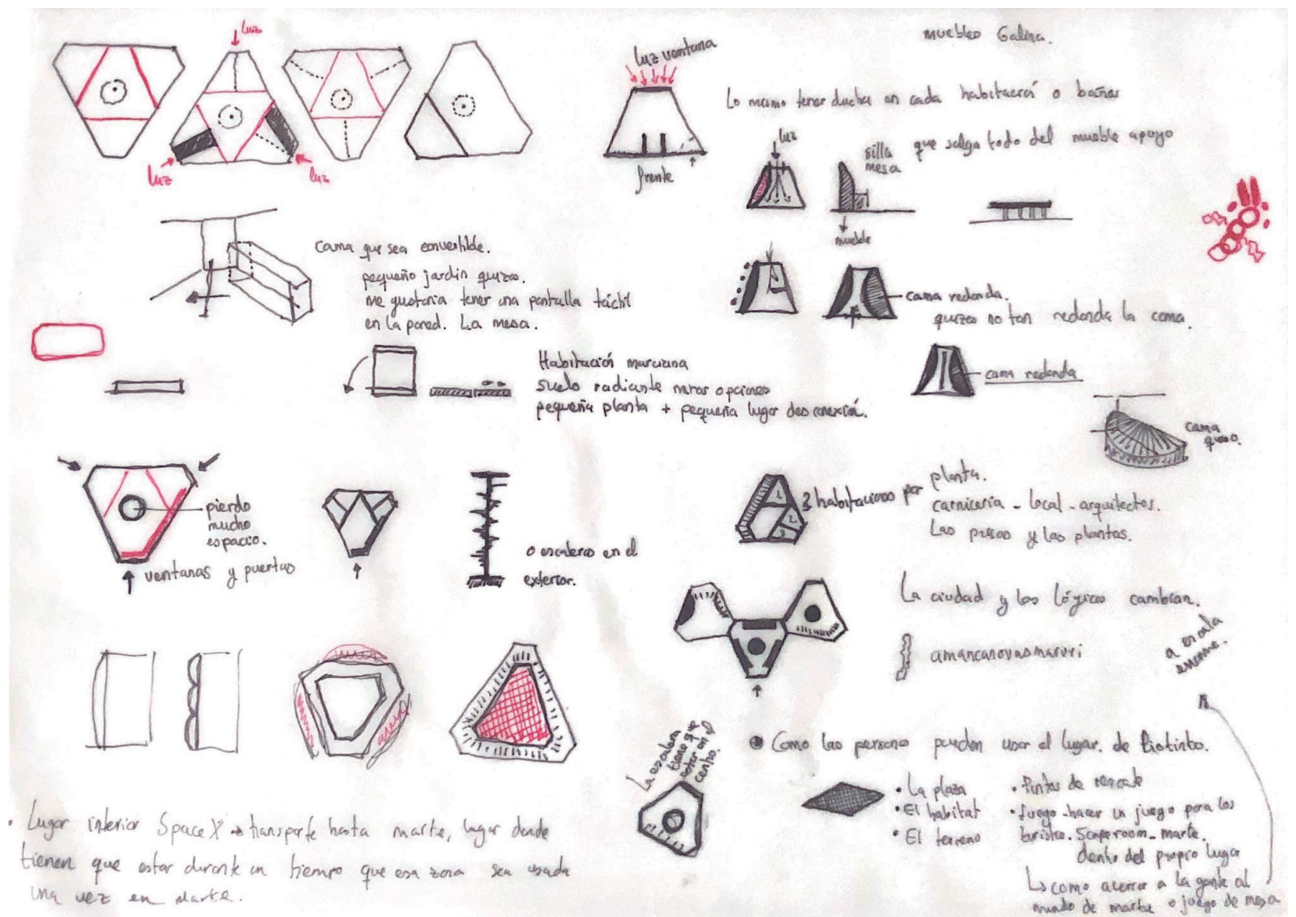
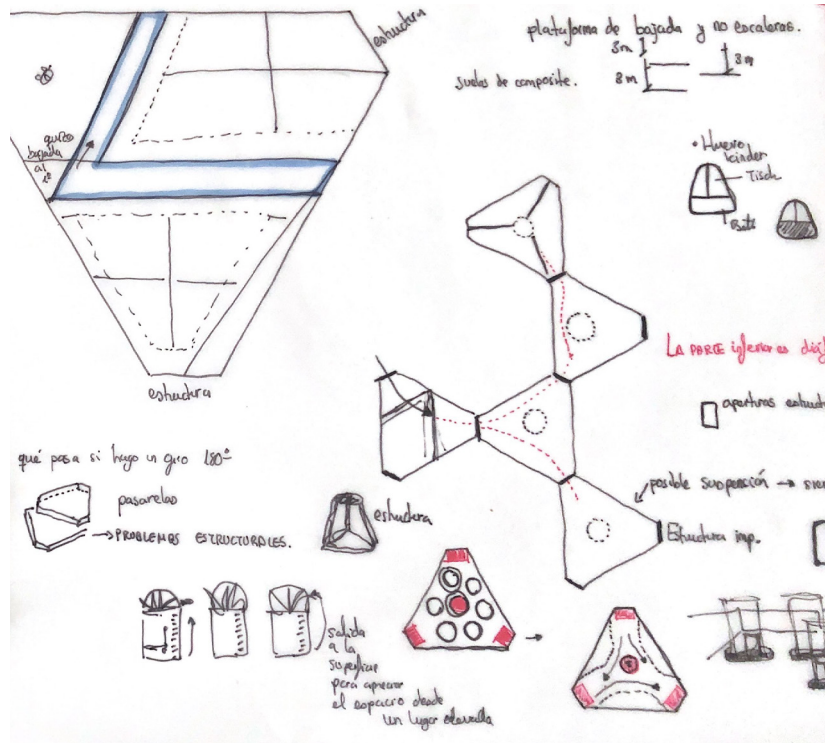


Figura 10: Primeros bocetos del proyecto.

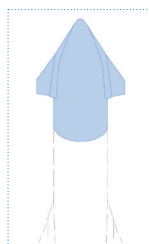


Figura 11: Cargo Starship de SpaceX. Dibujo de la autora.

3.1 Inicios del proyecto

Para empezar a realizar un proyecto como este (figura 10), es necesario tener en cuenta que el módulo va a tener que ser desplazado mediante un cohete. Para mi proyecto he elegido el Starship, debido a que es el que actualmente se encuentra en periodos de prueba. La forma de los módulos suele diseñarse de manera que pueda entrar en la zona de almacenaje del cohete (figura 11). Esta forma suele ser circular, por este motivo comienzo el análisis (figura 12) con una forma simple de una circunferencia.

1. La circunferencia me concede la propiedad de poder ser desplazada en un módulo, siendo efectiva en el desplazamiento. El problema se encuentra en el uso en la superficie marciana ya que es compleja su conexión entre módulos diferentes.
2. Los módulos circulares pueden separarse entre sí, pero al no compartir aristas, la conexión se vuelve brusca y la circulación entre módulos se hace compleja. Este sistema funcionaría para módulos individuales sin conexión.
3. Como se comenta, la conexión se vuelve compleja y limita las formas de conectarse entre ellas. Si unimos dos circunferencias entre sí, la superficie que resulta de la conexión no responde a una conexión fluida.
4. Con estos condicionantes se procede a la variación de un círculo en forma geométrica. En este caso se tiene un octógono. Esta forma crea dos superficies paralelas entre sí que me generan un factor de conexión entre módulos.
5. Esta conexión entre los diferentes octógonos se puede realizar desde la parte corta de la forma, generando un espacio conectado fluido. De esta manera se pueden conectar de manera sucesiva los diferentes módulos, unidos entre sí.
6. Esta solución me permite un crecimiento en expansión del hábitat. La problemática es que el patrón de crecimiento es siempre de manera paralela entre ellos. Si se quisiera expandir de manera diagonal sería complejo.
7. Por este motivo y teniendo la idea de conexión por un lado pequeño de una forma geométrica, se prueba con un triángulo de manera que siempre tenga 3 lados de conexión. Esto me permite crecer de manera diagonal.
8. Una vez conectados me permite tener una conexión fluida entre los diferentes hábitats y con un crecimiento en expansión en cualquiera de sus tres lados debido a la forma triangular, pero con los vértices partidos, formando un hexágono.
9. El hexágono me permite crear un área extensa de módulos conectados entre sí y generando un espacio central que será utilizado. Es decir, la forma me genera un espacio privado, el hexágono pequeño y una zona pública, el grande.

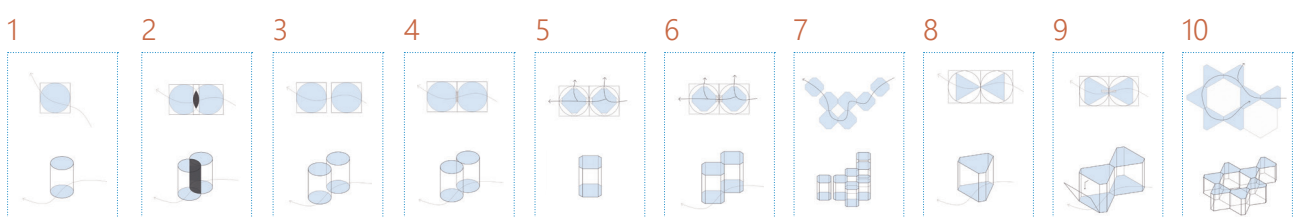


Figura 12: Diagramas de la forma según el criterio espacial. Dibujo de la autora.

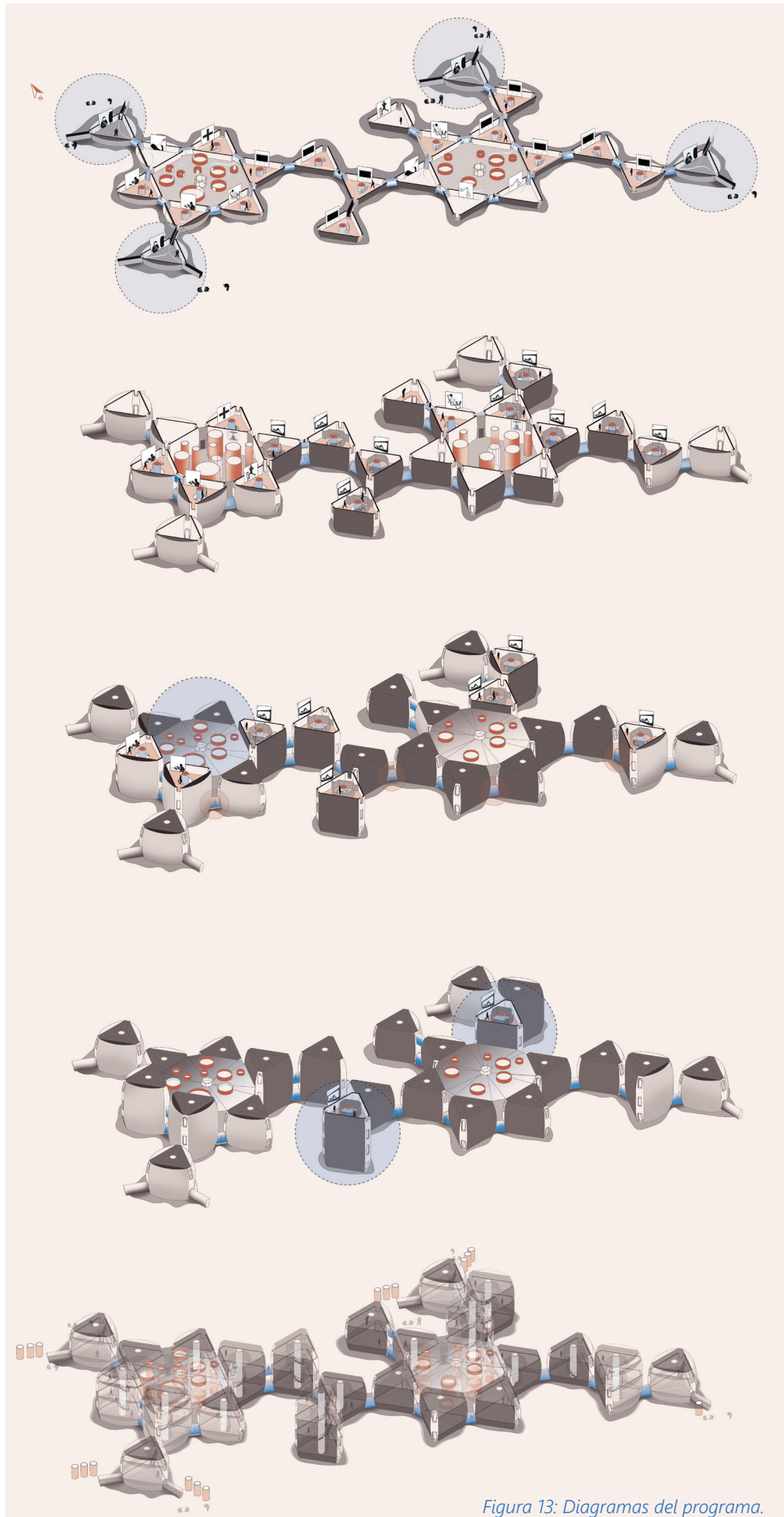


Figura 13: Diagramas del programa.

4.1 El proyecto. Programa y usuario

El hábitat se incorpora al entorno como un conjunto de pequeñas piezas (figura 13) que complementan el lugar, generando una actividad nueva en el sitio. La colonia marciana viene a generar un nuevo espacio de vida (figura 14), el cual ya existía en el lugar por medio de los pobladores mineros, ahora cambia únicamente la misión y el propósito de la gente que lo habita.

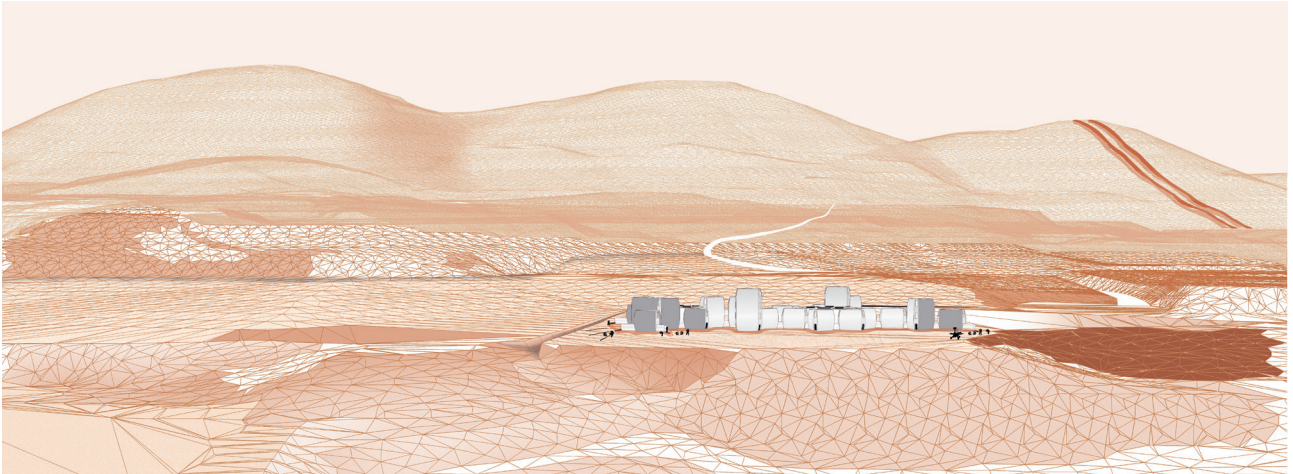


Figura 14: Alzado con vistas a la zona de la represa II.

El programa se entiende en dos fases:

La primera fase se trata de la recreación en un entorno cerrado y hermético de la vida en Marte con una duración de 6 meses. En este momento se tendrán que repartir las habitaciones según las necesidades del usuario y de su actividad en el hábitat. También, para generar un espacio con vida, es necesario un reparto de actividades según la formación del usuario, así como un esquema de horarios, generando una ciudad con un tiempo de vida diferente al que se genera en la Tierra. Los usuarios no podrán salir del módulo hábitat, únicamente se podrá realizar mediante las cuatro salidas habilitadas para efectuar una EVA con el traje de astronauta, generando así una situación real de vida marciana. Los usuarios tendrán un número de 34 personas serán para esta primera fase.

La segunda fase del proyecto estará relacionada con la misma simulación de vida en Marte, pero con un período más largo de un año o año y medio y acogiendo un número mayor de personas. Para esto será necesario ampliar el hábitat.

El programa se desarrolla en todo el hábitat, siendo la planta baja el espacio público por el que se pueden desplazar los usuarios y las plantas superiores corresponden a un área más privada en su mayoría donde se encuentran las habitaciones.

Los usuarios (figura 15) deben tener una función específica, por lo que necesito especialistas en varios campos:

1. Crew: Piloto-militar. Usuario especializado en dirigir los robots tripulados que se encuentran en el exterior del hábitat.
2. Crew: Ingeniero aeronáutico y aeroespacial. Responsable del mantenimiento y del correcto funcionamiento del Starship o la lanzadera que los llevará de vuelta a la Tierra.
3. Crew: Arquitecto. Encargado de que la arquitectura del espacio responda a las necesidades del planeta en el que se encuentran.
4. Crew: Físico-científico, astrofísico. Harán estudios teóricos de lo que vaya sucediendo durante la estancia en el hábitat. Así como avances en materia bacteriológica.
5. Crew: Equipo médico. El equipo médico será responsable del control en materia de salud de los diferentes usuarios. Harán estudios psicológicos.
6. Crew: Informático-economista. Encargado de los sistemas de contacto exterior, así como de los dispositivos de control técnico.
7. Crew: Ingeniero Químico. Propondrán sistemas de cultivo mediante procesos químicos. Trabajarán en conjunto con los biólogos y los físicos.
8. Crew: Ingeniero materiales. Se ocupará este usuario en la producción, investigación y uso de nuevas técnicas con los materiales del terreno.
9. Crew: Ingeniero mecánico. El ingeniero mecánico hará nuevas propuestas de Rover que se puedan usar en la superficie, así como el control de calidad.
10. Crew: Ingeniero eléctrico y telecomunicaciones. Se encargarán del suministro de electricidad y correcto funcionamiento. Plantearán un sistema interno de comunicaciones.
11. Crew: Geólogo. Estudio del territorio sobre el que se asienta el hábitat, hará estudios de lugares eligiendo cual es más apropiado para la vida.
12. Crew: Abogado y Experto VR. Encargado de temas administrativos. Control de realidad virtual como apoyo en el proyecto, simulación de espacios abiertos.
13. Crew: Ingeniero Civil. Se encargarán de la parte técnica del hábitat, aunque trabajará en conjunto con el arquitecto y los demás ingenieros.
14. Crew: (Biólogo) molecular. Desarrollo de procesos moleculares, como las actividades de creación de comida y los medicamentos para la tripulación.



Figura 15: Usuarios de las diferentes Agencias Espaciales.

4.2 El proyecto. La planta

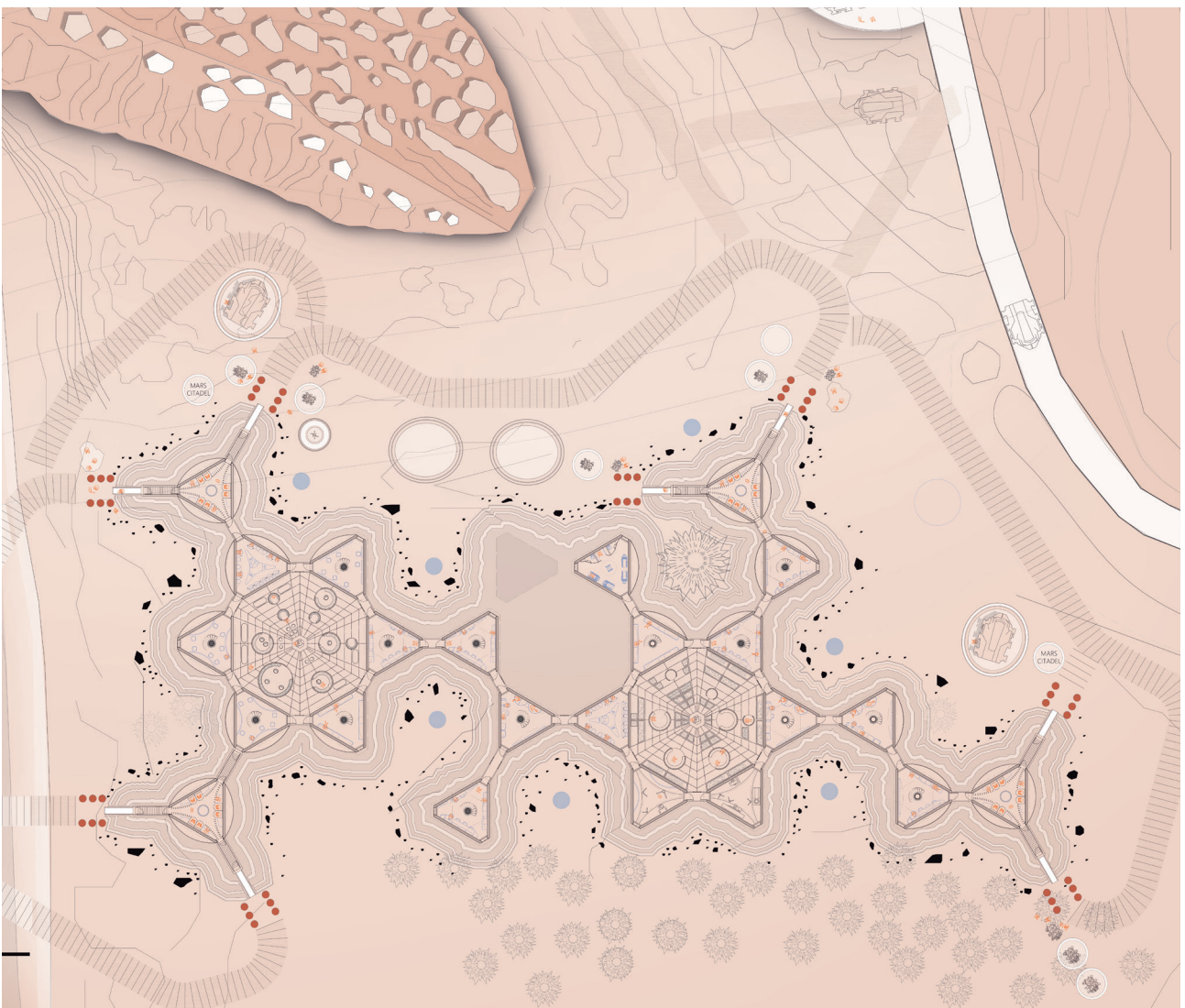
Los inicios de la planta (figura 16) comienzan con la idea de crear un espacio modular el cual no funciona como una torre en la que ocurren todas las actividades distribuidas de manera vertical. Por este motivo se buscaba una forma la cual pudiese crecer como si fuese un pequeña célula o mecanismo de manera horizontal, distribuyendo de esta manera todas las actividades en la planta baja y generando conexiones entre las diferentes actividades.

Para acceder al recinto cuento con la carretera que funciona como entrada, aunque posteriormente los vehículos destinados al desplazamiento por las diferentes áreas del proyecto crearán un camino diferente el cual irá conectando todas las áreas y entradas.

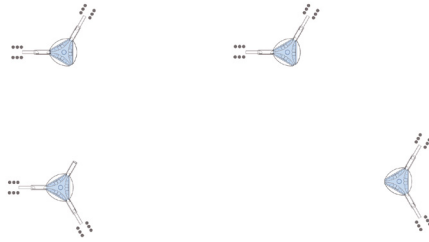
Como se aprecia en la imagen de la planta baja, en la parte inferior tengo una masa de árboles ya existentes en el entorno, por este motivo, si se produce una expansión futura del proyecto deberá hacerse aprovechando la explanada que se encuentra en la parte de la izquierda, desprovista de arbolado.

Las entradas se convierten, además, en un laboratorio al aire libre que podrá ser usado por la tripulación bajo las normas de una EVA, es decir, haciendo uso de trajes de astronautas.

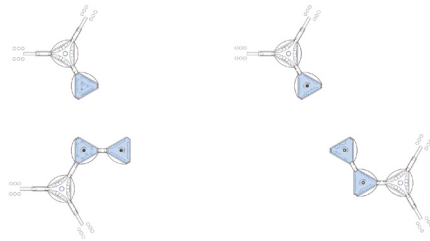
Figura 16: Planta baja del proyecto.



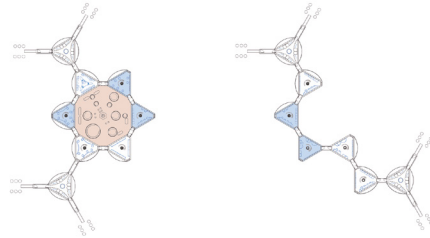
1. Módulos EVA (Actividad Extravehicular)



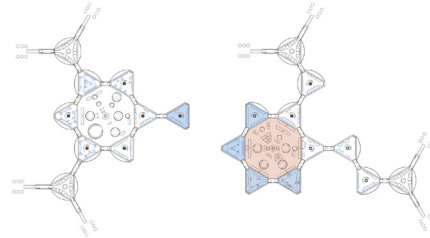
2. Módulos soporte



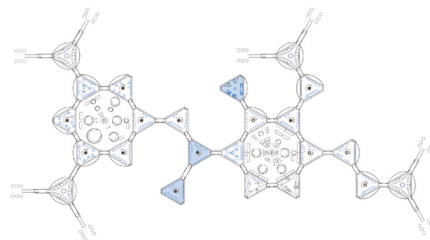
3. Se conforma el primero módulo vegetal



4. Se conforma el segundo módulo vegetal



5. Unión de los dos hábitat



6. Ampliación

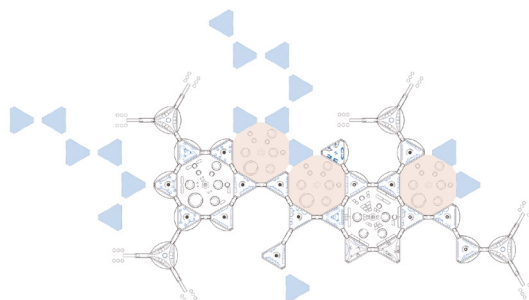


Figura 17: Fases de construcción.

Para entender mejor cuales son las áreas y las actividades que nos encontramos en el interior, se van a explicar las fases de construcción (figura 17):

1. Se empieza mediante los módulos destinados a la EVA de salida/entrada.
2. Seguidamente se incorpora el módulo anexo al de la EVA, los módulos de soporte. Primeras viviendas y zonas de trabajo.
3. Se cierran los módulos creando así el espacio central del módulo vegetal. Espacio de interés no solo científico y de trabajo, sino de ocio y producción de alimentos.
4. Se forma el segundo módulo vegetal y la otra área sigue creciendo mediante los vértices que quedan libres.
5. Se unen las dos áreas del hábitat, creando uno de mayores dimensiones.
6. Sigue el crecimiento del hábitat por medio de los vértices que quedan libres y no corresponden a los de salida/entrada.

Se explican los diferentes ambientes que hay en el interior, que reúnen también las actividades que se van a realizar:

Planta baja

La conexión de todo el hábitat se realiza por medio de la planta baja. De esta manera cuenta con los espacios destinados a un uso público.

La parte central que se genera gracias a la conexión de los módulos es destinada como centro de producción de vegetación, así como de espacio público cerrado con una cubierta textil.

Módulo de salida EVA (MSE)

Se usa para realizar la actividad extravehicular. Debido a sus características del túnel de salida, no se podrá nunca formar un módulo de vegetación cerrado. Esto hace que los módulos anexos requieran de un textil que proteja la fachada.

Módulo cocina-comedor (MCC)

Se trata de una cocina de uso público por parte de los usuarios. Está situado cerca de las áreas de trabajo ya que se hará uso de ella de manera especial durante las horas laborales.

Módulo clínica médica (MCM)

Espacio dedicado al tratamiento de enfermedades surgidas durante la estancia y a la realización de controles médicos para poder efectuar un análisis tras la estancia.

Módulo vegetación (Mve)

Creado gracias a la conexión entre los diferentes módulos. Estará destinado al cultivo de hortalizas y vegetales por medio de la hidroponía. Se destinará un espacio para el cultivo en el terreno de Riotinto, probando así el uso de un pH ácido en el cultivo. Este módulo podrá ser usado a la inversa, los tubos destinados a descanso, con una altura mayor e iluminados.

Módulo túnel y rampa de EVA

Destinado a la salida de los astronautas para hacer los diferentes ensayos en el terreno. Están dirigidos hacia las áreas de trabajo.

Planta primera

En esta planta se mezclan los espacios públicos y privados.

Se encuentran las viviendas de uso individual, así como las viviendas destinadas a un núcleo familiar. Las torres de 4 plantas cuentan en esta altura con un área semi público accesible mediante otro módulo.

Módulo laboratorio seco (MLS)

Laboratorio equipado con equipos informáticos y técnicos. Serán salas limpias donde se harán análisis y procesos de alimentación a partir de células. Este módulo puede ser variado. Se encuentra en la planta baja y planta primera. También lo encontramos en la planta baja.

Módulo de Taller (MTt)

Área dedicada al uso de robots para generar módulos interiores de habitación y herramientas para el uso cotidiano. Necesita de una doble altura para el correcto funcionamiento de todas las máquinas de su interior. Al ser un módulo de doble altura también se encuentra en la planta baja.

Módulo descanso (MDd)

El módulo de descanso cuenta con un espacio dedicado al reposo durante la jornada laboral. Será usado por los usuarios en forma de espacio de creación, socialización o si alguien lo requiera, para tumbarse. Podemos encontrarlo en planta baja.

Planta segunda

Varios módulos solo cuentan con dos alturas dado su uso. A partir de la planta segunda encontramos viviendas de uso privado y espacios, como el laboratorio, que requieren una altura mayor debido a que está destinado para una cantidad de gente mayor, la afluencia será mayor aquí.

Módulo gimnasio (MGg)

Este espacio estará dedicado al cuidado de la salud por medio del deporte. Podrá situarse en la parte superior de un módulo de descanso o formar un módulo individual. Estará equipado con equipo deportivo y tendrá baños públicos.

Planta tercera

Esta planta está destinada de manera exclusiva a las viviendas de las torres de 4 alturas. Los espacios serán destinados a viviendas para un núcleo familiar.

Módulo laboratorio húmedo (MLH)

Destinado a los experimentos que requieran de sustancias que pueden ser peligrosas. El módulo puede ser variable. Se encuentra en la última planta de los laboratorios.

Módulos de vivienda (figura 18, en la siguiente página)

Los módulos de vivienda cuentan en su parte central con un tubo vegetal en el que en su interior se encuentra un sistema de agua potable, que permite al módulo ser independiente en caso de fallo de los demás módulos. Las viviendas privadas se distribuyen en planta en dos o tres viviendas las cuales están compuestas en su interior por una cama que funciona como mueble, guardando en su interior unas sillas y mesa que se pueden ocultar si la ocasión lo requiere, una ventana privada, baño equipado con ducha privada e inodoro químico. Los tabiques que separan las habitaciones del área común se montan una vez el suelo esté colocado, siendo todo un trabajo modular.

Módulo de vivienda T1 (MT1)

Vivienda destinada a un núcleo familiar. Hay dos versiones, la primera cuenta con dos alturas, en la parte inferior encontramos una cocina compacta y unos sofás de descanso que se convierten en un espacio compartido con el resto de los usuarios. En la parte superior se encuentra la vivienda con un baño privado. Se mantiene la privacidad gracias al cerramiento de la escalera. La segunda versión es la vivienda que ocupa una planta entera en la parte superior de un módulo con viviendas diferentes en la parte inferior.

Módulo de vivienda T3 (MT3)

Esta tipología se encuentra en las plantas en las que se encuentra una planta con dos viviendas privadas y una vivienda unifamiliar en la parte superior. Las dos viviendas en la parte inferior se deben a que existe una conexión en altura de dos módulos, dejando una arteria libre para este uso.

Módulo de vivienda T4 (MT4)

Vivienda destinada a tres usuarios y a un núcleo familiar en la parte superior. La parte inferior contará con una cocina compacta, al igual que el módulo MT1).

En la parte superior se encontrará una vivienda familiar.

Las viviendas individuales se encuentran en la parte inferior ocupando una planta entera. Cuentan con baño completo y con un módulo de cama-mueble destinado a ser el único mobiliario que haya en el interior de las habitaciones.

Módulo de vivienda T5 (MT5)

Vivienda destinada en su primera planta a dos viviendas de uso individual y en la parte superior a tres viviendas de uso individual.

Módulo de vivienda T6 (MT6)

Vivienda en altura, en la parte inferior cuenta con un espacio público destinado a la cocina y el comedor. En la planta primera encontramos un espacio semi público debido a que tenemos dos habitaciones individuales y un gimnasio pequeño que está conectado con la planta primera de otro módulo.

En la parte superior encontramos tres viviendas individuales y por último en la parte superior encontramos una vivienda unifamiliar.

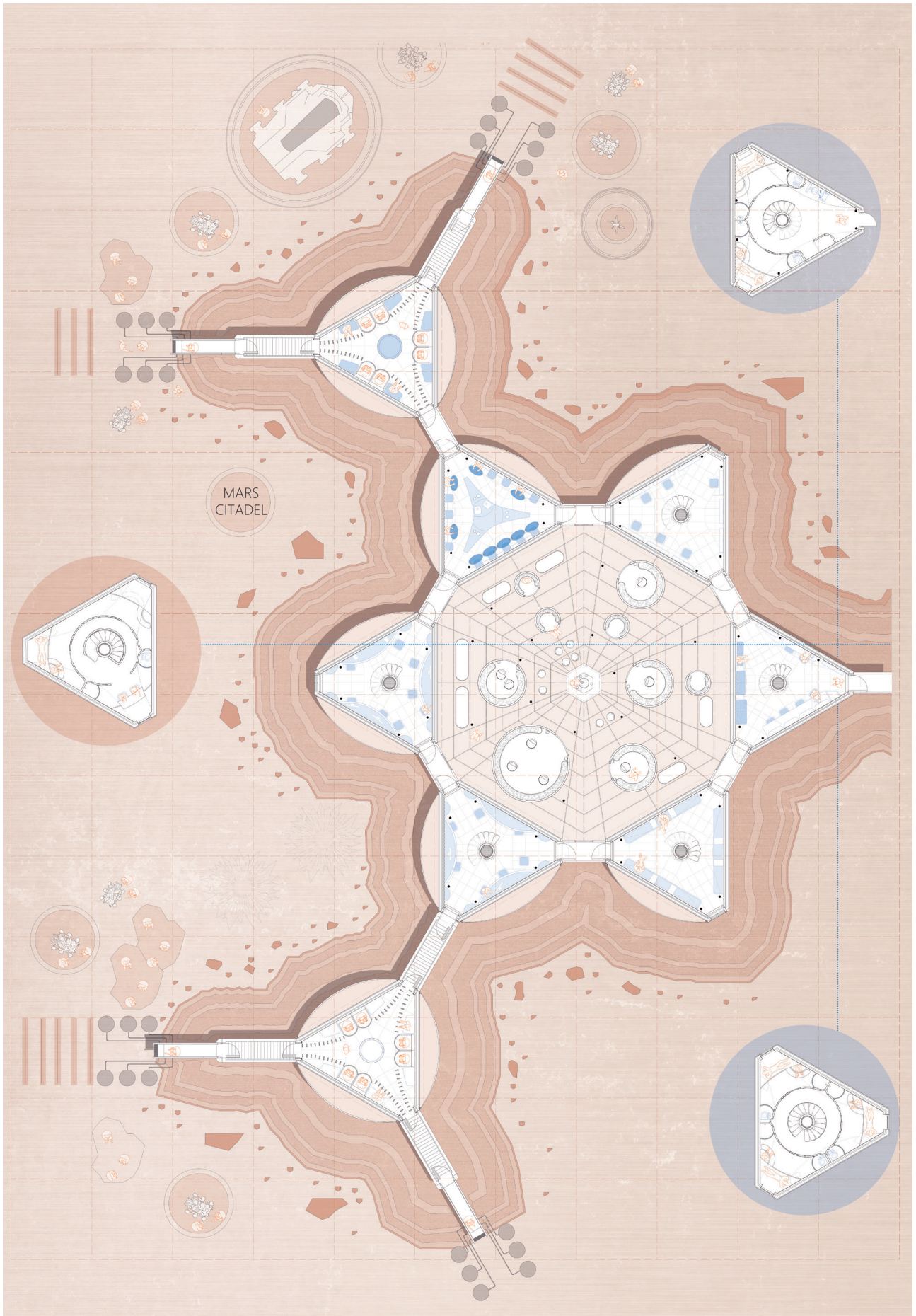


Figura 18: Vista ampliada de la planta baja.

4.3 El proyecto. El módulo variable (figuras 19 y 20)

Módulo 1: Inferior-Entrada-Conexión (IEC)

El módulo inicial está destinado a acoger los espacios públicos del hábitat. Es el primer módulo en colocarse. Permite la conexión directa entre los diferentes módulos. Cuenta en sus lados cortos con puertas. La luz entra por los muros de los lados largos. Dimensiones: 42 m². Lado pequeño 1,40 m. Lado largo 7,30 m. Altura: 3.40 metros.

Módulo 2: Superior-Cerrado-Cubierta (SCC)

El módulo superior cerrado está destinado para acoger una doble altura o un cerramiento de una superposición de módulos, es decir, la cubierta. Cuenta con la característica de que la estructura no cuenta con ventanas. Por esto estará destinado a espacios que tengan un carácter privado o especial. Dimensiones: 42 m². Lado pequeño 1,40 m. Lado largo 7,30 m. Altura: 3.40 metros.

Módulo 3: Superior-Abierto-Cubierta (SAC)

El módulo superior abierto está destinado para cerramientos de doble altura o como cerramiento superior, cubierta. Está compuesto por tres ventanas en sus vértices, que darán luz a las estancias que acoja en su interior. Dimensiones: 42 m². Lado pequeño 1,40 m. Lado largo 7,30 m. Altura: 3.40 metros.

Módulo 4: Central-Abierto-Vivienda (CAV)

El módulo central está compuesto por forjado y por 3 ventanas en sus vértices que podrán usarse como ventana de una vivienda o como puerta de conexión en altura de dos módulos. Su forma permite crecer en altura al hábitat, pudiendo generar más espacio de manera vertical. Dimensiones: 50 m². Lado pequeño 1,60 m. Lado largo 8 m. Altura: 3.60 metros.

Módulo 5: Superior-Abierto-Vivienda (SAV)

El módulo superior con forjado permite únicamente crear un espacio cerrado destinado a un uso variado. Está compuesto por tres ventanas, permitiendo así la entrada de luz en sus estancias. Este será usado cuando necesite generar más espacios en altura, cerrando el módulo CAV o el IEC. Dimensiones: 50 m². Lado pequeño 1,60 m. Lado largo 8 m. Altura: 3.60 metros.

Módulo 6: Superior-Abierto-Vivienda-mixto (SAVm)

El módulo superior abierto está destinado para un uso igual al módulo SAV. Está compuesto por dos o una ventana en sus vértices y uno o dos espacios de estructura cerrados. Estará destinado a un uso mixto o con características especiales que acoja espacio público y privado. Dimensiones: 50 m². Lado pequeño 1,60 m. Lado largo 8 m. Altura: 3.60 metros.

Estos módulos podrán combinarse siguiendo siempre el sistema constructivo de: módulo en la base (IEC), módulo central o módulo de cerramiento, y cerramiento final en el caso de tener un módulo central.

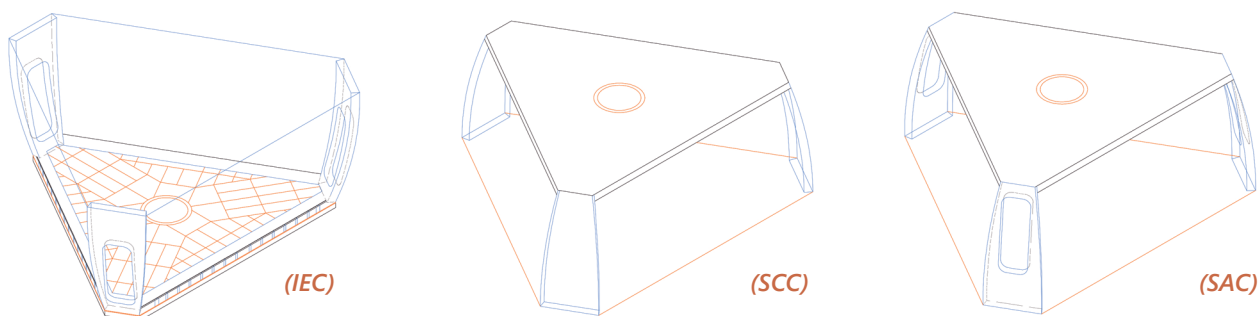


Figura 19: Tipos de módulos.

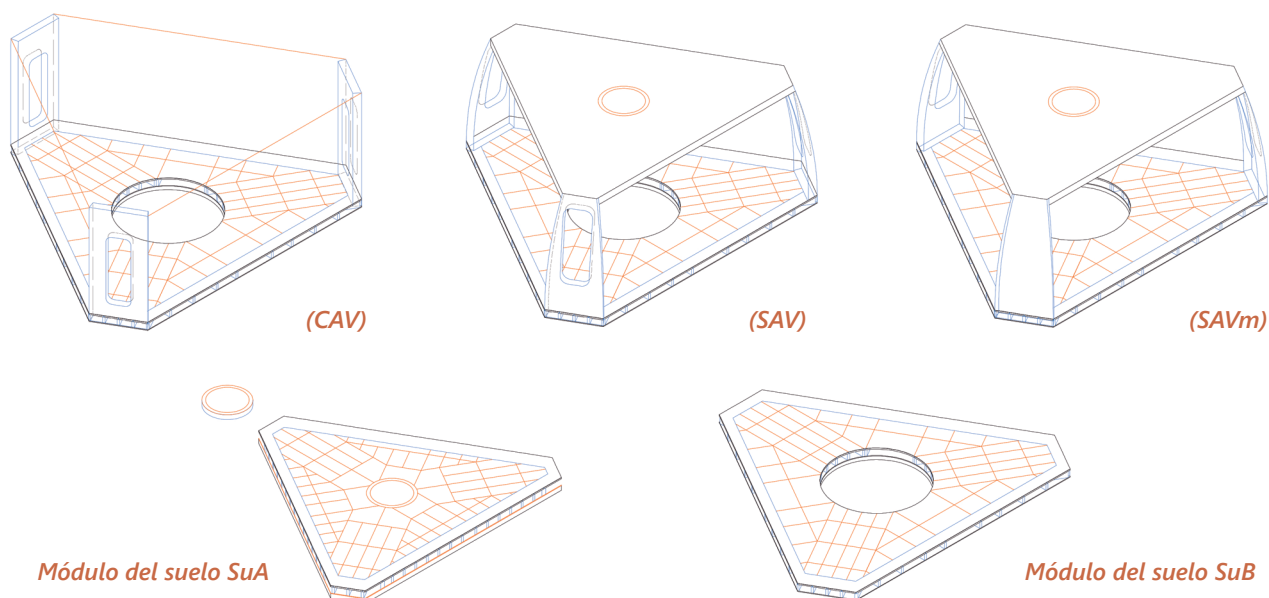


Figura 20: Tipos de módulos.

Módulos IEC+SCC o SAC

Espacios destinados: Preparación para E.V.A. (Actividad extravehicular), Espacios comunes como cocina o áreas de descanso o espacios que requieran de una altura libre mayor, como el taller.

Módulos IEC+SAV o SAVm

Espacios destinados: La zona inferior es el espacio público, la parte superior cuenta con vivienda de uso familiar, un núcleo de familia o para espacios destinados al uso público como gimnasio o espacios de descanso.

Módulos IEC+CAV+SAV o SAVm

Espacios destinados: La zona inferior se compone por la zona pública, como cocinas o descanso público. La zona intermedia cuenta con habitaciones de uso individual con aseos privados. La zona superior está compuesta por una vivienda o un espacio privado del módulo, de uso exclusivo para los residentes del módulo. Esta composición de módulos puede usarse para los laboratorios.

Módulos IEC+CAV+CAV+SAV o SAVm

Espacios destinados: La zona inferior se compone por la zona pública, como cocinas o descanso público. Las zonas intermedias cuentan con habitaciones de uso individual con aseos privados. La zona superior está compuesta por una vivienda o un espacio privado del módulo, de uso exclusivo para los residentes del hábitat. En estos hábitats el primer módulo CAV puede ser de uso mixto, tanto privado como público.

Módulo del suelo SuA

Suelo planta baja, con estructura de aluminio y con equipación para instalaciones.

Módulo del suelo SuB

Suelo planta primera + segunda, con estructura de aluminio y con equipación para instalaciones.

5.1 Construcción. Catálogo de objetos interiores y pieles del módulo

El módulo está compuesto por un conjunto de pieles, las cuales tienen como función proteger al hábitat del clima extremo.

Se hace un estudio de un prototipo del módulo CAV, en el que nos encontramos con las capas siguientes (figura 21):

De arriba a abajo.

1. Cierre de las piezas de tal manera que no queden al descubierto. Se trata de una pieza fina de aluminio.
2. Sistema de encaje de dos piezas del módulo, siguiendo un estilo tipo ensamblado de piezas, machihembrado. La pieza que esté en la parte superior tendrá este mismo sistema en su base.
3. Suelo del hábitat, el cual se puede desmontar por piezas y volver a colocar de manera manual en caso de avería.
4. Estructura de soporte del módulo y el suelo por el que discurren las instalaciones. Realizado en aluminio, proporcionando así un peso menor.
5. Placa fija la cual hará de techo en el módulo inferior.
6. Segunda placa fija, con función de techo. Ninguna de las instalaciones tiene operaciones en la parte de la cubierta, ya que todo trascurre por la base del módulo.

Suelo tipo: Suelo IEC, en contacto con el terreno (figura 22):

De arriba a abajo

1. Suelo final mediante placas desmontables que se colocan tras el asentamiento del módulo.
2. Estructura del suelo compuesta por aluminio y realizada de manera que encaje con las placas del suelo.
3. Placa fija sobre la que descansa la estructura del suelo
4. Placa fija sobre la que se reparten las cargas de la estructura
5. Placa fija que funciona en los pisos superiores como cerramiento superior.
6. En el módulo IEC se necesita una cimentación superficial, sobre ella se depositarán todas las cargas del módulo que posteriormente serán enviadas a la losa y posteriormente al terreno.

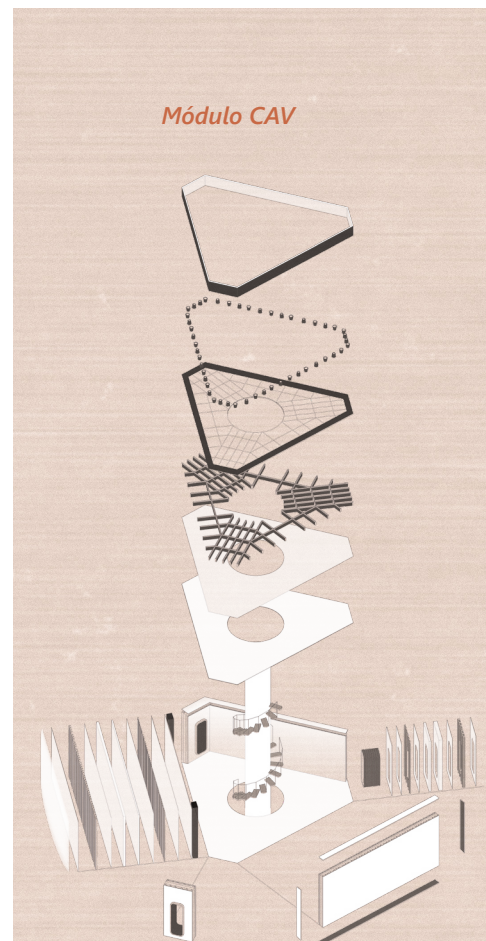


Figura 21: Diferentes capas del módulo.

Suelo módulo IEC



Figura 22: Diferentes capas del suelo.

Por otro lado, tengo el conjunto de los diferentes objetos que integran el módulo y hacen posible su conexión entre ellos se indica de siguiente manera:

1. Tubos de conexión entre módulos que conforman el módulo vegetal, se necesitará una puerta que pueda abrirse y cerrarse de manera manual según las condiciones lo requieran, ya que el módulo podrá variar su uso.

2. Tubos de conexión entre los diferentes módulos, compuestos por aluminio y un conjunto de cerraduras para formar un espacio estanco, necesario en el espacio debido a la diferencia de presiones.

3. Ventanas del módulo SCC y SAC en el que se le puede aplicar un accesorio, indicado en blanco para sentarse, siendo este extraíble de tal manera que se permite variar el espacio interior y la ventana, sirviendo como mobiliario del módulo.

4. Ventanas del módulo CAV en el que se le puede aplicar un accesorio, indicado en blanco para sentarse, siendo este extraíble de tal manera que se permite variar el espacio interior y la ventana, sirviendo como mobiliario del módulo.

5. Rampa extraíble y con posibilidad de compactarse de las salidas EVA Se acopla al módulo de las puertas mediante un aro, el cual está diseñado para esto.

6. Puertas de entrada a los tubos de conexión de las diferentes estancias. Formada por dos piezas, la puerta expuesta a radiación cuando no haya módulo conector y el módulo de encaje, que se acopla a la pieza del módulo.

7. Tubos de salida al exterior. Están conectados con los módulos de EVA. Estos sirven como espacio entre la zona habitable y el exterior, por este motivo las dimensiones son mayores, facilitando la despresurización del tubo y creando el espacio intermedio.

8. Por último explicar el módulo vegetal (figura 24):

El módulo vegetal sirve como espacio en el que se puede respirar entendiendo la palabra de manera subjetiva. Este lugar cuenta con dos alturas, haciendo de él un lugar diáfano y amplio con espacio suficiente para albergar a todos los usuarios. Los tubos albergan las plantas, la vegetación siendo estos una entrada de luz directa, la cual siempre se puede regular. Con este mismo concepto de los tubos se forma el otro módulo vegetal, pero a diferencia, los tubos se usan como espacio de reunión social, en el cual tienes una entrada de luz directa y el suelo de estos tubos tiene la posibilidad de recrear espacio en la Tierra, como la arena en el suelo o el agua, pudiendo el usuario desplazarse descalzo en este lugar. La zona central, en la cual se encuentra una fuente la cual funciona como lugar para recoger agua. Este está también abierto, haciendo posible el soleamiento del módulo de manera sutil. Este espacio se usará para descansar, socializar y como generador de algunos recursos vitales.

Los materiales (figura 23) de los que están compuestos los diferentes objetos se describen a continuación.

Las puertas de la planta baja están realizadas mediante un sistema de tres capas, las cuales son aluminio, aislamiento térmico foamglas y aluminio. De esta manera se consigue una capa hermética para evitar la despresurización del espacio interior. Todos los módulos cuentan con una terminación en textil, creando así un espacio interior más cómodo a la hora de estar viviendo. El textil está compuesto de colores neutros, tales como blancos, grises y beige, los cuales, funcionan de manera óptima en un espacio pequeño y cerrado. Los colores cálidos como el naranja se descartan debido a que pueden provocar efectos adversos después de una estancia prolongada en un lugar cerrado. Los módulos que se van agrupando forman un espacio central, el cual al tener dos alturas se convierte en un respiro para las personas que acceden al lugar. Como se puede apreciar, en la fachada exterior existe un textil de tipo Kevlar, el cual se puede desplegar de manera automática, proporcionando una protección mayor frente a posibles factores externos. Este no será necesario desplegarlo de manera continuada sino únicamente cuando sea necesario.

El interior, está compuesto por un suelo estructural realizado en aluminio y el suelo podrá realizarse con un tipo de plástico facilitando su reparación mediante impresoras 3D del taller en caso de rotura.



Figura 23: Diferentes materiales.

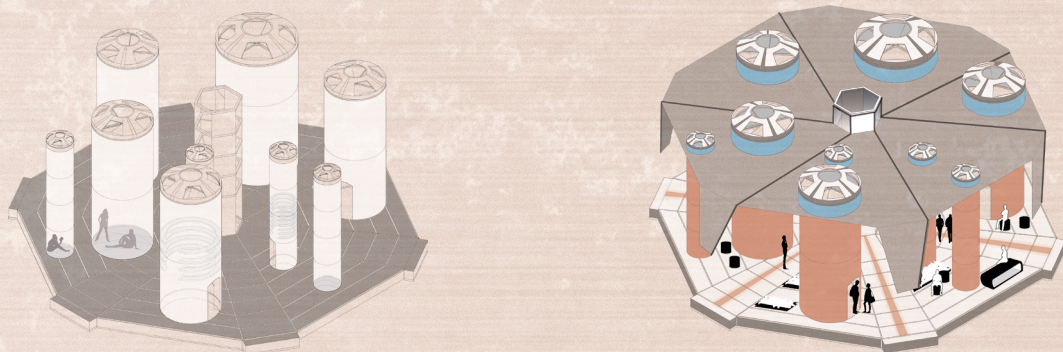


Figura 24: Módulo vegetal. La primera imagen se muestra el tubo con la opción vegetal y la social. La segunda imagen se muestra con la cubierta.

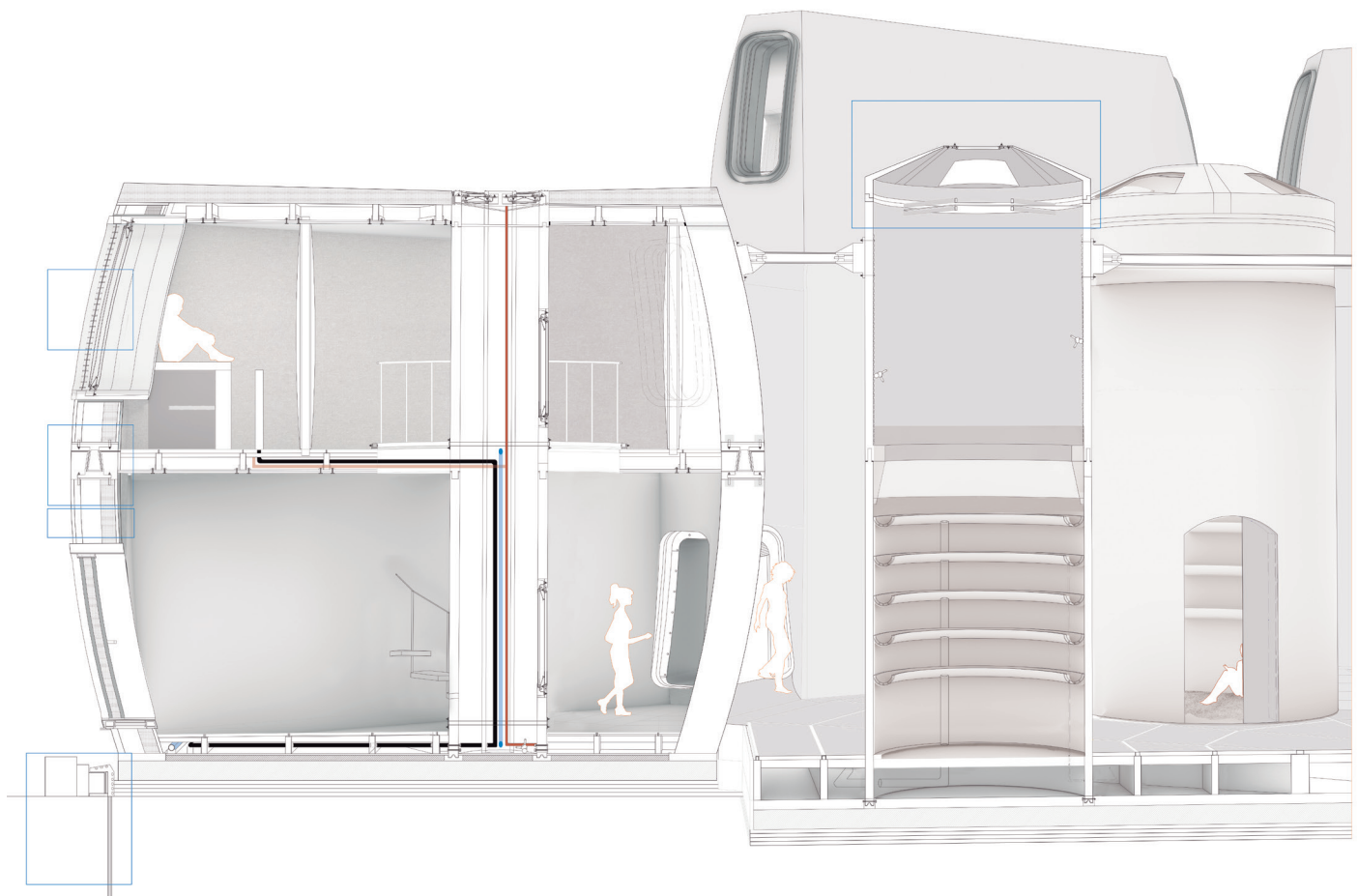


Figura 25: Sección constructiva del hábitat.

5.2 Construcción. Construcción del hábitat

La construcción (figura 25) de los distintos módulos se hace de manera que las piezas vayan encajando unas con otras. Todo funciona en el interior de manera modular, pues facilita la construcción de manera rápida y sin necesidad de ser experto en la materia. De esta manera, los usuarios podrán reparar, sustituir y montar de manera individual los diferentes elementos del interior.

1. Fachada

Está compuesta por varias capas para evitar la entrada de radiación. Este sistema de superposición de capas se une mediante una compactación caliente al vacío.

Composición de la Fachada (figura 26).

- 1- Textil fachada de uso opcional en caso de una protección mayor de la fachada. Textil tipo Kevlar (con espuma de polímero de vinilo).
- 2- Placa de aluminio de 2 mm.
- 3- Chapa grecada de aluminio de 80 mm.
- 4- Placa de aluminio de 0.8 mm.
- 5- Cerámica de 0.25 m.
- 6- Aislamiento Térmico tipo foamglas 0.18 m.
- 7- Placa de aluminio de 0.8 mm.
- 8- Chapa grecada de aluminio de 36 mm.
- 9- Placa de aluminio 0.8 mm.
- 10- Estructura aluminio.
- 11- Chapa de acabado 10 mm.
- 12- Acabado textil.

2. Ventana del módulo vegetal (figura 27).

Está compuesta por 4 ventanas en el lateral y una ventana superior, las cuales permiten obtener la máxima luz.

La estructura compuesta con un sistema de cierre en forma circular, la cual permite controlar la cantidad de luz necesaria en el momento de su uso. Se construye mediante machihembrado, encajando piezas por medio de un sistema apoyado por un robot que hace las labores en la parte superior a la que no se puede acceder.

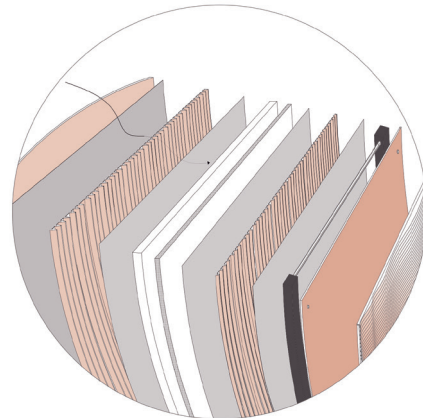


Figura 26: Diferentes capas de la fachada.

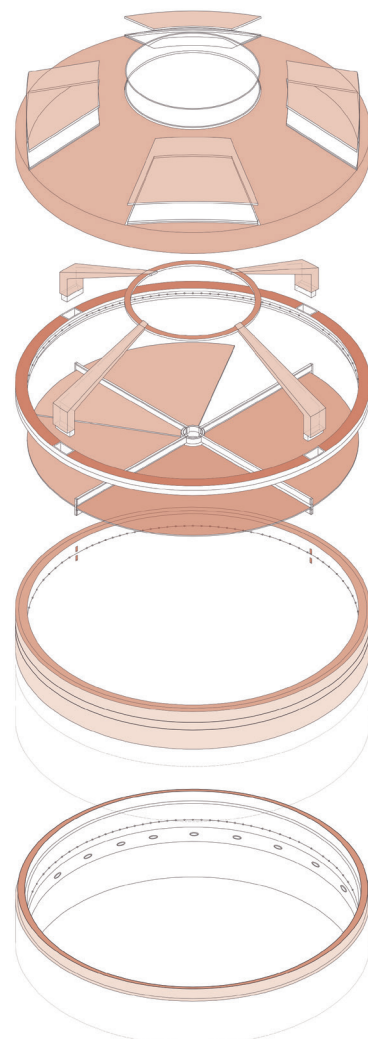


Figura 27: Detalle de los tubos del módulo vegetal.

3. Unión entre módulos (figura 28).

La unión de dos módulos se realiza mediante un machihembrado de piezas situadas en el perímetro de la fachada, en la parte superior o inferior del módulo.

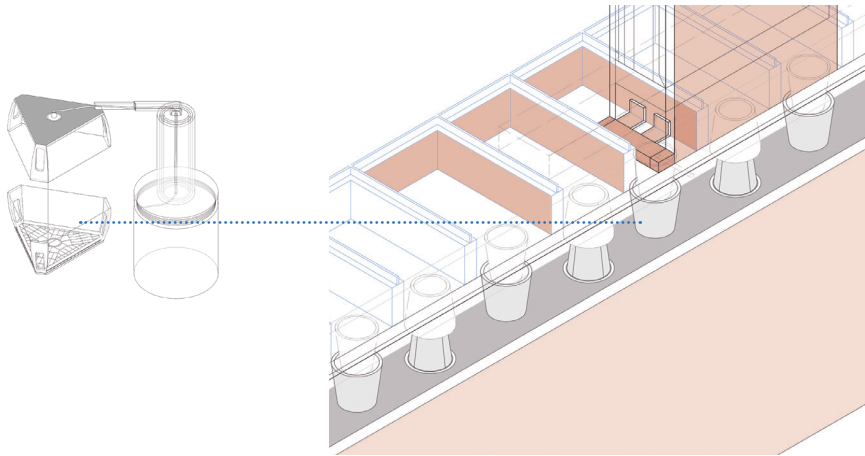


Figura 28: Detalle de la unión entre módulos.

4. Ventanas (figura 29).

Las ventanas están compuestas por varias capas, las cuales tienen como función proteger de posibles fugas por la diferencia de presiones y por la diferencia de temperatura que hay en la superficie marciana.

Composición:

- 1- Protección policarbonato.
- 2- Cinta.
- 3- Retenedor fibra vidrio.
- 4- Junta silicona.
- 5- Marco de ventana.
- 6- Tornillo.
- 7- Junta silicona.
- 8- Vidrio interior.
- 9- Vidrio exterior.

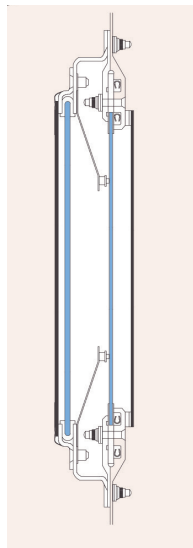


Figura 29: Detalle de la ventana.

La cinta ayuda a que la pieza apoye de la mejor manera, evitando crear espacios donde se filtre el aire dado que en Marte sería un error fatal debido a la diferencia de presión.

5. Cubierta.

La cubierta está compuesta por composite de placa entera de cerámicas usadas también para la fachada. Debido a que el proyecto está ubicado en la Tierra, es necesario la recogida de aguas cuando llueva y por este motivo tiene una inclinación del 1 %.

6. Zona central escaleras.

Las escaleras no solo sirven para desplazarse a las estancias superiores, sino que alberga en su interior las instalaciones. Los peldaños de las escaleras funcionan mediante acople en la zona central ya que existe un agujero para su puesta.

7. Suelo (figura 30).

El suelo es uno de los elementos más importantes del módulo debido a que me permite el poder pasar instalaciones por él, la estabilidad en la estructura y la posibilidad de que las piezas que lo componen puedan ser reparadas de manera sencilla.

Está compuesto por aluminio, de esta manera su peso se reduce y facilita su transporte.

8. Cimentación (figura 31).

La cimentación está realizada para suelos con propiedades mecánicas diferentes.

Funcionamiento:

1. Se disponen unos perfiles en la superficie de lo que será el módulo. Se deja un espacio mayor para que este sólo apoye en la cimentación terminada.

2. Una vez se ha compactado el terreno, se imprimen en 3D cuatro capas de un polímero resistente a químicos debido al pH del terreno. Esto funcionará como una losa.

3. Las capas se imprimirán de fuera a dentro, dejando entre ellas una junta que se rellenará una vez terminado el volumen total para no distorsionar el volumen final.

4. Mediante el sistema de anclaje (en azul), se eliminarán las fuerzas de flexión de la losa debido al peso del hábitat (figura 31).

5. El hábitat se apoya sobre este elemento.

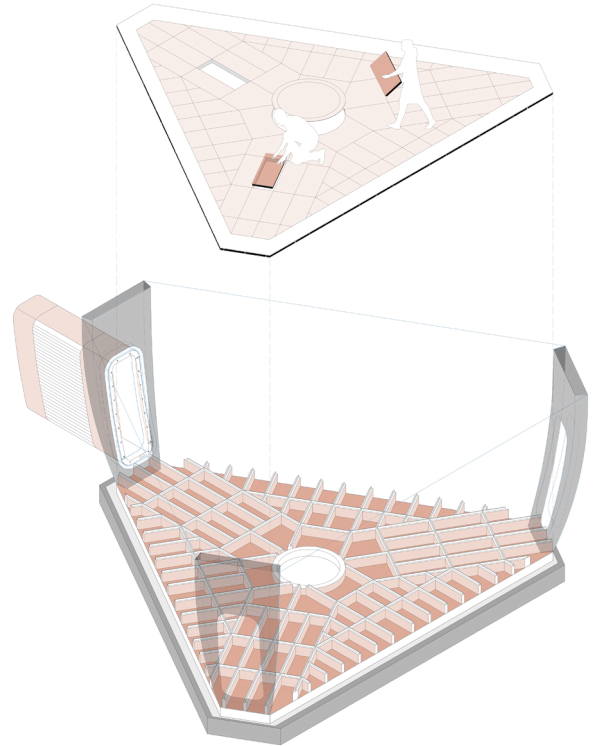


Figura 30: Detalle del suelo del módulo

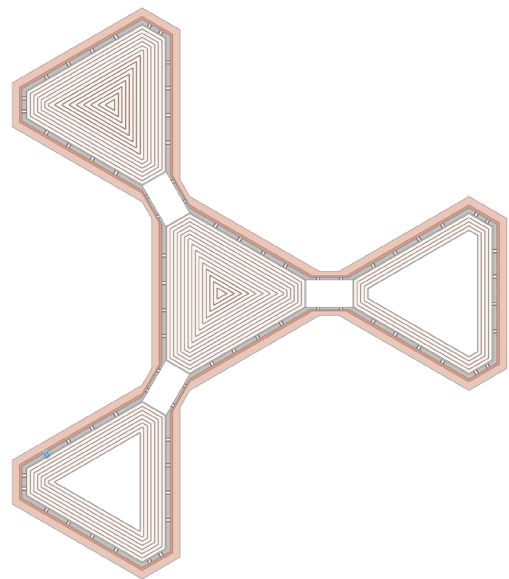


Figura 31: Detalle de la cimentación.

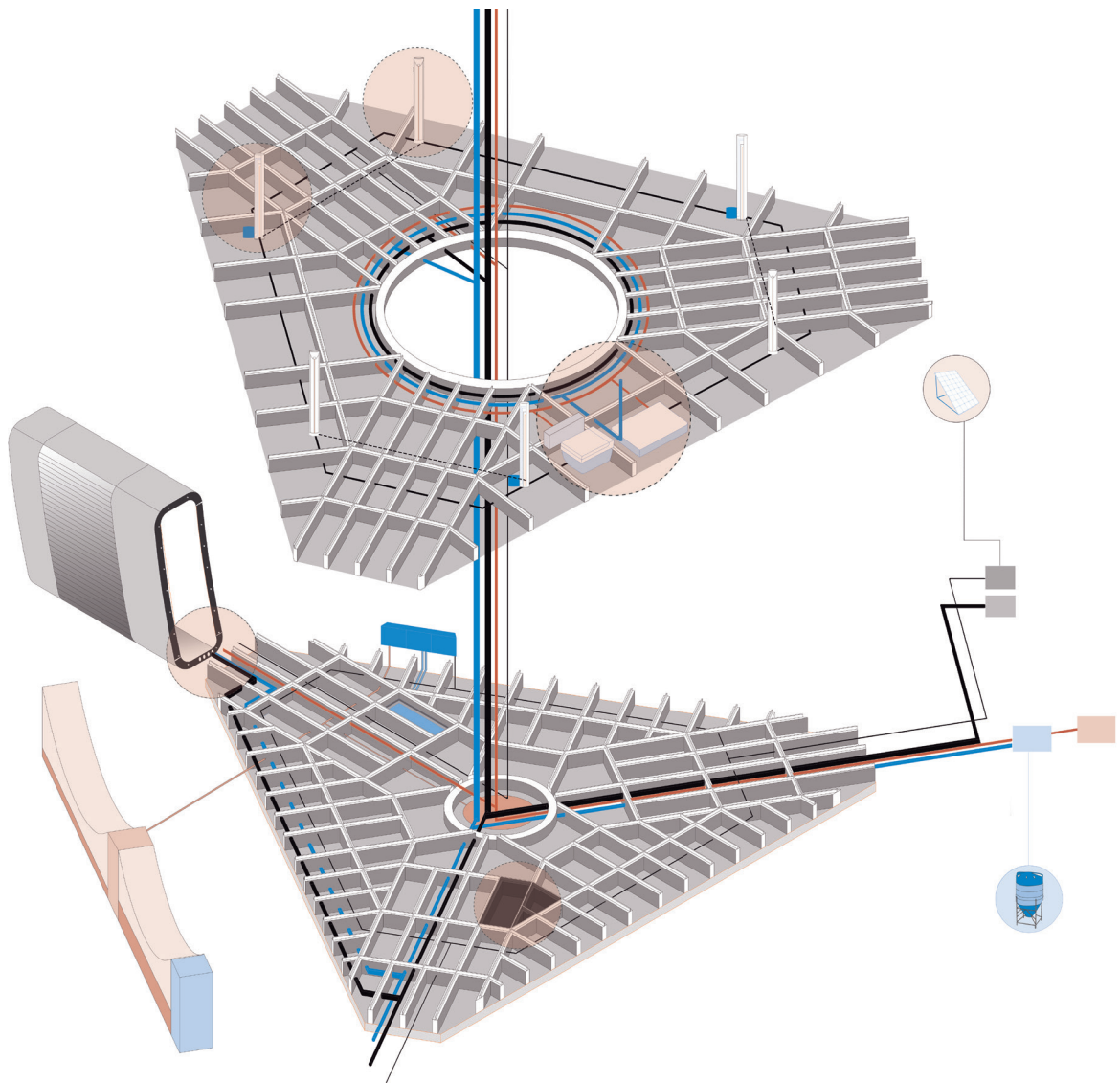


Figura 32: Detalle del funcionamiento de las instalaciones.

5.3 Construcción. Instalaciones

Las instalaciones (figura 32) funcionan mediante un reciclaje continuo de todo aquello que entre en el hábitat. De tal manera, se necesitará un sistema de tuberías internas, las cuales darán provisión al espacio, siempre dejando la posibilidad de que un módulo funcione de manera independiente en caso de avería del sistema central o por otro motivo ajeno. El sistema de tuberías interior está conectado por medio de tuberías flexibles que se acoplan a los módulos mediante la brida de conexión asme 15.6 "Weld Neck Flange". dando así continuidad a las instalaciones.

El módulo cuenta con varios sistemas, los cuales van a ser explicados a continuación:

Sistema central, recorrido de salida:

1. Sistema de distribución del agua en el hábitat: Recorrido- Depósito de agua central - Depósito de agua secundario - Entrada al módulo.
2. Sistema de salida de desechos líquidos del hábitat: Recorrido- Salida del inodoro del desecho líquido - tratamiento en la vivienda - reutilización para plantas no comestibles.
3. Sistema de generador de electricidad: Recorrido- Parque de paneles solares - Depósito inicial - Depósito secundario- distribución en el hábitat.
4. Sistema de generador de oxígeno: Recorrido- Módulo vegetal - Generador de oxígeno - depósito de oxígeno en los módulos exteriores del hábitat - Distribución en el módulo.

Sistema central en el interior del módulo:

1. El sistema de agua llegará al inodoro y a la ducha. Así como al sistema de humidificador. Para consumir el agua, habrá en la parte inferior del módulo, varios puntos en la zona de la cocina donde se puede obtener agua potable.
 2. El sistema de salida de desechos líquidos se encuentra en el inodoro, la cocina y la ducha. El desecho deberá ser líquido para poder hacer un reciclaje de este en los depósitos que hay a la salida mediante un proceso químico. En la ducha, se hará uso de un jabón especial, el cual no causa daño en las plantas si se usase después y facilita posteriormente su reciclaje. El desecho sólido será acumulado y en un compartimento del inodoro, el cual mediante un proceso químico se disolverá y podrá usarse posteriormente como abono en plantas no comestibles.
- La recogida de aguas pluviales se recoge y se filtra para su uso posterior.

3. Electricidad en el módulo: Lámpara y conexión a la electricidad en las habitaciones.

Las habitaciones cuentan con dos cilindros que son en realidad un generador de energía, humidificador y lámpara-conexión a corriente para cargar aparatos.

El poste 1 es únicamente una lámpara la cual se puede desplazar por la habitación, necesita solo un punto eléctrico. Esta es resistente al agua para poder ser usada en el baño.

El poste 2 es un humidificador. Necesita un punto de conexión eléctrica, un pequeño depósito de agua y la salida del vapor de agua. El vapor de agua está conectado a una pequeña turbina, la cual genera electricidad para el poste 1 en caso de que el sistema principal colapse.

Esta se usará también para los sistemas automáticos y los electrodomésticos que se podrán encontrar en la cocina, los cuales necesitan un punto de electricidad. Para el taller o los laboratorios, debido a los aparatos eléctricos también se necesitará hacer uso de esta. Debido a que el uso eléctrico es esencial a lo largo de todo el hábitat, se encontrará en los módulos varios puntos de conexión.

4. El sistema de oxígeno se genera en los módulos vegetales, y es que por medio de las plantas que ahí se encuentran se genera una cantidad de oxígeno, la cual se recolecta mediante unos filtros y es enviada a un depósito, el cual distribuirá posteriormente este en los módulos diferentes. El CO₂ será recogido también en el módulo y enviado al módulo vegetal, donde se cerrará el proceso.

Todas las instalaciones del edificio se encuentran bajo este suelo, el cual también funciona como estructura. Las instalaciones recorren así todo el hábitat.

En la parte central del edificio se encuentran las escaleras, las cuales no solamente funcionan para poder subir a las viviendas sino como distribución de instalaciones hacia la zona superior.

Para poder realizar este recorrido las instalaciones necesitan tener una bomba pequeña, la cual se encuentra en los depósitos de reserva del hábitat, en la entrada.

Existe también un sistema de calefacción:

Sistema de calefacción mediante suelo radiante el cual se activa por un sensor cuando todas las piezas se encuentran en su lugar.

La otra opción de calefacción es mediante el humidificador, calentando el aire. Sistema de suelo radiante simple mediante un sistema de sensores el cual se activa, en el suelo. El suelo en el que se encuentra el depósito de agua no cuenta con calefacción, únicamente con sistemas de sensores.

Ahora bien, que pasaría si hay un fallo en el sistema central o un módulo. El humidificador hará el trabajo de un sistema soporte, el cual encenderá un sistema de emergencia que dará soporte durante un tiempo prolongado.

Algo importante en los módulos es el humidificador, para este se necesita una conexión a un punto eléctrico, un sistema de agua, el cual se acumula en la parte inferior del suelo y se hace un uso siempre del recurso y un vaciado de vapor. Este sistema me da la solución al problema de una avería.

En el caso de producirse una, el sistema activaría una turbina que se encuentra en la parte inferior del sofá con un generador el cual activa todo el sistema.

Planta baja: Se activa el sistema del humidificador, el cual tiene un depósito de agua externo en el módulo. Este hace la función de entrada y salida del agua en el aparato para controlar la humedad. El vapor de agua que genera es llevado por una tubería (naranja) a la parte inferior del mueble, en la que existe una turbina que genera electricidad. Suele haber un pequeño depósito de electricidad para poner a funcionar el sistema.

Planta tipo, primera planta: Se activa el sistema del humidificado pequeño de la habitación, de la misma manera que el generador de la planta baja. Esta vez con un mini depósito en las habitaciones. Conectados los dos cilindros entre ellos para activarse en caso de emergencia.



Figura 33: Interior de un tipo de módulo de vivienda.



Figura 34: Imagen del antes y el después.

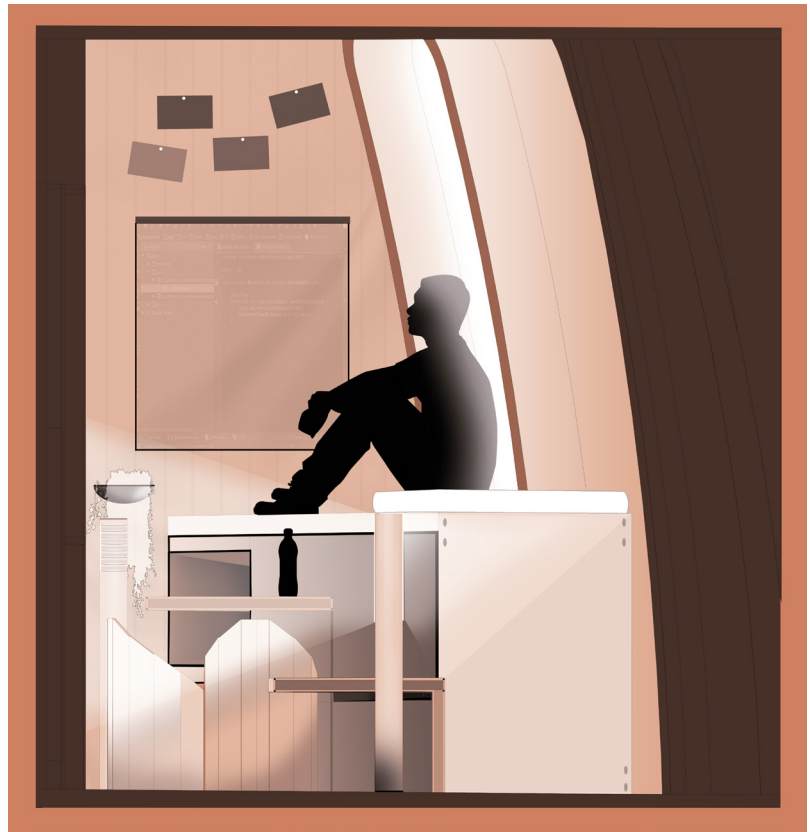
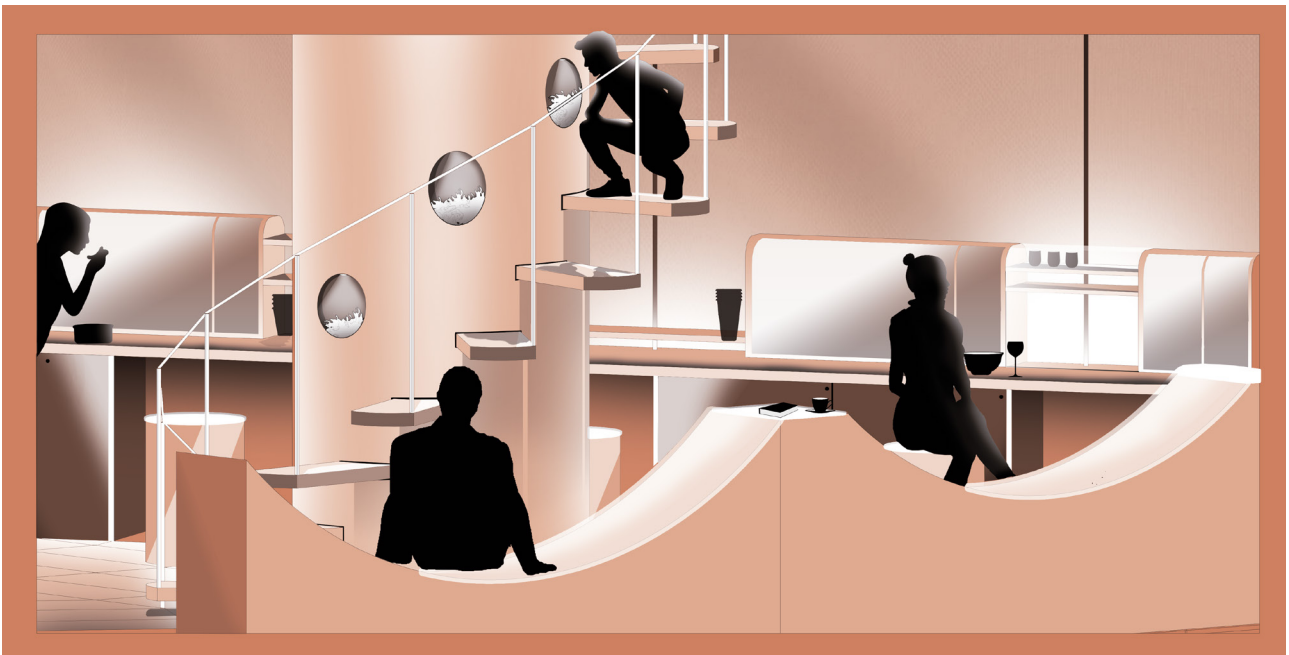


Figura 35: Imagen del interior de una habitación.

Figura 36: Imagen del interior de la planta baja del módulo de vivienda.



6. Conclusión

La primera idea de realizar un proyecto sobre un hábitat marciano resulta realmente interesante a la hora de escoger un proyecto de arquitectura, pero haciendo el proyecto me he dado cuenta de lo fácil que puede llegar a ser caer en la narrativa del hábitat espacial que se construye inflándolo. Quizás, lo más complicado es salirse del discurso del espacio hinchable y buscar qué otras posibilidades existen para construir en un espacio que a simple vista podría parecer imposible. Ha sido un proceso realmente interesante, aprendiendo no sólo sobre las posibilidades de vida en Marte, sino sobre nuevos sistemas constructivos y el uso de materiales muy específicos.

El trabajo me ha enseñado a buscar en fuentes científicas para verificar que lo que proponía se podía realizar.

La parte del proceso que me ha parecido más fascinante es el momento en el que tienes que imaginar un hábitat para un sitio que no es la Tierra. Esto conlleva el diseño previo condicionado a un cohete que debe transportar el módulo, las dimensiones, las formas de vivir en el interior que tenga el menor riesgo posible, las dimensiones debido a la gravedad y el sistema constructivo, que debe adaptarse a los condicionantes que tengo, entre otros tantos.

He entendido cómo el entorno, se convierte en tu zona de trabajo, pero también en tu enemigo si algo sale mal, una rivalidad interesante. Gracias a todo el estudio y queriendo plantear un hábitat en el que no fuese necesario salir para ir a otro módulo, sino que todo estuviese conectado he podido aprender a interpretar el espacio como una cápsula gigante en la que se deben desarrollar unas actividades muy específicas. Ha sido un proceso que he disfrutado bastante.

Los proyectos que existen actualmente sobre arquitectura en el espacio, en su gran mayoría, se han realizado mediante un equipo interdisciplinar de ingenieros y astronautas. Realizando el proyecto he visto que enfrentarse a la construcción y materialización es todo un reto, dado que tienes que pensar como un arquitecto y como un ingeniero a la vez, dando soluciones que no sólo funcionen en la Tierra sino en Marte o en la Luna. Antes de empezar a plantear las primeras ideas de este trabajo no era consciente de toda la parte previa de investigación que requiere un proyecto de este estilo, la cual me ha servido para ponerme en contacto con astronautas e ingenieros especializados en el tema.

7. Prospectiva

Habiendo terminado el proyecto y continuando mi TFG *Cosmos de la Vkhutemas a la Soyuz: la arquitectura de las cápsulas espaciales rusas*, quiero centrar mi carrera profesional como arquitecta en esta materia, ya sea por medio de la investigación o realizando un doctorado sobre el tema. Actualmente y gracias a las empresas privada se está volviendo a vivir la fiebre del espacio, con grandes avances, que en un futuro podrán dar respuesta al sueño de poder vivir en Marte o la Luna. Para aquel momento, será necesario un trabajo interdisciplinar de arquitectos e ingenieros.

El primer paso, de entrar en contacto con un proyecto espacial lo he conseguido gracias al TFM Mars Citadel, el cual, no caerá en el olvido, sino que me gustaría seguir investigando sobre este prototipo y sus múltiples posibilidades.

8. Bibliografía

Amils, R. 2010, *Riotinto: Viaje a Marte*, Sevilla: Editorial Alfar.

Cortés Satizábal, L.D. 2020, *Cosmos, de la Vkhutemas a la Soyuz: la arquitectura de las cápsulas espaciales rusas*. Universidad de Alcalá, Escuela de Arquitectura. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/44664>

ESA, 2020, *CDF Study Report. Moon Village. Conceptual Design of a Lunar Habitat*

Groemer, G. 2011, *Riotinto 2011 Mission Report*, Austrian Space Forum, Innsbruck. Visto noviembre 2020. Disponible en : <https://oewf.org/portfolio/spanien-rio-tinto-2011/>

Häuplik- Meusburger, S. 2011. *Architecture for Astronauts, Viena, Austria: Editorial Springer*.

Instituto Geológico y Minero de España, DOCUMENTO N° VI. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y AMBIENTAL DEL DEPÓSITO DE LODOS MINEROS REPRESA III (0938-8-0004), EN ZARANDAS-NAYA, (NERVA-EL CAMPILLO, HUELVA).

Laot, A.M.L. 2020, *Manufacturing of functionally graded ceramics with in-space resources*. Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3mE), Delft University of Technology.

Ruiz de Almodóvar, G. Sáez, R. Toscano, M. Moreno, C. Donaire, T. Nieto, J. González, F. Yesares, M. Pascual, E. 2012, *Hidrotermalismo submarino de hace más de 350 millones de años. La Faja Pirítica Ibérica*.

Tornos Arroyo, F. 2008, *La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica*. Instituto Geológico y Minero de España.

Vögele, T. 2016, *MOONWALK. Final Project Report*. DFKI Robotics Innovation Center

La página web que podría ser a la que más he recurrido para hacer el proyecto:
<http://spacearchitect.org/>

