



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: HÀBITATS HUMANS PER A ALTRES MONS

AUTORS: PÉREZ JIMÉNEZ, ÁLVARO

DATA DE PRESENTACIÓ: Juliol, 2022

COGNOMS: Pérez Jiménez **NOM:** Álvaro
TITULACIÓ: Enginyeria Mecànica
PLA: 2009
DIRECTOR: MORENO LUPIAÑEZ, MANUEL
DEPARTAMENT: FIS – DEPARTAMENT DE FÍSICA

QUALIFICACIÓ DEL TFG

TRIBUNAL

PRESIDENT

Navarro Bosque, Javier

SECRETARI

Lebrato González, Alexander

VOCAL

Segalas Coral, Jordi

DATA DE LECTURA: Juliol, 2022

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

RESUM

Per a descobrir la viabilitat de la creació i transport d'un hàbitat per altres mons, cal realitzar infinitud d'estudis per poder portar-ho a la realitat. Aquest projecte se centrarà en el disseny i dimensionament d'un hàbitat, en la destinació dels espais i la maquinària mínima necessària per a la vida en altres indrets del sistema solar.

Per començar el projecte s'haurà de trobar quin mitjà de transport podrà portar l'habitable fins a la Lluna, d'aquest haurem d'obtenir la càrrega útil i dimensions màximes admissibles.

En el moment que sapiguem com arribar, seria crucial buscar una font d'energia, la qual aportarà electricitat a tota la maquinària destinada al suport de vida i als aparells d'ús quotidià.

En dissenyar l'habitable caldrà saber a quins riscos estarà exposat, cal remarcar que la Lluna és considerat un medi extrem, on hi ha grans nivells de radiació còsmica i materials tòxics pels humans. També cal dir que la falta per descobrir molta informació sobre el nostre satèl·lit, com l'estabilitat del terra, ubicació d'aigua, zones en foscor continua tot això també suposa un risc.

La selecció de materials serà rellevant per aquesta missió, ja que s'haurà d'escollir els que tinguin majors prestacions amb la menor densitat possible, per mantenir un baix pes. També s'haurà de tindre en compte els materials que s'utilitzaran per a protegir-se de les temperatures extremes, la radiació i els impactes dels meteorits.

Un cop hàgim seleccionat el material estructural es podrà procedir al dimensionament de les bigues estructurals gràcies a càlculs teòrics els quals seran comprovats amb simulacions. Si les simulacions són positives el pas següent, serà el càlcul del pes de l'estructura. I serà sumat el pes de la maquinària, mobiliari, alimentació i aigua i oxigen. Un cop el pes total sigui calculat serà comparat amb la càrrega màxima admissible i en el cas que sigui inferior, sabrem que la missió podria ser viable. En cas afirmatiu, es podrà pressupostar el capital mínim inicial per a la construcció de l'habitable.

Paraules clau (màxim 10):

Habitats a la Lluna	Protecció tèrmica	Regolita	Carrega útil
Distribució d'espais	Protecció radiològica	Estructura	Material estructural
Suport de vida			

ABSTRACT

In order to discover the feasibility of developing and transporting a habitat to other worlds, it's necessary to analyze and create a lot of different studies to bring this to reality. This project focuses on the design and sizing of a habitat, the analyze of the best location of rooms and the minimum machines and devices needed for life in other spaces of the solar system.

In order to start this project, we should find the best way to transport the living space from the Earth to the Moon, and to analyze the range of maximum payload and allowable dimensions.

Once we know how to arrive, it would be crucial to look for a source of energy, that will provide electricity to the life support devices and to the domestic appliances.

When designing the living structure, it will be necessary to know the risks to which it will be exposed to, as the Moon is considered an extreme environment with high levels of cosmic radiation and toxic materials for human beings. We should also have in mind that there is a relevant lack of information regarding our satellite as the stability of the land, the water location and the areas in permanent darkness that add additional risks to our project.

The selection of materials will be most relevant for this mission, as the maximum performance with the lowest possible density has to be selected, in order to maintain a low level of load. The chosen materials must protect against extreme temperatures, radiation, and meteorite impacts.

Once the structural material has been selected, we should start sizing the structural elements using theoretical calculations that will be verified simulations.

If the simulations are positive, the next step will be calculating the weight of the structure, algo taking into consideration, the weight of the machines, furniture, food, water, and oxygen.

Once the total weight has been calculated, it needs to be compared to the maximum allowable load and, in the event that is still lower, we will know that the mission could be viable and, in this case, the minimum initial capital for building leaving spaces can be budgeted.

Keywords (10 maximum):

Thermal protection	Space distribution	Structural material	Life suport
Habitats on the Moon	Payload	Radiological protection	

SUMARI

INTRODUCCIÓ	8
Objectius	9
1. Precedents	10
1.1 BENEFICIS	22
1.2 PROJECTES ANTERIORS	11
1.3 PROJECTES EN DESENVOLUPAMENT	13
1.4 INSPIRACIÓ PEL PROJECTE	16
2. TRANSPORT	17
2.1 ANÀLISI COETS PEL VIATGE A LA LLUNA	17
2.2 ELECCIÓ DEL MODEL DE COET	20
3. RISCOS A L'ESPAI	22
3.1 RADIACIÓ	22
3.1.1 MESURA DE RADIACIÓ	23
3.1.2 CONSQÜÈNCIA SOBRE LA VIDA HUMANA I TEMPS DE PERMANENCIA	23
3.1.3 REDUCCIÓ DE RISC D'EXPOSICIÓ A RADIACIÓ GRÀCIES A L'ESTRUCTURA	24
3.2 REGOLITA I AGLUTINATS	25
3.2.1 AGLUTINATS	25
3.2.2 RISCOS	25
3.3.3 COM AFECTA LA REGOLITA AL DISSENY DE L'HÀBITAT	26
4. REQUERIMENTS ENERGÈTIC	28
4.1 GENERADORS TERMOÈLECTRICS DE RADIOISÒTOPS (RTG)	28
4.2 BATERIES	30
5. MATERIALS DE CONSTRUCCIÓ	31
5.1 MATERIALS ESTRUCTURALS	31

5.2	MATERIALS DE PROTECCIÓ	32
5.2.1	PROTECCIÓ CONTRA METEORIT	32
5.2.2	PROTECCIÓ ENVERS LA RADIACIÓ	33
5.2.3	PROTECCIÓ TÈRMICA	34
6.	VESTIT ESPACIAL	36
7.	ESTRUCTURA	37
7.1	CÀLCUL I DIMENSIONAMENT	37
7.2	ANÀLISI D'ELEMENTS ESTRUCTURALS	44
8.	DIVISIÓ D'ESPAIS D'UN HÀBITAT CONVENCIONAL	55
9.	SUPORT VITAL	62
10.	MASSA TOTAL DE L'HABITACLE	66
11.	PRESSUPOST	68
12.	NORMATIVA	69
	CONCLUSIONS	70
	AGRAÏMENTS	71
	BIBLIOGRAFIA	72

INTRODUCCIÓ

Des de sempre l'ésser humà ha somiat en trepitjar la Lluna i anar més enllà. La missió Apol·lo 11 va permetre dur a terme aquest somni el 20 de juliol de 1969, tot seguit es va repetir aquest succés fins a la missió Apol·lo 17 (desembre 1972) la qual va ser l'última missió on es va trepitjar la Lluna. Gràcies als avenços tecnològics i a la prevista disminució del cost de viatjar a l'espai, a causa de projectes com SpaceX o Blue Origin, la humanitat s'ha marcat l'objectiu de tornar a portar a l'ésser humà a la Lluna, però amb la diferència que aquest cop és per romandre-hi, un temps indeterminat.

Dels projectes mencionats sorgeix aquest projecte, "Hàbitats humans per a altres mons" el qual es centra en la creació d'un hàbitat apte per a la vida humana en la Lluna, considerat un entorn dedicat a la investigació i la recerca.

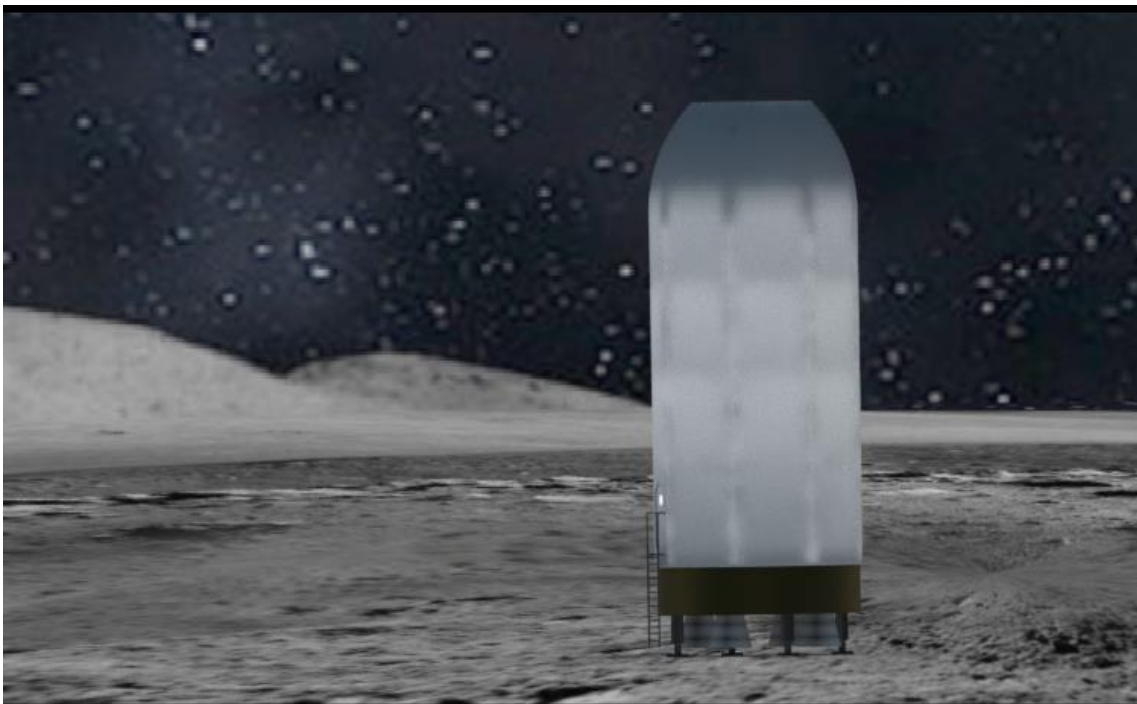


Figura.1 Habitatge a la Lluna. Font: Autoria pròpia

He volgut centrar-me en els possibles hàbitats de la Lluna perquè, considero que cada vegada està més a prop el moment que l'ésser humà visqui en altres mons.

Per tant, en aquest present treball de fi de grau es pretén aprofundir en el coneixement sobre quina és la possibilitat que actualment els humans arribin a tindre habitatges a la Lluna i com de viable, seria realitzar aquest objectiu actualment.

Pel que fa a l'estructura del present estudi trobem en la primera part un marc teòric on s'estableixen la fonamentació teòrica on es revisen diverses fonts i es genera una idea base sobre els problemes i les possibles solucions, en la segona part presento la proposta d'intervenció amb un disseny 3D d'un possible habitacle per a la Lluna on un cop dissenyat s'analitza de manera quantitativa l'estructura i el possible comportament dels materials gràcies a la utilització de software 3D, i finalment, en la tercera part trobem un recull de les conclusions resultants d'aquest estudi.

Objectius:

Amb la realització d'aquest estudi es pretén, d'una banda, analitzar la possibilitat de la implementació d'habitats per humans a la Lluna i, d'altra banda, dissenyar un hàbitat funcional per viure a la Lluna.

Els objectius establerts per aquest estudi són:

- Dissenyar l'estructura necessària per a l'habitable.
- Analitzar quina és la possibilitat de portar una estructura funcional a la Lluna.
- Pressupostar el cost d'una missió de tals característiques.
- Saber quina és la viabilitat de viure a la Lluna.
- Conèixer com proveir d'energia l'habitable.

1. PRECEDENTS

1.1 BENEFICIS

La possibilitat de poder viure de manera indefinida a la Lluna és una idea amb la qual han somiat científics i astrònoms des de fa generacions. Actualment, està més proper el fet d'assolir aquest objectiu, per tant, van sorgint més projectes i empreses interessades en l'expansió a l'espai.

El benefici més rellevant és l'avanç cap a l'expansió de la humanitat a altres indrets del sistema solar. Però perquè es dugi a terme encara queden anys d'investigació. Un habitacle a la Lluna no proporcionarà un benefici directe, però sí a llarg termini, gràcies als estudis que es realitzarien allà. El llibre *Astrobiology, Habitability and the Moon*[1] fa un llistat dels primers estudis que s'haurien de dur a terme per la viabilitat d'un hàbitat autosostenible i segur, aquests són:

- Anàlisi d'organismes i bacteris.
- Estudi de la supervivència, reproducció, mutació i evolució d'aquests.
- Creixement de plantes a la Lluna.
- Sistema tancat de suport vital.
- Hivernacles i producció d'aliments.
- Estudi d'animals en altres planetes.

Un cop estudiat tots els efectes en els éssers vius i analitzada la capacitat d'autososteniment a la Lluna seria possible la seva adaptabilitat a altres planetes.

Sabem que a la Lluna hi ha una concentració de terres rares, sent aquest un dels principals motius pels quals en els darrers anys hi ha hagut un augment dels projectes sobre vida prolongada a la Lluna, amb l'objectiu de realitzar mineria espacial en ella. En el moment que sigui viable la mineria al nostre satèl·lit natural, aquesta-s'expandirà a altres indrets del sistema solar on la Lluna seria la base per al proveïment d'aquestes missions. A més a més, l'absència de pressió, la gravetat disminuïda, les temperatures extremes i la radiació còsmica creen un gran interès científic, ja que aquestes condicions poden ser idònies per la realització d'estudis sobre materials i fàrmacs. La NASA ha demanat, a les empreses, projectes per a investigacions a la Lluna. També es planteja la instal·lació d'un radiotelescopi per a la investigació espacial sense interferències de senyals creades per l'home.

1.2 PROJECTES ANTERIORS

Durant l'últim segle s'han iniciat gran varietat de projectes amb la finalitat de fer factible la implementació i desenvolupament de la vida de l'ésser humà a la Lluna, la majoria d'aquests projectes no han arribat a la fase de prototip abans de ser cancel·lats. A continuació veurem un seguit de projectes que han estat de gran inspiració per la realització d'aquest treball.

Projecte Horizon

El projecte Horizon va ser dissenyat en 1959 per AMBA (Army Ballistic Missile Agency), té un disseny modular amb la forma de cilindres que formen l'estructura de l'habitable, el qual estaria enterrat amb el propòsit de disminuir la radiació dins d'aquest. La finalitat del projecte Horizon era ser una base científica-militar amb una ocupació de fins a dotze persones.

Aquest projecte tenia un cost total de 6 bilions de dòlars americans.

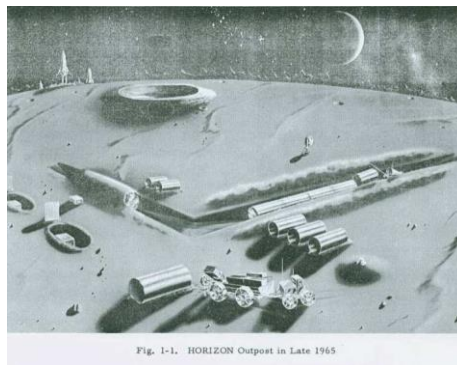


Figura 1.1 Horizon Project 1959. Font: Defensemedianetwork

ZVEZDA

La base a la Lluna ZVEZDA, va ser dissenyada pel programa espacial soviètic l'any 1962 i per a ser construïda en 1980. Era una estructura formada per cilindres amb un disseny modular, coberts per una quantitat de regolita suficient per disminuir la radiació dins de l'habitable. Aquest habitacle estava destinat per ser la successió del programa d'expedició a la Lluna N1-L3, però al final va ser cancel·lat el programa.

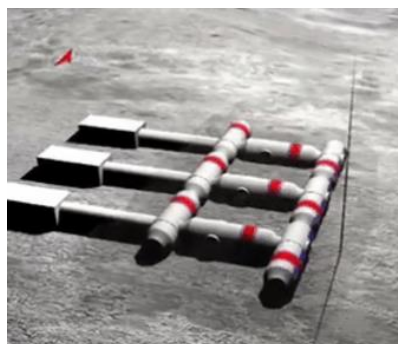


Figura 1.2 ZVEZDA Lunar BASE 1962. Font:Wikipedia

LEK

El complex expedicionari a la Lluna (LEK), va ser una base proposada per Valentin Glushko l'any 1974 com a resposta soviètica al programa Apol·lo i com a successor del programa N1-L3. L'objectiu era que estigués operativa l'any 1980 per investigació científica i d'enginyera. El projecte va finalitzar l'any 1976 perquè es considerava que el projecte no aportaria recursos econòmics i necessitava una inversió molt elevada.



Figura 1.3. Lek - Lunar expeditionary complex 1974. Font: Encyclopedia Astronautica

L' hàbitat inflable a la Lluna

Concepte d'un habitacle per a dotze persones amb una estructura esfèrica inflable, dissenyat l'any 1989. L'habitacle es divideix en 4 plantes, la planta més alta destinada a la salut i recreació de la tripulació, la 2a i 3a es troba les habitacions de la tripulació, sala d'oficials, lavabos i cuina, i en la primera planta i en la planta baixa hi ha els espais destinats a la investigació i la maquinària destinada al suport de vida i monitoratge d'operacions.



Figura 1.4. The infaltable lunar hàbitat 1986 Font: Wikipedia

MoonWalker

El seu disseny es basa en la creació d'un habitacle per a usuaris desconeguts amb requisits canviants. El disseny es basa en estudis psicològics i sociològics combinat amb aspectes de la percepció i creació d'espais. També s'utilitza materials sostenibles. Aquest habitacle destaca per la capacitat de desplaçar-se gràcies a la utilització de sis braços robòtics. També té la capacitat d'acoblar dues estructures més.

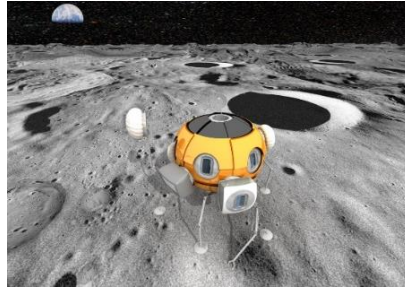


Figura 1.5. Moonwalker lunar base 2005 Font: Spacecraft

A continuació hi ha una taula on es recull, informació dels projectes mostrats.

RESUMEN DE PROJECTES CANCEL·LATS

Projecte	Any	Modular	Enterrada	Estat	Cost €
Horizon	1959	Si	Si	Cancel·lat	$5,77 \times 10^9$
ZVEZDA	1962	Si	Parcialment	Cancel·lat	-
LEK	1976	Si	No	Cancel·lat	$2,1 \times 10^8$
Moonwalker	2005	Si	No	Concepte	-

Taula 1.1: Recull de característiques dels habitatges. Font: Autoria pròpia

Cada projecte té les seves particularitats, però tots donen la possibilitat d'ampliacions de l'espai gràcies al fet que les necessitats d'un habitatge són canviants, permetent així la possibilitat d'augmentar les dimensions i les funcions d'aquest. L'opció d'enterrar-lo dependrà del blindatge contra la radiació i la durada de les missions, les quals quan més llarga siguin més seguretat envers la radiació hauran de tindre, per no superar la dosi anual recomanable.

1.3 PROJECTES EN DESENVOLUPAMENT

Actualment, hi ha una gran quantitat de projectes centrats en la creació d'habitatges a la Lluna o al planeta Mart. Aquests es veuen afavorits per la futura disminució del preu del bitllet per viatjar a l'espai gràcies a projectes com Starship que té com a objectiu de la creació de coets reutilitzables.

Un dels programes més coneguts de la NASA és ARTEMIS [2]. Aquest ha llançat el repte a empreses privades, de construir un habitatge a la Lluna per l'any 2028, dividint el projecte en dues fases per poder assolir l'objectiu de la NASA:

La primera fase se centra en la recerca i en el finançament pels projectes focalitzats en l'extracció i processament del gel de la regolita del pol sud de la Lluna i l'aprofitament de la regolita per a construccions. Els projectes més reconeguts dins d'aquest són:

Projecte TMSLIM: Reactor amb un petit reactor nuclear que escalfa la regolita amb la finalitat de minar a la Lluna.

Projecte SCORCHER: Reactor a base d'energia solar que escalfi la regolita a uns 2200 °C. Obtenint oxigen i material de construcció.

Un cop aquesta fase es dugui a terme i es trobi una manera eficient d'extreure aigua per no dependre d'un subministrament continu de la Terra es passarà a la fase dos.

Tots els projectes dins de la fase 2 estan donant les seves primeres passes. L'objectiu de la fase 2 és la creació d'habitats i infraestructures per als éssers humans, però la viabilitat d'aquestes dependrà de la fase 1, perquè si alguns projectes de la fase 1 surten bé i s'aconsegueix aprofitar la regolita podria facilitar la producció d'aquests habitats.

Tot i no tenir les fases completades hi ha una cosa clara, la ubicació del futur habitat: aquest estarà al pol Sud, en la conca Aitken.

Moon Village

Un altre projecte reconegut internacionalment és MOON VILLAGE de SOM (Skidmore, Owings & Merrill), fomentat per l'ESA (european space agency) i MIT (Massachusetts Institute of Technology).



Figura 1.6: SOM. Moon Village, exterior. Font: Som china

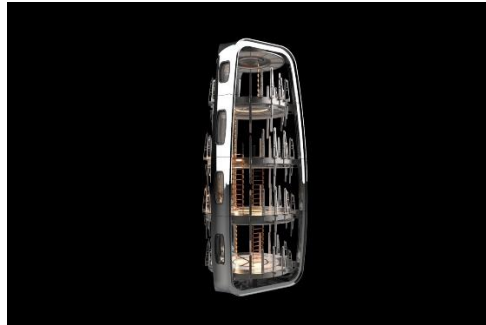


Figura 1.7: SOM. Moon Village, interior. Font: Som Font: Som china

Aquest projecte és característic, perquè no tanca la participació a ningú i com més gent especialitzada hi treballa, més augmenta la seguretat i qualitat d'aquest habitat. El disseny està optimitzat pel màxim aprofitament de l'espai, de la mateixa manera la il·luminació està estudiada al detall per a una llarga estada.

A continuació veurem altres dissenys d'habitats que han passat a la fase de prototipatge:



Figura 1.8: Inflex lunar habitat 2007. Font: Spaceplace



Figura 1.9: X-Hab lunar habitat 2010. Font: Spaceplace

Habitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

Deployable Secondary Structures for Expandable Volumes
APPENDIX



Figure 1 - The LaRC Expandable Lunar Habitat. Stowed and deployed

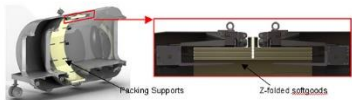


Figure 2 - Z-Fold soft-goods packaging (ILC Proprietary)

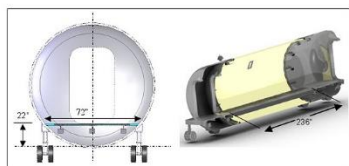


Figure 3 - Current floor design for the LaRC Expandable Habitat

Figura 1.10: X-Hab lunar habitat 2010.
Font: Spaceref



Figura 1.12: Blue moon 2010.
Font: Spaceref

1.4 INSPIRACIÓ PEL PROJECTE

L'hàbitat en la Lluna és un projecte molt costós i a la vegada molt difícil de realitzar, perquè aquest tingui un bon resultat serà necessària la participació d'enginyers i especialistes de diferents nacionalitats a la vegada que serà també necessària la subvenció econòmica de diferents països.

Un projecte amb unes característiques similars, és l'estació espacial internacional també coneguda com a ISS, on col·laboren les agències espacials dels següents països: Japó, EUA, Canadà, Rússia i els països membres de la Comunitat Europea [4].

La ISS pot aportar molt en aquest projecte, perquè a part de la participació de personal d'elevada qualificació en l'àmbit formatiu, també ha tingut una llarga trajectòria a l'espai on ha pogut analitzar in situ quin(s) són els punts forts i quin són els punts dèbils del seu disseny i estructura.

Tot el seu disseny ha superat uns estàndards molt estrictes, tenint en compte la resistència a la corrosió, durabilitat i comportament davant d'un incendi, així com que no generi gas nociu en inflamar-se i que no produeixi espurnes. Totes aquestes mesures són necessàries [4] a causa del fet que els integrants de la ISS no poden abandonar-la en cas d'alguna emergència. Aquest factor també s'ha de tenir en compte per l'hàbitat a la Lluna, ja que es trobarà en unes circumstàncies similars.

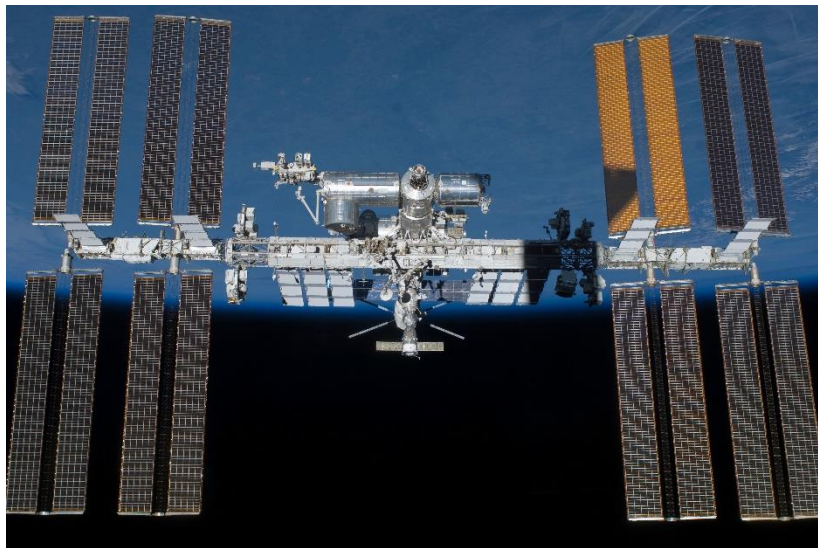


Figura 1.11 Estació Espacial internacional. Font: NASA

2. TRANSPORT

Per poder dur aquest projecte a terme, cal saber el transport que s'utilitzarà i la capacitat de càrrega màxima d'aquest. Actualment per portar càrregues de grans dimensions només tenim coets espacials. Per això farem un breu estudi de la tipologia de coets que hi ha, la seva capacitat de càrrega i les dimensions que poden portar en el seu interior. Aquests paràmetres determinaran la mida de l'habitable, el pressupost de la missió i l'elecció dels materials.

2.1 ANÀLISI COETS PEL VIATGE A LA LLUNA

Com s'ha mencionat amb anterioritat actualment hi ha una carrera espacial per reduir el cost de cada llançament, l'empresa que ofereixi el millor preu amb relació al pes podria dominar l'expansió dels humans a altres planetes. Amb tots els beneficis que això implica.

Per aquest projecte és necessari la capacitat més gran de càrrega amb les majors dimensions possibles, per poder tindre un hàbitat operatiu en la mínima quantitat de viatges.

Els coets poden tenir diferents finalitats depenent quina sigui la distància a què vol arribar té un carrega útil o un altre. La carrega útil, es defineix segons les següents distàncies:

- LEO/OTB (òrbita terrestre baixa/ low earth orbit) entre 150 i 2.000 km de la superfície de la Terra.
- OTG (òrbita de transferència geoestacionària) aquesta òrbita té forma d'el·lipse i la distància màxima a la superfície de la Terra és 35.786 km.
- TLI (Trans-Lunar Injection) maniobra de propulsió utilitzada per col·locar una nau espacial en una trajectòria que la conduirà a la Lluna.

A continuació analitzarem diferents empreses amb els seus respectius coets.

SpaceX:

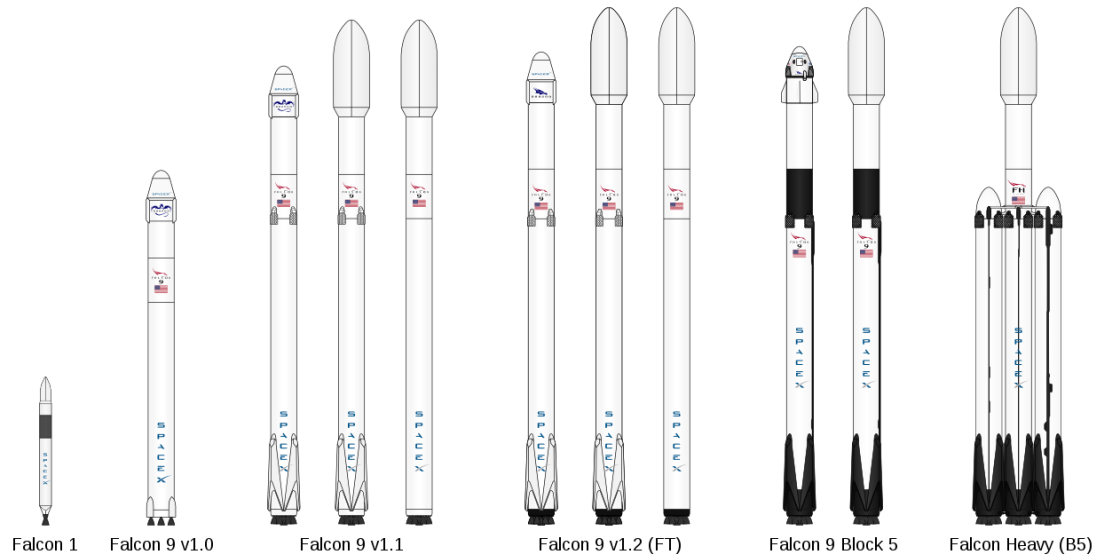


Figura 2.1: Serie coets Falcon. Font: Wikipedia

	Falcon 9 v1.0	Falcon 9 v1.1	Falcon 9 Full Thrust	Falcon 9 Block 5	Falcon Heavy
Diàmetre còfia (m)	-	5,2	5,2	5,2	5,2
Altura còfia (m)	-	-	-	13,1	13,1
Càrrega útil a OTB/LEO (Kg)	9.000	13.150	22.800	22.800	63.800
Càrrega útil a OTG (kg)	3.400	4.850	8.300	8.300	26.700
Càrrega útil a Mart (kg)	-	-	-	4.020	16.800
Estat operatiu	Retirat	Retirat	Retirat	Actiu	Actiu

Taula 2.1: Comparació coets serie Falcon. Font: A partir de space X

Podem observar les diferents capacitats de càrrega dels coets creats per l'empresa Space X, on veuríem que de la sèrie Falcon, el falcon heavy és qui té la major capacitat de càrrega. En les dades oficials en cap moment s'anomena la capacitat de càrrega útil per un viatge a la Lluna. Però fent una interpolació podríem tindre uns valors aproximats de 24.100 kg.

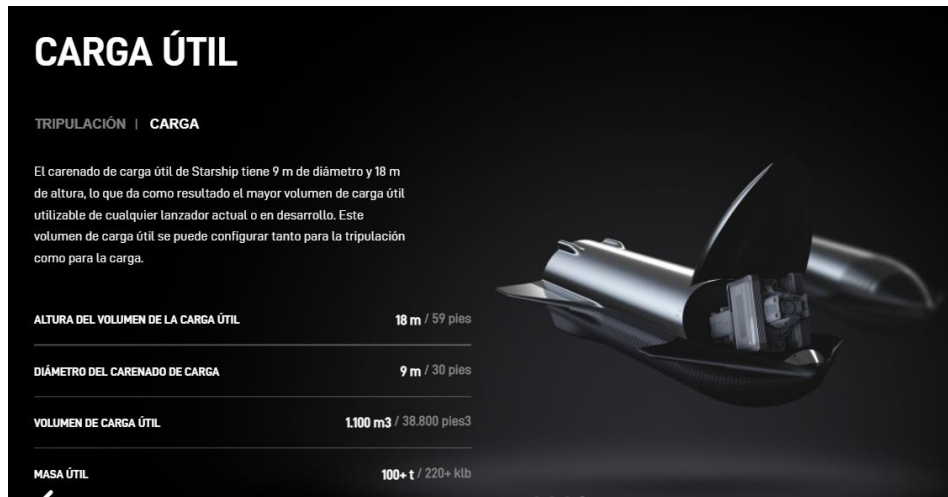


Figura 2.2: STARSHIP Font:Space X

Cal comentar que actualment està activa la creació d'un coet de càrrega superpesat anomenat Starship, amb una capacitat de càrrega a LEO de 100.000 kg. No es tenen més dades de més distància, però com més avanci aquest projecte més dades es tindran. També s'ha de tindre en compte les mesures de càrrega amb un diàmetre de 9 m i una longitud de 18 m [5]. Aquestes dades seran utilitzades més endavant per la comparació final. Per tindre una idea de la càrrega útil que podria portar a la Lluna, s'ha fet una interpolació amb el resultat de 42.600 kg.

NASA:

La NASA també ha estat desenvolupant els seus propis coets amb l'objectiu de portar càrregues pesades a l'espai, aquesta sèrie de coets s'anomenen SLS Block. La qual estudiarem les seves càrregues útils i dimensions a continuació.

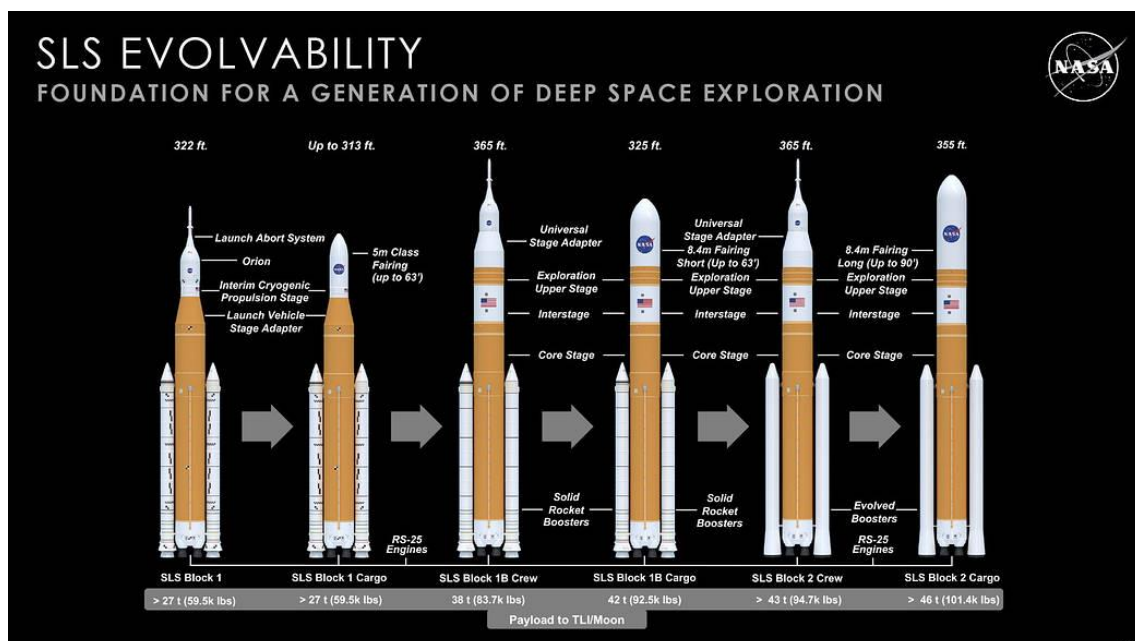


Figura 2.3: SLS Evolvability. Font: NASA

	Block 1	Block 1B	Block 2
Càrrega útil a LEO (kg)	95.000	105.000	130.000
Càrrega útil TLI (kg)	27.000	42.000	46.000
Diàmetre còfia (m)	5	8,4	8,4
Longitud còfia (m)	19,1	19,1	27,4

Taula 2.2: Comparació coets SLS. Font: Autoria pròpia

Dels coets de la NASA estudiats el que millor s'adapta a la missió és el Block 2.

China National Space Administration (CNSA):

Xina també té el seu propi programa espacial i estan desenvolupant també un coet superpesat, destinat a portar grans càrregues a l'espai. Aquesta sèrie s'anomena Long March amb més de 9 variants, però només ens centrarem en les variants amb més càrrega útil la qual algunes encara estan en desenvolupament.

	Long March 5	Long March 9
Càrrega útil a LEO (kg)	25.000	140.000
Càrrega útil TLI (kg)	9.400	53.000
Estat	Actiu	Desenvolupament
Diàmetre còfia (m)	5	9,5

Taula 2.3: Comparació coets Long March. Font: A partir de NASA

El Long march 5 no compleix amb les necessitats mínimes de la missió, però el Long March 9, sí que les compleix.

2.2 Elecció del model de coet

A continuació farem l'anàlisi comparatiu i elecció del coet per a la missió de portar l'habitacle a la Lluna.

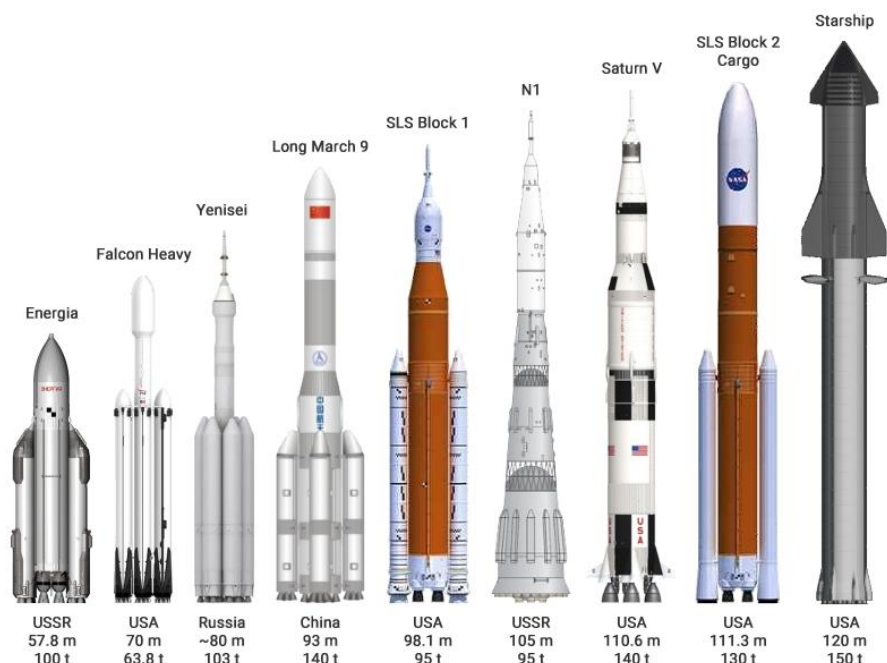


Figura 2.4: Comparació tots els coets Font: Wiki

	Falcon Heavy	Starship	SLS Block 2	Long March 9
Càrrega útil a LEO (kg)	63.800	100.000	130.000	140.000
Càrrega útil a TLI (kg)	24.100	42.600	46.000	53.000
Diàmetre còfia (m)	5,2	9	8,4	-
Longitud còfia (m)	13,1	18	27,4	-
Estat	Actiu	Desenvolupament	Desenvolupament	Desenvolupament

Taula 2.4: Comparació de seleccio de coets. Font: Autoria pròpia

Com podem observar de l'empresa Space X és la que pitjors propietats en relació amb la càrrega útil i dimensions, ja que el seu punt fort és la reutilització d'aquests coets. La comparació quedaria entre el SLS i el Long March a priori sembla que el Long March tingui millors capacitats de càrrega, però a falta de la informació de les seves còfies, utilitzarem el SLS BLock 2 de la NASA. Determinant així les dimensions màximes del nostre habitacle.

Les dimensions d'aquest aniran determinades per la seva còfia PLF Long Concept amb un diàmetre exterior 8,4 m i un llarg 27,43 m.

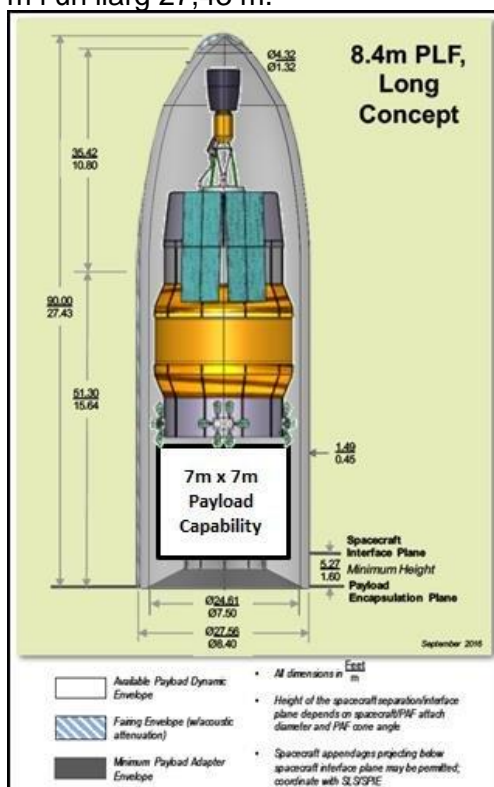


Figura 2.5: Planol de la còfia utilitzada. Font: Researchgate

Per saber les mesures màximes que pot tindre l'habitacle, cal tindre en compte que el mòdul de descens a la Lluna mesura 23 m d'altura amb un pes de 2.033 kg [6]. Reduint així les dimensions útils finals a 22,9 m de llarg, 7,5 m diàmetre i a 44.000 kg de massa.

3. RISCOS A L'ESPAI

3.1. RADIACIÓ

L'exploració de la Lluna té una gran quantitat de perills i la radiació espacial és un d'ells. La nul·la existència d'una atmosfera i l'insignificant camp magnètic de la Lluna, gràcies a l'existència d'aquestes es genera un escut natural envers la radiació. La seva nul·la existència complica la creació d'una estructura apta per la vida humana a llarg termini.

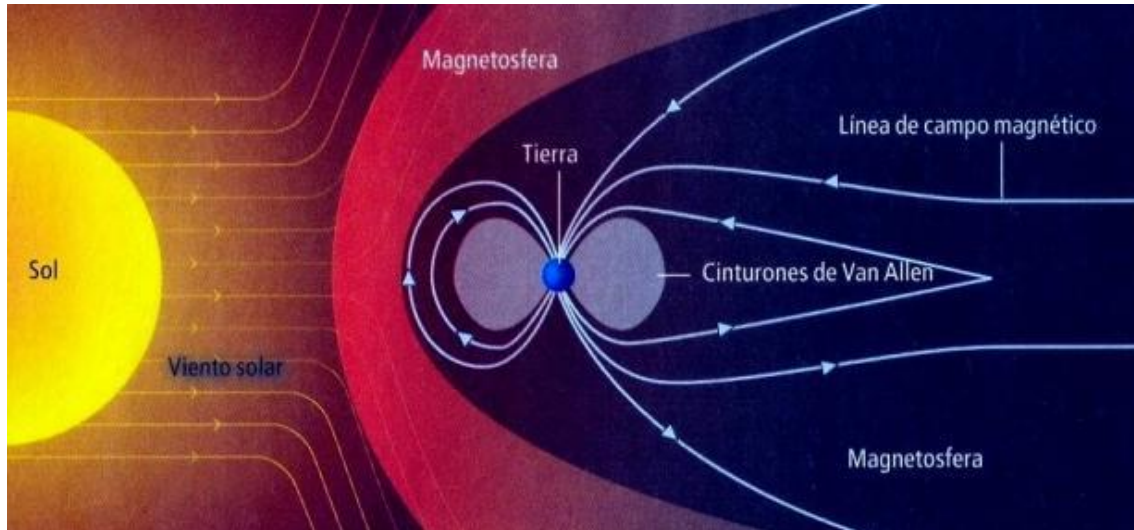


Figura 3.1: Radiació en el veïnatge solar. Font: Gore

Però un dels majors problemes d'aquests projectes és l'exposició constant de rajos còsmics/galàctics (GCR) i els esdeveniments esporàdics de partícules solars de diferent intensitat (SPE) [7].

Els GCR són una font de radiació en forma de partícules d'alta energia originària de les afores del sistema solar. Estan conformats per una barreja de protons d'alta energia (~ 86%), per partícules alfa (~ 12%) i un rastre de nuclis pesats de (~ 1%) [7].

Els SPE són un flux de protons d'alta energia provinents de les erupcions solar. Aquest no signifiquen un gran risc per la vida humana, excepte l'exposició excessiva deguda a les tempestes solars, i per aquests casos seria necessària una protecció addicional per assegurar la vida en la Lluna.

També pot sorgir la radiació de rajos X, com a resultat de la col·lisió d'electrons d'alta energia amb conductors metàl·lics o també originats per fenòmens altament energètics com estels de neutrons o forats negres. Afectant directament al disseny de l'habitable, ja que el blindatge podria ocasionar més danys biològics que de les partícules que et protegeixes. [8]

Totes aquestes radiacions són perjudicials per a la vida vegetal i humana, afectant directament a la salut dels astronautes. Aquests, tenen efectes retardats, però indueixen a cataractes, càncer, malalties degeneratives del sistema nerviós i d'altres òrgans [7]. També són visibles els seus efectes en els materials, l'electrònica i les comunicacions [8].

3.1.1 MESURA DE RADIACIÓ

Per mesurar la dosi de radiació s'utilitzen diverses unitats. El "gris"(Gy) equival a 100 rads (dosis de radiació absorbida emprada en el SI) i també s'utilitza la dosi efectiva de radiació anomenada Sievert (Sv). En Estats Units també fan ús dels "rad", "rem" o "roentgen" que per efectes pràctics enfront una radiació es consideren del mateix valor.

1Gy=100rad
1mGy=100mrad
1SV= 100rem
1mSv=100mrem

La superfície de la Lluna està sota la constant exposició de rajos còsmics i esdeveniments esporàdics de partícules solars, la interacció d'aquesta radiació amb la regolita de la Lluna produeix un tercer component, les partícules neutres, és a dir, neutrons i radiació gamma. Xina ha realitzat les primeres mesures de radiació a la superfície de la Lluna, amb uns resultats de mitjana de $13,2 \pm 1 \mu\text{Gy} / \text{hora}$ en silici i una dosi de partícules neutres de $3,1 \pm 0,5 \mu\text{Gy} / \text{hora}$. I a continuació analitzarem els efectes d'aquests en els essers humans, els resultats de les mesures i les possibles solucions trobades. [7]

3.1.2 Conseqüència sobre la vida humana i temps de permanència:

Com ja s'ha dit anteriorment la radiació significa un risc significat per la vida humana i vegetal, després d'estudiar-la s'han analitzat quines són les quantitats que poden suportar els humans sense patir-ne danys al llarg de la seva vida.

Una dosi d'1 Sv es considera elevada, perquè el màxim recomanat a l'any és de 0,5 Sv. Una dosi de 10 Sv, provoca la mort en qüestió de dies o setmanes. Una dosi de 100 mSv a un augment significatiu del percentatge de probabilitat de patir càncer més endavant.

També es considera alta una dosi de 0,1 Gy amb un estil de vida mitjana per la gran majoria de la població [9].

Després de diversos estudis la NASA va modificar els seus límits d'exposició professional per als òrgans formadors de sang, ja que els altres òrgans com els ulls o la pell tenen límits superiors.

Límits de radiació en òrgans formadors de sang segons la NASA[9]:

Edat	25	25	55	55
Sexe	H	M	H	M
Radiació	1,5	1	4,5	3

Taula 3.1: Relació entre edat, sexe i edat. Font: NASA

A diferència de l'agència espacial europea i la federació Russa que van establir límits de carrera d'1 SV independentment de l'edat i el sexe.

Cal remarcar que tots opinen que hi ha una falta de dades humanes rellevant pels efectes d'ions pesats i altres radiacions de l'espai, i que no seran possibles saber els seus efectes fins que els éssers humans no visquin durant un llarg període a l'espai. Les primeres missions serà de curta durada per evitar posar en risc la salut humana.

3.1.3 Reducció de risc d'exposició a radiació gràcies a l'estructura

A part de la regolita que protegeix de la radiació i dels micrometeorits, també s'han desenvolupat altres conceptes, siguin passius o actius. Els conceptes passius es basen en la idea d'un cop instal·lat en una ubicació, la seva funció és resistir, per exemple un d'ells seria la regolita. A diferència dels conceptes actius, que es poden adaptar depenen de la situació, però necessari la realització d'un manteniment. L'ideal és utilitzar ambdós tipus de conceptes oferint el màxim de protecció pels astronautes en enfront de la radiació.

Conceptes passius

Per reduir el risc d'exposició a la radiació sobre la superfície lunar, hi ha dues idees a valorar. La primera seria augmentar el gruix de les parets de l'hàbitat, augmentant proporcionalment el pes, és la menys desitjable, ja que per un blindatge efectiu per a llargues estades, el gruix de les parets hauria de ser molt elevat.

Una altra opció és valorar enterrar l'hàbitat en regolita, exactament a dos metres de profunditat.[8]. Si es realitzés aquesta última, la radiació disminuiria significativament, però augmentaria la dificultat de la creació de l'hàbitat. Seria necessària la utilització de maquinària pesant com excavadores i grues, aquestes haurien de ser teledirigides des de la Terra o l'estació espacial internacional.

Les missions que tenen previst posar habitacles a la Lluna estan a l'espera de la finalització de projectes que obtinguin i aprofitin material de la Lluna com minerals o la regolita. Per a utilitzar-los com a protecció. Ja que si no, és poc viable la construcció d'un hàbitat permanent per als éssers humans, pel pes extra que s'hauria de posar per evitar la penetració de la radiació en l'habitacle.

Conceptes actius

Utilització de camps elèctrics i magnètics per desviar les partícules carregades o ambdós (plasma).

Inconvenient: Possible trencament elèctric, perquè la intensitat del camp és molt elevada, ja que és necessari la circulació de 100MV actualment no és possible, encara que s'ha trobat disseny on no seria necessària tanta potència, a part que si és impactat per electrons, generarien rajos X i el disseny hauria de comptar amb no atreure regolita.
[8]

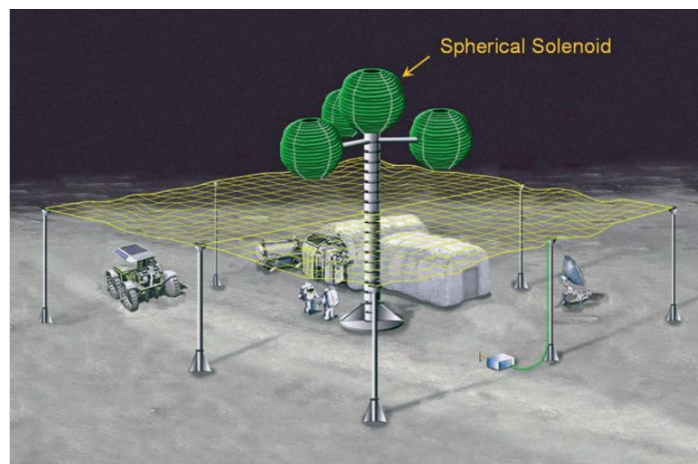


Figura 3.2. Concepte d'escut electroestàtic. Font: Building Habitats on the Moon

Aquest escut electromagnètic seria una opció a estudiar si tinguéssim accés a una font d'energia tan elevada.

Per a la realització d'aquest treball es considerarà que la radiació a la superfície de la Lluna és la mateixa que en les mesures preses en la ISS, utilitzant la mateixa protecció envers la radiació. Perquè de moment no hi ha cap solució practicable òptima. En el moment que es trobés una solució, s'hauria d'adaptar el disseny de l'habitable.

3.2. REGOLITA I AGLUTINATS

La superfície de la Lluna té una capa de partícules fines, coneguda com a regolita lunar, que s'ha format gràcies a l'impacte continu de meteorits i roques espacials. Aquest continu impacte ha originat una capa homogènia i compacte de minúscules roques lunars.

El gruix de la regolita lunar en la superfície és d'entre 5 m i 10 m varia depenent de la zona. La gran majoria de la regolita és de color gris amb una mitjana de densitat d'1,5 g/cm³.

La regolita lunar està formada per cinc tipus de partícules bàsiques, fragments minerals, fragments de roca cristal·lina pristina, fragments de bretxes, cristalls de diversos tipus i els aglutinats, que són una estructura única de la Lluna. La seva composició química varia segons la seva localització, a les terres altes és rica en alumini i en els mars és rica en ferro i magnesi [8].

3.2.1 ELS AGLUTINATS

Aquests s'originen gràcies al continu impacte de meteorits, els quals en impactar contra la superfície trenquen totes les partícules de la superfície i desfan parts del sòl, aquestes parts desfetes es barregen amb els components del voltant i creen un conjunt anomenat aglutinats, dins d'aquest podem trobar rastres de gel, hidrogen i alguns altres elements. [8]

3.2.2 RISCOS

La pols lunar està present en tota la superfície de la Lluna, és coneguda com un perill per als éssers humans. Per exemple en les missions Apolo va ocasionar molts problemes com[8]:

- S'adheria a tot amb el que entres en contacte
- Obstruïa les aspiradores dissenyades per netejar els vestits espacials
- Problemes respiratoris als tripulants del Apolo

Aquest últim problema, va preocupar tant a la NASA que va formar un grup d'assessors per estudiar la toxicitat de la pols lunar anomenat (LADTAG). Aquest grup estava format per experts de la NASA, científics, cirurgians, geòlegs, físics i enginyers. Aquests tenien la missió de saber com afectaria la vida humana a curt i llarg termini i aquests també establirien els estàndards mediambientals per ajudar a les decisions d'enginyeria en els vehicles d'exploració, mòduls lunars, regles de vols i el monitoratge ambiental.

La seva conclusió va ser que la pols lunar és tòxica per als éssers humans, sigui per l'aparell respiratori o en entrar en contacte amb la pell i ulls. A part de ser tòxic per a l'ésser humà, la regolita té una conductivitat elèctrica baixa permetent als grans estar electroestàticament actius adherint-se a qualsevol material, provocant que els equips serien coberts completament de regolita en dies. La regolita es pot arribar a moure's per si sola gràcies als camps elèctrics locals que poden ocasionar que s'elevin fins a un metre d'altura.

S'ha de tenir molt en compte a l'hora de dissenyar qualsevol element destinat a estar en la Lluna. S'haurà de tenir present en el disseny de vestits espacials, portes, juntes i tancaments a pressió. En conclusió s'ha de tenir en compte en el disseny a qualsevol estructura i material que pugui estar en contacte amb la regolita.

3.2.3. COM AFECTA LA REGOLITA AL DISSENY DE L'HÀBITAT

Un cop vist els efectes de la regolita sobre els éssers humans, és molt important tenir-la en compte a l'hora de dissenyar l'habitable a la Lluna.

Per dissenyar un espai adequat on s'eviti l'entrada de pols a l'habitable caldria tenir en compte moltes circumstàncies. A les quals intentarem proposar solucions que anomenarem a continuació:

1. Elevació de l'entrada de l'habitable i dels elements sensibles a una alçada d'un metre sobre la superfície de la Lluna

Com s'ha mencionat anteriorment la regolita té una conductivitat elèctrica baixa, això permet als grans estar elevat fins a un metre d'altura de la superfície gràcies a camps elèctrics locals. Això implica que a partir del metre d'altura la quantitat de pols en suspensió disminueix. Si l'entrada i els elements sensibles està a més d'un metre d'altura serà més difícil l'entrada de pols dins l'habitable i que els elements quedin coberts de regolita.

2. Creació d'un espai de sobrepressió en el moment d'entrada de l'hàbitat

Cada moment que la porta a l'exterior de l'habitable s'obri, s'emetria gas a pressió a través d'uns polvoritzadors al voltant de la porta, que allunyaria la majoria d'elements en suspensió prop de la porta. A la vegada netejaria parcialment els vestits dels astronautes quan tornessin de la realització de les seves tasques.

La utilització d'un gas com el CO₂ seria recomanable, perquè aquest seria recollit pel sistema de filtració d'aire.

3. Neteja exhaustiva dels vestits espacials

Després de cada missió a l'exterior de l'habitable, els astronautes haurien de netejar a consciència els vestits espacials dins de la sala de vestits, amb utensilis de neteja i aspiradors. Fins que no estiguessin nets no podrien obrir la porta cap a les altres instàncies de l'habitable. Els astronautes han de tindre en compte de no respirar partícules de pols de l'exterior. Si es considerés necessari caldria utilitzar un equip de suport per assegurar la no respiració d'aquestes partícules, o no treure's els vestits fins que l'aire de la sala i els vestits no estiguin lliures de contaminació.

4. Filtratge de l'aire de manera exhaustiva en la sala de vestits

Durant tot el procés de neteja dels vestits i un temps després s'ha de filtrar l'aire dins d'aquesta sala, per preveure possibles accidents.

5. Enduriment de la superfície

L'estabilitat del terra a la Lluna no és la més adequada per una estructura de grans dimensions. Per una viabilitat estructural, seria necessari assegurar la superfície on aniria l'habitable, amb formigó o alguna barreja amb matèries primeres de la zona, per endurir la superfície, assegurant una òptima viabilitat pel projecte. A la vegada que disminuiria la presència de regolita.

Si se segueixen les indicacions mencionades, s'evitarà posar en risc la vida dels astronautes i de la missió.

4. REQUERIMENTS ENERGÈTICS

L'obtenció d'energia en l'espai està molt estudiada. En el cas que hi hagi una gran exposició al sol la millor opció és aprofitar l'energia solar, però el nostre habitacle es troba en la superfície de la Lluna, on es necessitaria un constant manteniment per causa de la regolita. Actualment, hi ha projectes en desenvolupament per posar solució aquest problema i poder utilitzar com a font principal l'energia solar. Per aquestes circumstàncies, en aquesta missió a la Lluna, s'emprarà la producció d'energia nuclear.

És necessari saber quin consum d'energia té l'habitacle per suplir la demanda energètica. La ISS té un consum de 75 a 90 kWh [12], però hi ha una diferència de dimensions significativa amb l'habitacle que s'està dissenyant donant a entendre que el consum serà inferior. També se sap, que la NASA ha creat un projecte on es demana la creació d'un reactor nuclear amb una potència mínima de 40 kWh per al subministrament a 30 futurs habitacles a la Lluna. Cal dir que una casa a la Terra de mitjana té un consum energètic de 9,92 kWh[13]. Veient aquestes referències es pot estimar que serà necessari una potència de 20 a 40 kWh. Si volguéssim tindre més precisió de l'energia necessària, caldria fer un estudi més detallat d'aquest apartat.

4.1. GENERADORS TERMOELÈCTRICS DE RADIOISÒTOPS (RTG)

Per la producció d'energia en espais aïllats on no és possible l'ús de bateries elèctriques o de plaques fotovoltaïques, s'utilitzen els generadors termoelèctrics de radioisòtops (RTG). Els quals són generadors elèctrics que obtenen energia de la desintegració d'elements radioactius. Aquests es fan servir habitualment en missions que s'allunyin del sol on l'obtenció d'energia solar no és viable.

Els beneficis dels RTG són molt clars envers l'energia solar, gràcies a la fiabilitat que té l'energia nuclear perquè funciona en qualsevol condició envers l'energia solar que només és útil a òrbites on hi ha una constant exposició a rajos solars. També no requereixen manteniment, són resistents en condicions extremes i poden funcionar durant dècades [10].

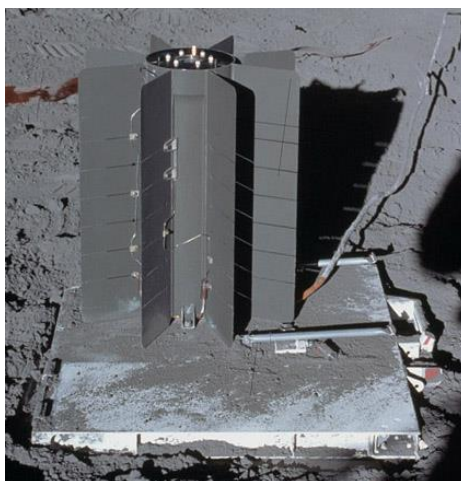


Figura 4.1: Generador termoelèctrics de radioisòtops. Font: NASA

A continuació hi ha una taula amb models utilitzats en missions a l'espai.

Models de RTG:

Nom i model	Potència màxima		Radioisòtop	Quantitat utilitzada (kg)	Massa dispositiu (kg)
	Elèctrica (W)	Tèrmica (W)			
MMRTG	~110	~2000	Pu238	~4	<45
GPHS-RTG	300	4400	Pu238	7.8	55.5
MHW-RTG	160	2400	Pu238	~4.5	39
SNAP-19	35	525	Pu238	~1	-
SNAP-27	73	1480	Pu238	3.8	20
BUK (BES-5)	3000-5000	100000	U235	31	385
SNAP-10A	600	30000	U235	-	431

Taula 4.1: Comparació de generadors termoelèctrics de radioisòtops (RTG). Font: Wikipedia

Els instruments de l'habitacle funcionen emprant electricitat, i per l'elecció del RTG s'ha considerat el productor més gran d'electricitat sense importar la seva massa, el generador amb la producció més gran d'energia és el BUK (BES-5), aquest és un RTG amb un nucli de fissió nuclear, el qual ha participat en més de 31 missions.

La potència necessària per a l'habitacle és d'entre 20 i 30 kWh, agafarem el valor de 30 kWh per garantir el bon funcionament d'aquest. El BUK (BES-5) genera entre 3 - 5 kWh, així que l'energia a la missió serà subministrada per 6 RTG amb una massa total de 2310 kg. Aquests hauran d'estar situats fora de l'habitacle per evitar radiació dins d'aquest.

4.2 BATERIES

Fins que no es construeixi un reactor nuclear que subministri suficient potència a l'habitable, s'instal·laran bateries d'ions de liti amb una vida útil de deu anys, més lleugeres i amb menys volum que el seu antecedent de níquel-hidrogen. Aquestes subministraran potència en casos puntuals on s'excedeixi la potència proporcionada pels RTG. També hi haurà bateries separades connectades als elements de suport vital, per a casos d'emergència[14].

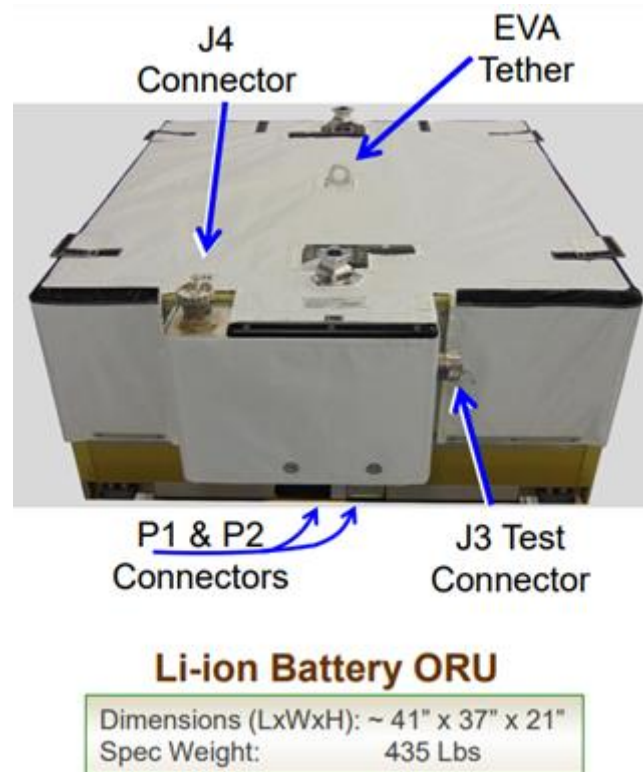


Figura 4.2: Bateria Li-ion. Font: NASA

Característiques de cada conjunt de bateries:	
Massa	197,31 kg
Dimensions	1,01 m x 0,93 m x 0,53 m
Carrega elèctrica	110 Ah
Potència nominal	4 kWh
Cicles de càrrega	60000
Vida útil	10 anys

Taula 4.2: Dades de la bateria Font: NASA

Dues bateries tindran la funció d'assistència per a casos on es superi la potència subministrada, i dues més per casos d'emergència connectades al suport de vida. La suma de les masses d'aquestes, és igual a 789,24 kg.

5. MATERIALS DE CONSTRUCCIÓ

En aquest apartat s'analitzarà i escollirà els materials dels quals estarà fet l'habitable. Aquest seran seleccionats i endreçats per proporcionar la protecció necessària als astronautes, que visquin a la Lluna. Per fer la selecció d'aquests materials es tindran en compte l'ambient hostil que s'ha mencionat en els anteriors punts d'aquest treball.

Els materials en aquest apartat es divideixen en dos tipus: materials estructurals i materials de protecció.

5.1. MATERIALS ESTRUCTURALS

Per a la selecció del material emprat per l'estructura de l'habitat, es valorarà les condicions a les quals estarà sotmès. L'estructura es trobarà en temperatures extremes, en forces les quals podrien arribar als $39,24\text{m/s}^2$ (4G) a l'hora de l'enlairament, amb el buit de l'espai i possibles xocs de meteorits.

Per garantir la seguretat dels astronautes, l'estructura ha de poder suportar aquestes situacions. Per això el material seleccionat haurà de complir els següents requisits:

- Lleugers
- Conductors d'electricitat
- Conductors tèrmics
- No magnètics
- Resistència mecànica
- Resistent a impactes

Els materials que compleixen el llistat anterior i que s'utilitzen en el món aeroespacial són aliatges d'alumini de la sèrie 2000 (on l'aliatge principal és el coure i el secundari el liti) i aliatges de la sèrie 8000 (on l'aliatge principal és el liti), aquests aliatges tenen una menor densitat i millors propietats mecàniques [15].

Aliatge	Densitat (g/cm ³)	Allargament (%)	Mòdul elàstic (GPa)	Resistència mecànica (MPa)	Límit elàstic (MPa)
2050	2.7	8	76.5	503	476
2090	2.59	3-6	76	503	517
2091	2.58	6	75	520	440
2195	2.64	-	76	440	320
2198	2.64	8	77	510	469
2199	2.64	8.5	77	400	345
2219-T6	2.8	5,4	73	430	420

7075	2.8	8	73	480	430
8090	2.55	4.5	77	480	375

Taula 5.1: Comparació d'aliatges. Font: Autoria pròpia

Hi ha una gran quantitat de variants d'aluminis per a ús aeroespacial. Uns anys enrere no hi havia tanta varietat i el que complien millor els requisits de les missions eren els aliatges 7075 i 2219, però amb l'avanç del temps van sorgint millors aliatges amb menys densitat i millors propietats mecàniques [16][17].

Entre els aliatges anomenats, la millor opció actualment és l'aliatge 2090 el qual té un 8% menys de densitat i 10% més d'elasticitat a comparació del 7075. També destaca per tindre una bona soldabilitat, una major resistència a altes i baixes temperatures [18].

Se selecciona l'alumini 2090 en comptes del 2091 perquè aquest últim destaca per la resistència al desgast i el 2090 és més estable en temperatures extremes, encara que els dos són bones opcions com a material estructural [19].

5.2. MATERIALS DE PROTECCIÓ

La protecció de l'habitable es basarà en la tecnologia emprada per la NASA en els revestiments de les seves missions, com per exemple la ISS. Aquesta està dividida segons els medis externs dels quals es vol protegir, els quals són la radiació, la temperatura i els meteorits.

5.2.1. PROTECCIÓ EN CONTRA DE METEORITS

A continuació analitzarem la protecció utilitzada en la ISS, que inspirarà la protecció de l'habitable.

La primera capa que es pot observar és el recobriment de la ISS, que té com a objectiu protegir-la de l'impacte de micrometeorits i brossa orbital, aquest està format per un full d'alumini d'1,3 mm en el cas dels mòduls americans. Tot seguit es troba un cúmul de capes de Nextel, és un teixit ceràmic de gran resistència, i també tindriem una segona capa de kevlar material fet servir per armilles antibales. A 10 centímetres de la fulla exterior d'alumini està el casc de pressió, construït d'alumini amb un gruix d'entre 3 mm i 7 mm en les zones més exposades, darrere d'aquest estarien els astronautes duen a terme les seves tasques [4].

A continuació hi ha les densitats i preu dels elements utilitzats:

Material	Densitat	Preu	Unitats
Nextel	2,7	50	€/Kg
Kevlar	1,14	200	€/ m ²
Alumini	2,59	4	€/Kg

Taula 5.2: Columna amb les densitats davant del preu. Font: A partir de 3m, materialproperties

La idea d'aquesta disposició de les capes, permet que en el moment que la capa exterior és penetrada per algun objecte, aquest es trenqui en petits fragments, els quals seran alentits pels teixits. En el moment que arribin al casc, la zona de contacte serà d'una àrea major a la vegada que molta de l'energia d'impacte s'haurà dissipat.



Figura 5.1: Manta de kevlar i nextel perforada. Font: Quora

5.2.2. PROTECCIÓ ENVERS LA RADIACIÓ

El revestiment per reduir la radiació s'anomena aïllament multicapa MLI (Multi-Layer Insulation). Aquest teixit està conformat de diferents capes les quals s'adapten a les necessitats de cada missió, proporcionant un aïllament tèrmic i contra la radiació [21]. La massa del MLI és de 4,78 kg/ m² a 200€ 0.3048 m² [22].

El material varia de composició segons la missió, però té una estructura general formada per les següents capes:

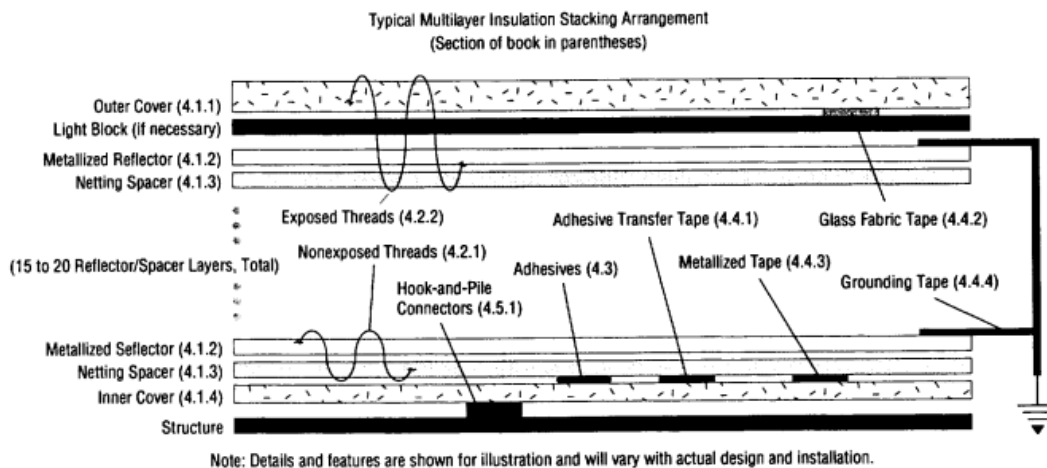


Figura 5.2: Capes MLI. Font: NASA

5.3. PROTECCIÓ TÈRMICA

Un cop protegida l'estructura envers els meteorits i la radiació, cal donar atenció al control tèrmic per a l'habitacle. Les temperatures que podem trobar en la superfície de la Lluna varien entre els $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$ durant la nit i poden arribar als $214\text{ }^{\circ}\text{C}$ durant el dia [23]. Com més elements passius tinguem per controlar la temperatura menys elements de control de temperatura actius seran necessaris i menys energia serà consumida.

Per protegir l'habitacle de les temperatures extremes de l'espai s'ha de tindre en compte una sèrie de requisits: bona capacitat mecànica, que sigui lleuger i una gran tolerància a temperatures extremes. A més a més per poder gestionar la calor la reflectància ha de ser prou alta amb una superfície difusa. Aquestes propietats ens assegura que l'habitacle es mantingui a una temperatura adequada per la tripulació. En aquest projecte es treballarà amb el material ceràmic, Z93, que actualment s'utilitza en l'Estació internacional amb uns resultats satisfactoris [24][25].

El Z93, té una densitat de $0,259\text{ g/mm}^3$ [27], és un pigment d'òxid de zinc en un aglutinat de silicat de potassi, el material es veu com una ceràmica de color blanc amb una estructura microporosa que difon de radiació. Aquest material és el que usarem en la protecció tèrmica de l'habitacle i està situat en la capa més externa de l'habitacle[26].

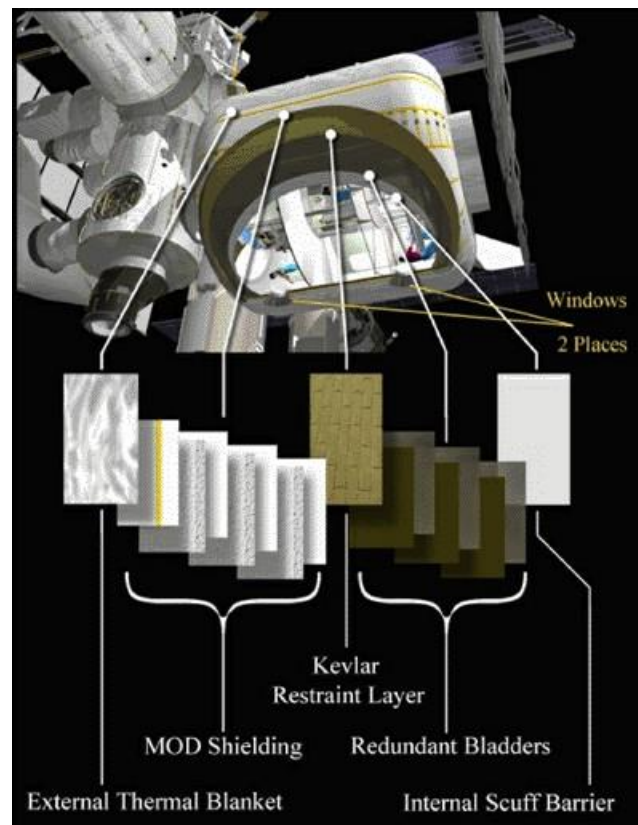


Figura 5.3: Capes modul de la ISS. Font: Science

6. VESTIT ESPACIAL

Per dissenyar un espai on els astronautes puguin executar les seves tasques amb normalitat, és necessari tenir en compte els vestits amb els quals han de treballar.

La NASA a l'hora de dissenyar els vestits en el primer que s'ha centrat és en la seguretat. L'element més perillós al que els astronautes estan exposats és el terra de la Lluna que es comporta com petits vidres. Per això el nou vestit té un conjunt de característiques tolerant a aquesta pols per evitar la inhalació, la contaminació del sistema de suport vital del vestit i de la nau espacial. El vestit també està dissenyat per suportar temperatures de $-156\text{ }^{\circ}\text{C}$ a l'ombra i $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ al sol, aquest vestit també els protegeix de la radiació, els micrometeorits i de la pressió atmosfèrica reduïda [28].



Figura 6.1: vestit espacial. Font: Quo

Als nous vestits espacials se'ls hi ha fet moltes modificacions, però hi ha tres que cal destacar, la primera és que s'ha dissenyat perquè pugui ser utilitzat en qualsevol espai ja sigui la Lluna, a l'estació internacional e inclús Mart, l'altra actualització és l'escotilla d'entrada posterior del vestit i l'última la millora de moviment pels astronautes.



Figura 6.2 vestit espacial per dins. Font: Quo

Com el vestit disposa d'una escotilla d'entrada posterior, aquest afectarà el disseny de l'habitatge, perquè s'ha de tindre en compte el diàmetre d'obertura de l'escotilla.

L'entrada és una de les sales més importants de l'habitatge, ja que està en contacte amb l'espai exterior i la que s'haurà de netejar a la perfecció per no generar cap mena de problema amb la regolita.

Com l'escotilla està en una posició elevada, serà necessari la utilització d'una escala per entrar dins del vestit. L'altura i ample de la porta d'entrada de l'habitacle s'haurà d'adaptar a les dimensions del vestit. La mobilitat és reduïda així que tots els elements dedicats a interactuar amb els éssers humans hauran d'estar dissenyats per a ser utilitzats amb vestit i sense. També cal preveure els elements necessaris per a la seva neteja.

Actualment, el vestit espacial té una massa de 120 kg[29], i de moment s'ha fet una inversió de 800 milions en investigació en el nou vestit espacial, però per fer l'estudi del pressupost més precís, s'usarà el preu final de l'antic vestit espacial, el qual té un cost de 22 milions d'euros [30], ja que actualment no se sap el preu final del nou vestit espacial. En la ISS aquests són compartits pels astronautes pel seu alt cost, com el nostre habitacle està destinat per a 6 persones portarem 3 de diferents talles.

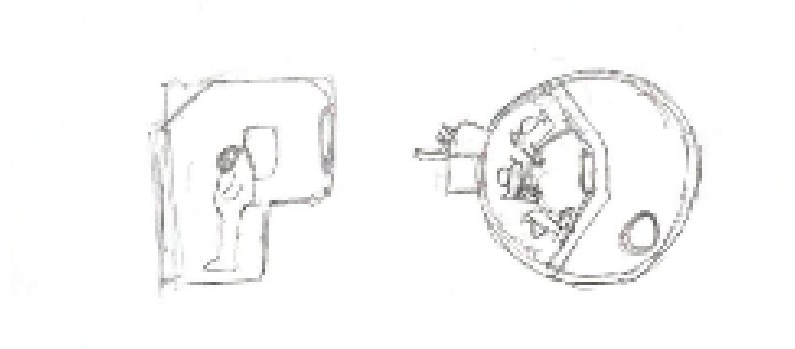


Figura 6.3. Esbós d'entrada i sala de vestits. Font: Autoria pròpia

7. ESTRUCTURA

Aquest tema està dividit en dos apartats. En el primer apartat, es tractarà el càlcul i dimensionament dels elements estructurals de manera teòrica. En el segon apartat, s'analitzarà els elements dimensionats, de manera individual, utilitzant el programa Solidworks, assegurant el seu correcte dimensionament i funcionament. Al final es veurà el conjunt de l'estructura final.

7.1 CÀLCUL I DIMENSIONAMENT

Càrrega d'ús

La càrrega uniforme de cada planta va determinar per la seva funció i ús. A continuació s'analitzarà les càrregues principals que afecta cada biga segons l'ús de les instal·lacions.

Per fer el càlcul dels elements estructurals de l'habitable, cal saber segons la normativa, quina càrrega és aplicada per m². Per conèixer la càrrega aplicada en cada pis, és necessari saber l'ús al qual està destinat.

Nivell de la planta	Ús
Planta baixa	Entrada i maquinària pesant
Primera planta	Lavabo i magatzem
Segona planta	Destinat a investigacions i experiments
Tercera planta	Oficines
Quarta planta	Residencial i gimnàs
Teulada	Possible acumulació de regolita .

Taula 7.1. Ús donat a cada pis de l'habitable. Font: Autoria pròpia

Un cop conegut les funcions de cada pis, caldrà comparar amb les taules en el DB SE-AE (document bàsic de seguretat estructural segons accions en l'edificació), que indiquen quines són les càrregues aplicades segons l'ús i categoria.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Taula 7.2. Valors característics de sobrecarregues d'ús. Font: Codigotecnico

Espai	Subcategoría d'ús	Carrega uniforme (KN/ m ²)	Carrega puntual (KN/ m ²)
Lavabo	C2	4	4
Magatzem	A2	3	2
Destinat a investigacions	C1	4	4
Destinat a investigacions ofimàtiques	B	2	2
Residencial	A1	2	2
Gimnàs	C4	5	7
Neu/ regolita	-	1	1

Taula 7.3 Relació entre funció de l'espai, subcategoría d'ús i carregues. Font: Autoria pròpia

A continuació veurem una taula on es veurà la quantitat de càrrega que suporta cada biga horitzontal, la quantitat d'elles i la força total aplicada per planta.

		Percentatge de pes	Quantitat per pis
Biga principal		60%	1
Biga secundària		30%	2
Biga terciària		10%	4
Planta	kN/ m ²	Superfície [m ²]	Força total aplicada [kN]
1	4	11	44
2	4	11	44
3	2	11	22
4	4	11	44
5	1	11	11

Taula 7.4. Càrregues aplicades a les bigues. Font: Autoria pròpia

En la següent taula es desglossa les càrregues per ús que es veuen transmeses als 8 pilars verticals, als quals se'ls hi ha assignat una lletra en sentit de les agulles del rellotge.

Forces aplicades en els pilars en kN								
Planta/Pilar	A	B	C	D	E	F	G	H
1	13,2	1,1	6,6	1,1	13,2	1,1	6,6	1,1
2	1,1	13,2	1,1	6,6	1,1	13,2	1,1	6,6
3	3,3	0,55	6,6	0,55	3,3	0,55	6,6	0,55
4	1,1	6,6	1,1	13,2	1,1	6,6	1,1	13,2
5	3,3	0,275	1,65	0,275	3,3	0,275	1,65	0,275
Sumatori	22	21,725	17,05	21,725	22	21,725	17,05	21,725

Taula 7.5. Distribució de les càrregues aplicades a la barra segons l'ús. Font: Autoria pròpia

La barra més sol·licitada per càrregues per ús serà la barra A amb una càrrega de 22 kN. Addicionalment, s'ha de tindre en compte la força exercida per l'estructura de protecció que aplica a cada biga vertical una càrrega de 45,05 kN. El sumatori d'aquestes dues càrregues dóna com a resultat 67,05 kN, que és el valor de la càrrega màxima que ha de suportar una biga vertical.

Coeficients de seguretat

Abans de fer cap mena de càlcul és necessari determinar el coeficient de seguretat amb el que es treballarà. Els coets treballen amb coeficient de seguretat entre 1,1 i 1,25 [31] encara que en el projecte s'utilitzarà un coeficient d'1,5 com la NASA recomana [32]. Augmentant la seguretat de l'habitable i reduint possibles accidents.

Un cop definit totes les càrregues d'ús, i els coeficients de seguretat, es pot determinar les càrregues destinades a les bigues transversals i verticals. A continuació calcularem si les seccions dins del mercat són òptimes per al tipus de construcció que es vol realitzar.

Biga vertical

Per a la selecció de la biga vertical, cal tindre en compte que la biga estarà sotmesa a una força de 67 kN. Per recomanació del professorat serà determinada com a una barra fixa per un extrem i lliure en l'altre, encara que no sigui el cas concret de l'estructura.

Es portarà a cap un estudi teòric, per al dimensionament de biga evitant el vinclament de la barra, és a dir la deformació en forma de curvatura o flexió lateral causada per l'acció de forces de compressió.

Primer s'ha de relacionar la longitud de la barra amb el seu gruix, per tal de saber en quin moment es pot produir vinclament. Aquesta relació s'anomena esveltesa (λ) és un coeficient adimensional que relaciona longitud de vinclament (L_v) amb el radi d'inèrcia mínim (i) [33]

$$\lambda = \frac{L_v}{i}$$

La longitud de vinclament ve determinada segons el tipus de barra que tinguis en el cas d'aquest treball, és una barra encastada en un extrem i lliure en l'altre. Obtenint:

$$L_v = L * 2$$

Per determinar la càrrega crítica d'una barra a compressió s'utilitza la fórmula d'Euler:

$$F_C = \pi^2 \frac{E * I_{min}}{L_v^2}$$

F_C = força o carrega crítica [N]

L_v = Longitud vinclament [m]

I_{min} = Moment inèrcia mínim de la secció de la columna [m⁴]

E = mòdul de Young [N/ m²]

La força mínim que ha de suportar cada vegada és 67 kN, el mòdul de Young de l'alumini seleccionat és de 76 GPa i la longitud és de 16 m. Substituint s'obté un valor de la inèrcia mínima d' $1,3 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$.

En revisar el catàleg de perfils circulars d'alumini, no hi ha cap que tingui valors pròxims a aquest valor[34], per això caldrà demanar un perfil fora de catàleg amb les següents dimensions:

Diàmetre 250 mm i amb un gruix 30 mm.

Aquests valors s'hi han aconseguit, calculant la inèrcia de l'àrea descrita fins a trobar una amb el valor desitjat.

Biga horitzontal

La biga principal està sotmesa a una càrrega distribuïda de 3,7 kN/m, amb un suport a banda i banda.

Al realitzar el càlcul de ΣFy i ΣM obtindrem el valor de les reaccions on

$$R1 = R2 = \frac{Q}{2}$$

La càrrega total aplicada $Q = q * L$

Si barregem les dues fórmules s'obté:

$$R1 = R2 = \frac{q * L}{2}$$

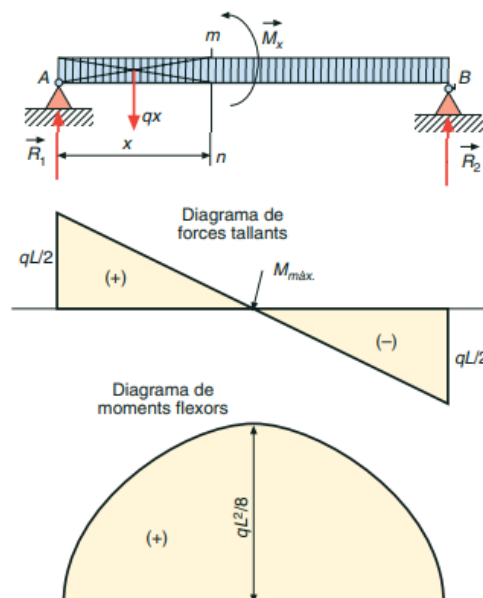


Figura 7.1. Distribució de càrregues. Font: Mheducation

En aquest cas tenim una càrrega uniformement "q" repartida sobre una biga recolzada en els dos extrems. És necessari trobar el moment flector màxim, de la biga la qual dependrà de la distància "x" a la qual es trobi del suport [33]. Sabem que el moment

flector màxim s'esdevé quan l'esforç tallant canvia de signe i en aquest cas s'anul·la, és a dir:

$$V_x = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x = 0 \quad \text{on} \quad x = \frac{L}{2}$$

Resultant

$$M_x = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2} \quad \text{on} \quad x = \frac{L}{2}$$

Obtenint que

$$M_{flector\ max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 170122,92 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Per a dimensionar la secció de la biga, s'aplica la fórmula de l'esforç segons el coeficient de seguretat i la del moment de resistència de la biga:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_e}{n}$$

$$W_z = \frac{M_{max}}{\sigma_t}$$

On σ_e és la tensió última a tracció, l'aliatge d'alumini escollida té un valor de 550 MPa i "n" és el coeficient de seguretat amb el valor d'1,5.

Resultant que $\sigma_t = 366,6 \text{ MPa}$

Si $\sigma_t = \sigma_x$ i $M_{flexor} = 170119,92 \text{ Nm}$
 $W_z = 4,64028 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 464 \text{ cm}^3$

Al comparar els valors a les taules de perfils d'alumini de secció rectangular, és visible que el perfil més gran és de 300*120 amb un gruix de 5 mm i té una W_z de 309,56 cm³ [35], un valor distant al necessari, per a la construcció de l'habitacle, obligant a demanar un perfil fora de catàleg, augmentant el preu de cost.

Per trobar les mesures del perfil necessàries, es dimensionarà a partir del mòdul resistent W_x , amb la fórmula:

$$W_x = \frac{I_x}{y}$$

" I_x " és el moment d'inèrcia de la secció i "y" la distància al punt més llunyà del centre de gravetat, en aquest cas serà l'altura entre dos.

A continuació hi ha els càlculs realitzats per trobar els perfil més adient.

Gruix	Altura (mm)	Base (mm)	Forma	I_y (mm ⁴)	W (mm ³)	W (cm ³)
16	300	120	Rectangle	107.985.000	359.950	359,95
20	300	120	Rectangle	125.625.000	418.750	418,75
25	300	120	Rectangle	142.122.000	473.740	473,74
20	300	150	Rectangle	149.185.000	497.283,33	497,28

Taula 7.6. Càlcul del mòdul resistent W. Font: Autoria pròpia

Després de dur a terme l'estudi teòric amb un coeficient de seguretat d'1,5 s'ha determinat que la mesura ideal és de 300 mm x 150 mm amb un gruix de 20 mm [36]. L'alumini no té dificultat de dimensions perquè l'alumini es genera per extrusió el qual tindrà una $W=497,28$ cm³.

Es seguirà el mateix procediment pels càlculs de les altres bigues, obtenint els següents resultats.

Càlculs de bigues horitzontals	Biga principal	Biga secundària	Biga terciària
Càrrega distribuïda [kN/m]	3,6708	1,83	0,6128
Coeficient de seguretat	1,5	1,5	1,5
Tensió última a tracció [MPa]	550	550	550
Longitud biga [m]	7,2	3,4	3,4
Moment flector màxim [N m]	169.841,6	9.311,9	3.118,2
Wyz [cm ³]	463,2	25,4	8,5

Taula 7.7. Càlcul del moment de resistència de la biga. Font: Autoria pròpia

Al revisar les taules amb les dades trobades trobem les dimensions necessàries dels perfils rectangulars [35], que utilitzarem en la construcció de l'habitable.

Bigues horitzontals	Biga principal	Biga secundària	Biga terciària
Dimensions [mm]	300x150	100x50	100x20
Gruix [mm]	20	4	2

Taula 7.8. Dimensions de perfil rectangular Font: Autoria pròpia

7.2 ANÀLISI D'ELEMENTS ESTRUCTURALS

A continuació s'utilitzarà el programa solidworks per a la realització del modelatge 3D i l'estudi de l'estructura. Els càlculs teòrics de dimensionament de les bigues es troben als annexos en el punt 7 i 8

Abans de començar cal introduir dins del programa el material que s'ha de fer servir, ja que dins de la seva biblioteca de materials no hi és. Per introduir nous materials cal anar a la carpeta de materials personalitzats i seleccionar l'opció de nou material.

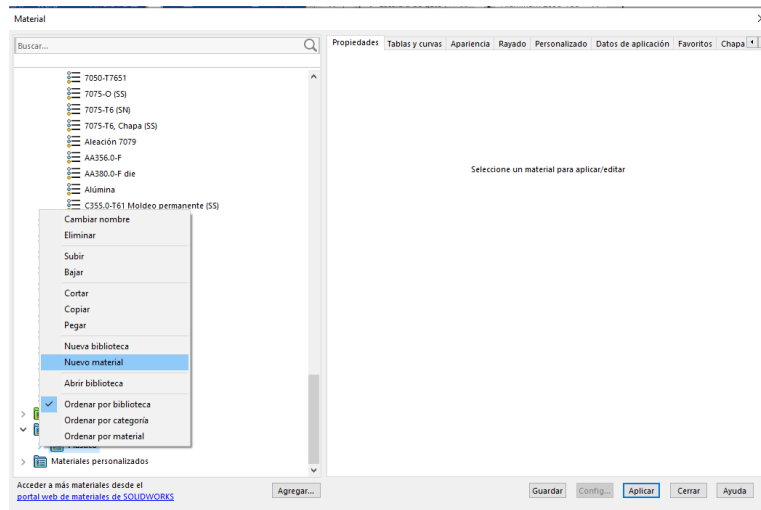


Figura 7.2. Nou material Solidworks. Font: Autoria pròpia

I omplir la taula amb les característiques d'aquest (recordem que l'aliatge escollit s'anomena Alumini 2090).

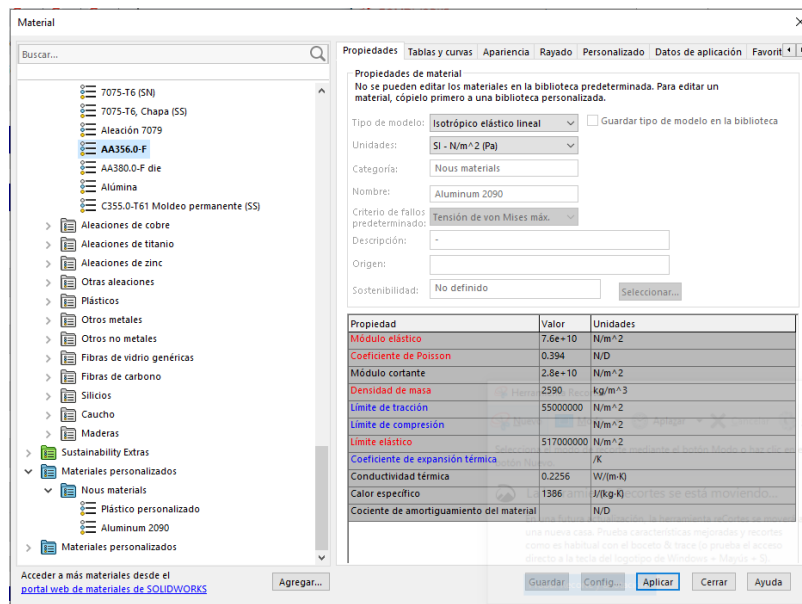


Figura 7.3. Nou material Auminium 2090 Solidworks. Font: Autoria pròpia

Anàlisi biga vertical tubular

A continuació analitzarem la simulació de la biga vertical tubular. Primer de tot s'ha de dimensionar el cilindre amb les mesures obtingudes en l'apartat anterior, el diàmetre exterior té una mesura de 220 mm i un gruix de 30 mm amb una longitud de 16.000 mm.

Un cop dimensionat es crea un estudi d'anàlisi estàtic, on se selecciona:
Material: alumini 2090
Punts de subjecció: un dels extrems de la barra és fix, l'altre extrem és lliure.

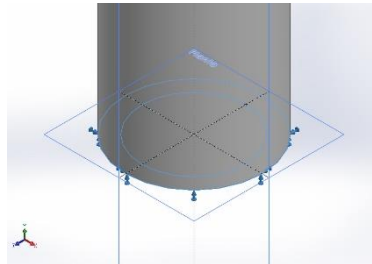


Figura 7.4. Subjecció barra. Font: Autoria pròpia

Carrega aplicada: 67.050 N aplicada en l'extrem lliure.

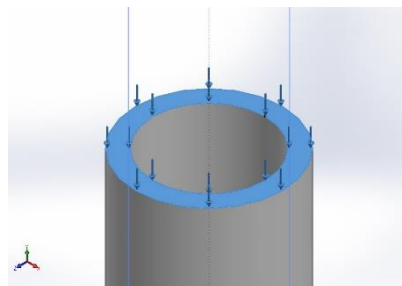


Figura 7.5. Carrega aplicada a la barra. Font: Autoria pròpia

Gravetat: Com l'estructura suportarà fins a quatre cops la força de la gravetat, l'anàlisi es realitzarà en les condicions més extremes, amb una gravetat de $39,24 \text{ m/s}^2$. I el software realitza la simulació de l'estudi que mostra l'element analitzat en diferents colors.

L'anàlisi de tensions recorda que el límit elàstic de la peça és $5,170 \times 10^8$, el que significa que si algun element passa d'aquest valor, començarà la deformació plàstica, és a dir, un cop doblegat no recuperaria la forma original en deixar d'aplicar la força. La barra en estudi majoritàriament està de color verd groguenc i el punt màxim arriba a un valor de Von Mises de $3,923 \times 10^6$ significativament inferior al valor màxim admissible.

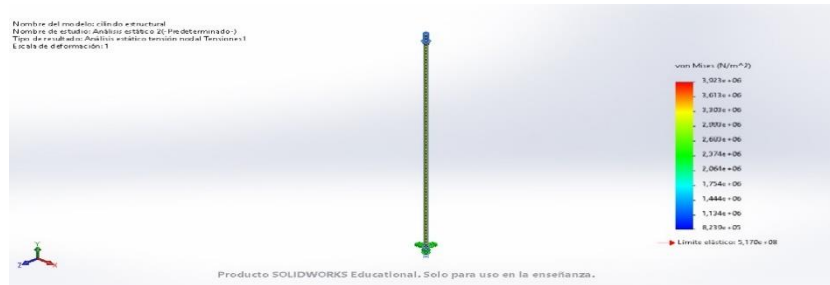


Figura 7.7. Von Mises barra. Font: Autorial pròpia

L'anàlisi de deformacions indica quin desplaçament pateix l'element estudiat. El màxim desplaçament que pateix la barra està situat en l'extrem lliure, el qual es desplaça 0,693 mm, que està dins del límit admissible.

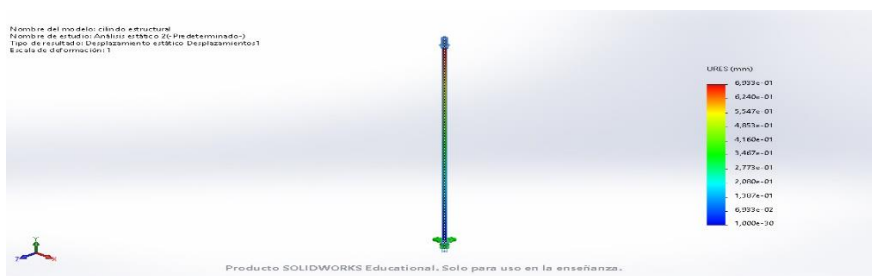


Figura 7.8. Desplaçament barra. Font: Autorial pròpia

Anàlisi de la biga principal horitzontal amb secció rectangular

A continuació analitzarem la biga principal horitzontal amb secció rectangular. Primer s'ha de dimensionar amb les mesures trobades, que són: 300*100 mm i un gruix de 20 mm i una longitud de 7.180 mm.

Un cop dimensionat es crea un estudi d'anàlisi estàtic, on es selecciona:
Material: aluminium 2090

Punts de subjecció: els dos extrems de la biga són fixos.

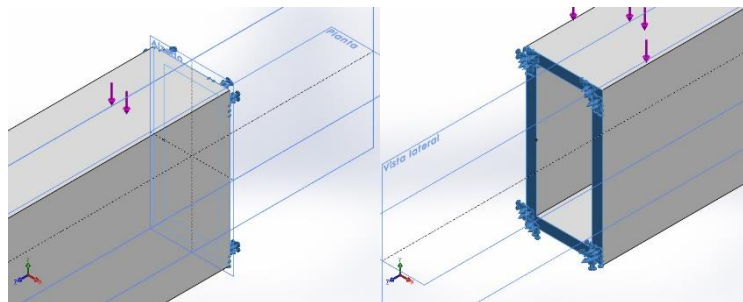


Figura 7.9. Subjecció biga principal. Font: Autorial pròpia

Carrega aplicada: 264.000 N aplicada en la superfície superior.

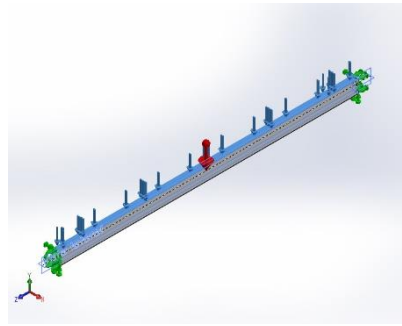


Figura 7.10. Carrega aplicada biga principal. Font: Autoria pròpia

Gravetat: 39,24 m/s²

I el software realitza la simulació de l'estudi

A l'anàlisi de tensions els punts més afectats són els extrems superiors de la biga, però dins dels marges tolerables.

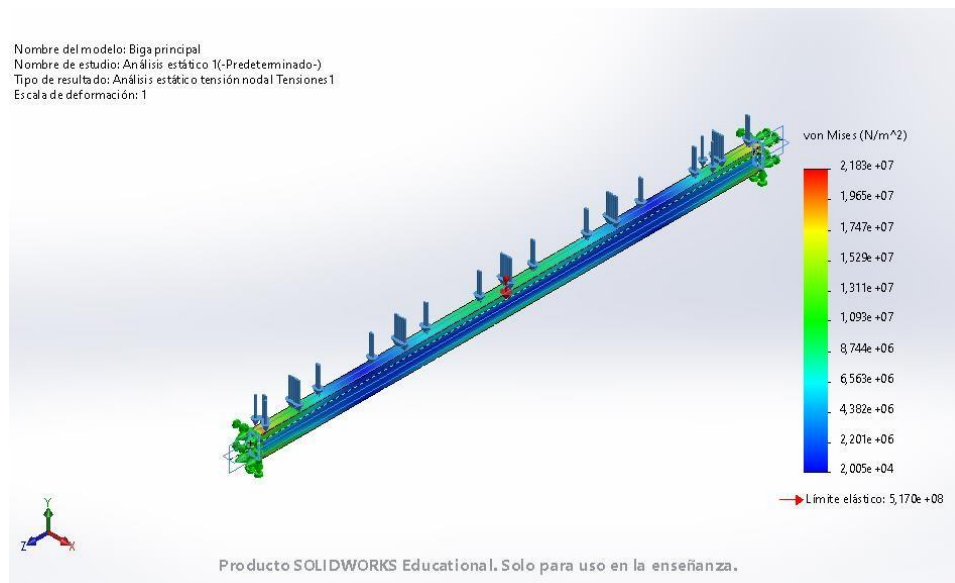


Figura 7.11. Von Misses biga principal. Font: Autoria pròpia

El desplaçament màxim que pateix la biga és de 2,179 mm dins dels marges tolerables, aquest està localitzat en el centre de la biga.

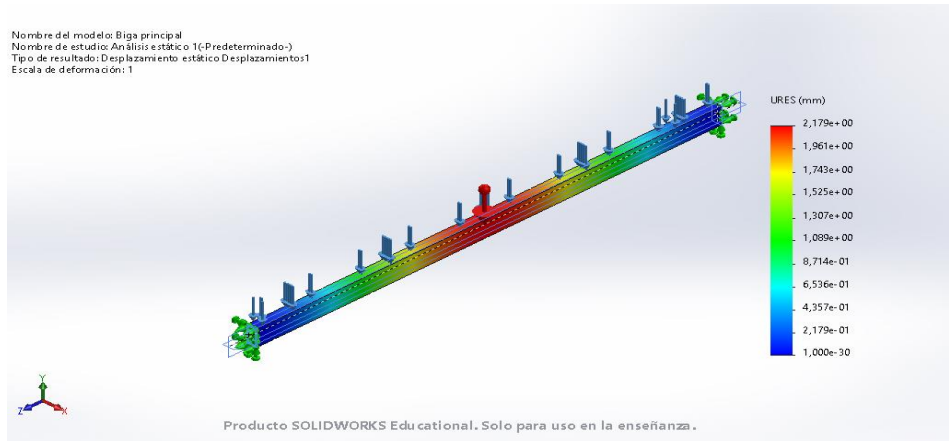


Figura 7.12. Desplaçament biga principal. Font: Autoria pròpia

Amb aquest estudi veiem que la biga està ben dimensionada, i és apta per a la construcció.

Per evitar l'extensió innecessària d'aquest treball, les següents bigues horitzontals s'analitzaran en una taula, En cas de voler veure les imatges de tots els estudis realitzats, estaran annexades en els punts de l'1 al 5.

	Biga secundària horitzontal	Biga terciària horitzontal
Mesures [mm]	100x50	100x20
Gruix [mm]	4	2
Llarg [mm]		
Material	Alumini 2090	Alumini 2090
Punts de subjecció	Extrems de la biga fixos	Extrems de la biga fixos
Carrega aplicada [N]	3300	1100
Gravetat [N/m ²]	9,8	9,8
Limit elàstic teòric [Gpa]	5,17	5,17
Limit elàstic màxim [Mpa]	3,67	3,57
Deformació màxima [mm]	3,12	3.06
Validació per a construcció	Apte	Apte

Taula 7.9. Subjecció pilar principal. Font: Autoria pròpia

Les bigues han sigut ben dimensionades i són funcionals per a l'ús en la construcció de l'habitable.

Càpsula exterior

A continuació analitzarem la càpsula exterior. Com s'ha seguit el mateix dimensionament que a la ISS no hauria d'haver-hi cap problema.

S'ha seleccionat l'àrea interior la qual estarà sotmesa a una atmosfera, però per coeficient de seguretat es posarà dues atmosferes.

El desplaçament i les tensions admissibles segueixen dins dels marges admissibles
A continuació veiem l'estructura final amb les parets de protecció i amb l'espai per a la porta cap a l'exterior.

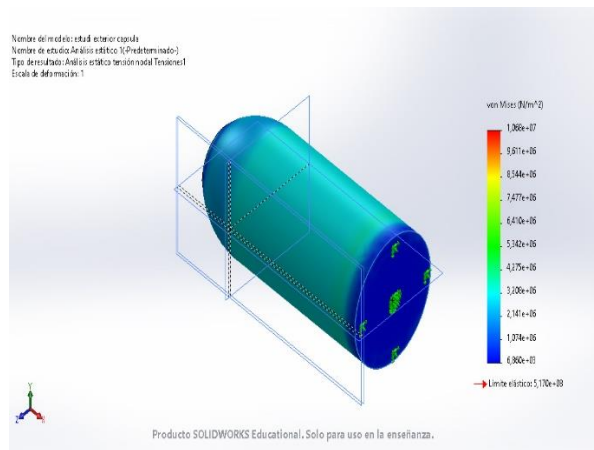


Figura 7.13 Anàlisi Capsula exterior von Misses. Autoria pròpia

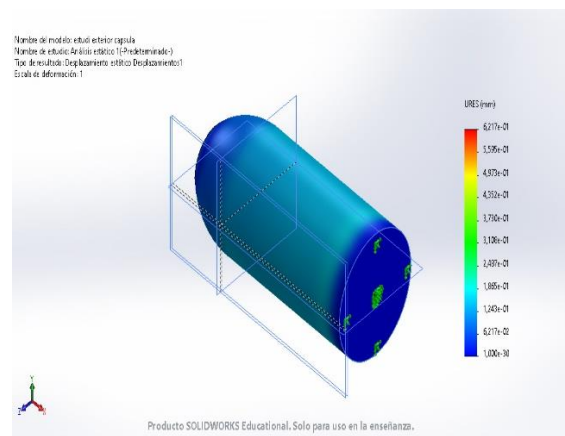


Figura 7.14 Anàlisi Capsula exterior desplaçament. Autoria pròpia

Habitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

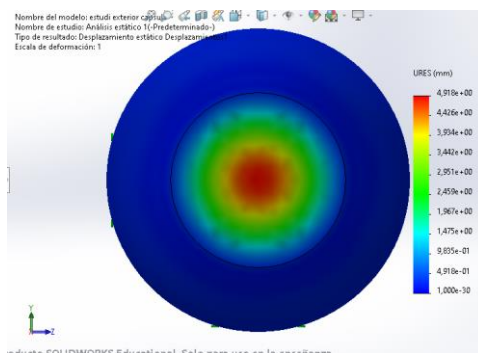


Figura 7.15 Anàlisi Capsula exterior desplaçament superior. Autorial pròpia

Esquelet

En adjuntar totes les bigues mencionades obtenim l'esquelet de l'habitacle. A l'estructura se li ha deformat el final de les bigues cilíndriques verticals, per a poder introduir-se dins de la còfia, però també s'ha realitzat l'estudi, el qual es pot veure en els annexes en el punt 4, amb uns resultats aptes per a la construcció.



Figura 7.13. Estructura hàbitat . Font: Autoria pròpia

Al tindre l'estructura sencera es pot fer l'assemblatge de l'habitacle. Primerament, s'afegeix les parets de l'entrada, els terra d'acer xapat amb un gruix de 3 mm i les escales verticals. Encara que aquestes no serien del tot necessaries perquè amb un parell de barres transversals es podria canviar de pis sense problema perquè gràcies a la gravetat disminuïda amb un petit impuls et pots traslladar-se a més fàcilment. En aquest projecte s'ha utilitzat la normativa d'escales fixes de servei.[37]

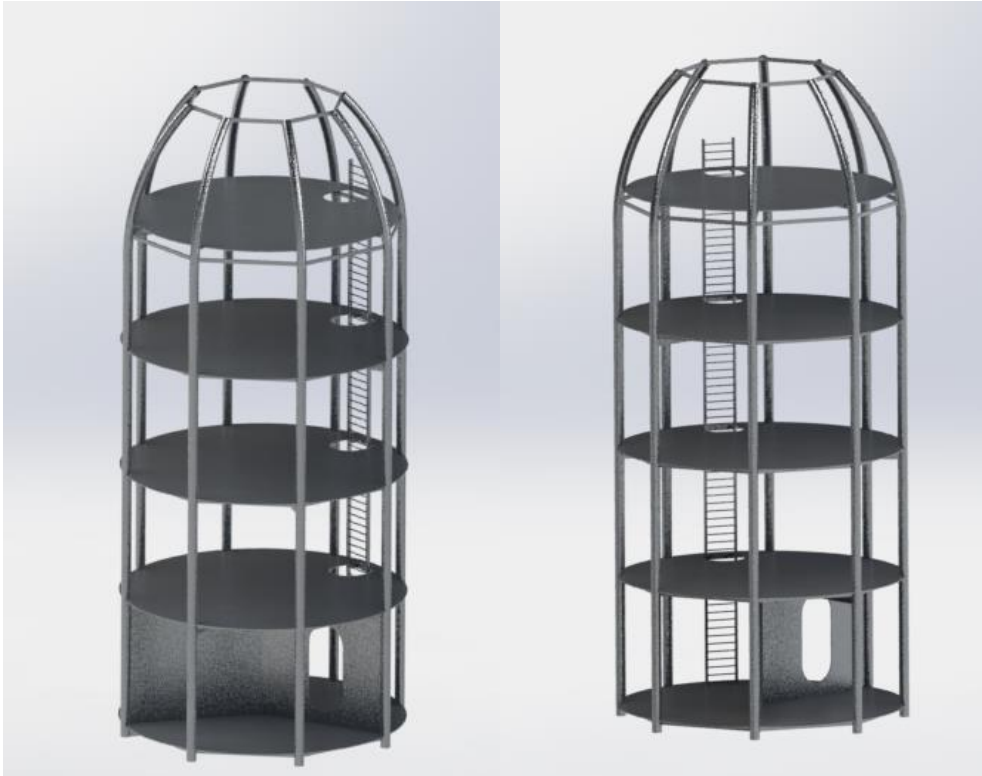


Figura 7.14: Estructura habitat amb terra 1. Font: Autoria pròpia

Figura 7.15: Estructura habitat amb terra 2. Font: Autoria pròpia

A continuació veiem l'estructura final amb les parets de protecció i amb l'espai per a la porta cap a l'exterior.

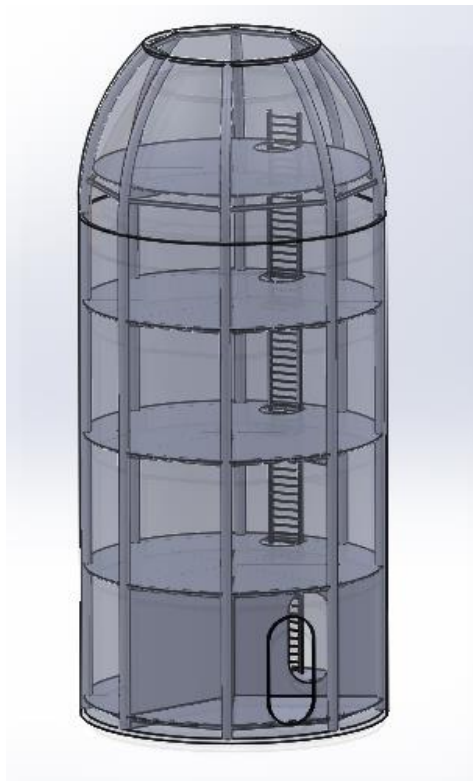


Figura 7.15. hàbitat transparent sense textures. Font: Autoria pròpia

A continuació tenim un recull d'imatges i renderitzats de l'estructura en diferents entorns i formats.



Figura 7.16. hàbitat final amb textures. Font: Autoria pròpia



Figura 7.17. Hàbitat transparent. Font: Autoria pròpia

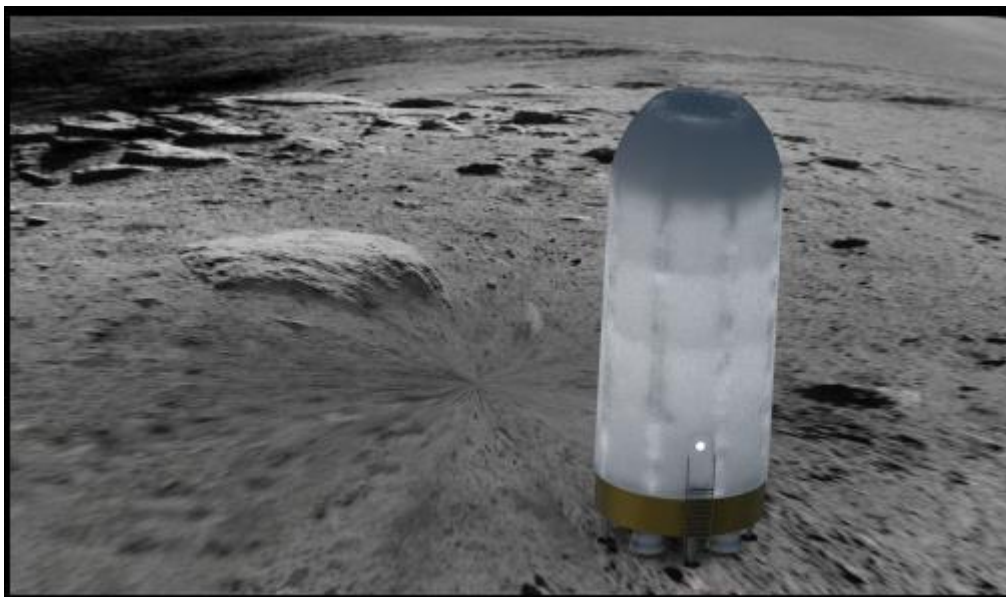


Figura 7.18. Habitat en la superfície de la Lluna. Font: Autoria pròpia

8. DIVISIÓ D'ESPAIS D'UN HÀBITAT CONVENCIONAL

El disseny d'un hàbitat funcional ha de complir les necessitats bàsiques humanes, assegurant unes condicions mínimes per mantenir una qualitat de vida estandard. En aquest apartat en tindrem en compte aquestes per assegurar una distribució d'espai homogènia i el màxim profitosa possible. També serà necessari analitzar les necessitats físiques i psicològiques dels humans, analitzar els sistemes interns necessaris per a la bona funcionalitat, revisar les rutines dels cosmonautes i tenir en compte el seu entorn.

Aquesta secció serà d'utilitat per determinar les mesures mínimes necessàries de l'habitable.

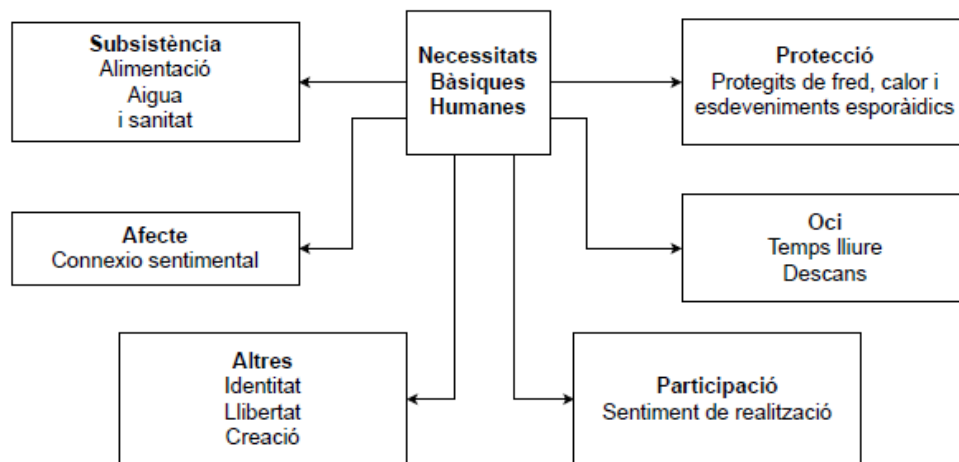


Figura 8.1: Esquema necessitats bàsiques humanes. Font: Autoria pròpia

Per cobrir les necessitats bàsiques humanes, es valorarà els punts que es poden observar al gràfic, els anirem analitzant per ordre descendent d'importància.

Protecció

En un entorn terrestre la protecció aniria en segona posició, però en un entorn tan hostil com és l'espai amb un error mínim la mort seria quasi immediata, per això està en primera posició.

Considerem l'espai un entorn hostil per la gran quantitat de riscos que hi ha en ell. Un dels riscos més notoris és el buit, el qual destaca per una pressió molt baixa. Altres riscos serien les temperatures extremes i la radiació, ja que aquestes poden arribar a provocar la mort instantània de qualsevol astronauta si no es tenen en compte. Hi ha una infinitud de riscos per a la vida humana i per això es considera l'espai com un ambient hostil.

Per crear un entorn segur s'ha de fer un bon estudi de l'estructura dissenyada i una selecció adequada dels materials, assegurant la protecció en enfront de radiació, impactes de brossa espacial o descompressió. També s'ha de tenir en compte que s'ha de regular la temperatura i la renovació d'aire. El compliment de totes aquestes condicions generarà una alta seguretat.

Subsistència

Els aliments i l'aigua són uns béns fonamentals i escassos de trobar de manera natural en la Lluna, per això s'ha de fer una bona previsió d'aquests. Segons el temps d'estada dins de l'habitacle, s'hauria de planificar de manera detallada i exhaustiva amb anterioritat l'arribada de més subministraments.

També s'ha de fer esport per mantenir la musculatura en condicions d'una gravetat disminuïda. Ja que això podria afectar a la nostra salut a la tornada.

Participació

És necessari que tots els membres de l'habitatge tinguin unes tasques assignades atribuïdes segons les seves capacitats. Aquestes proporcionaran una sensació d'autorealització i a la vegada d'acceptació dins del grup de treball.

Oci

Per a que no disminueixi la productivitat d'un ésser humà, cal assegurar temps lliure per a cada individu, per a la realització d'activitats de propi interès. En aquest apartat també es valora el descans mínim necessari per als habitants, encara que es faria per torns.

Afecte

Els humans ens agrada viure en grups familiars, amistosos i de tota mena de vincles socials, per això a part de la comunicació entre els membres de l'habitacle, és necessari la telecomunicació amb les persones desitjades.

Altres

La identitat: És el nom propi i la mateixa identitat, cosa que està assegurada.
Llibertat: En el moment d'estar a la Lluna, perds part de la teva llibertat, ja que el moviment està limitat, segueixes ordres de tot un equip, perquè de moment tot habitacle a la Lluna està destinat a la ciència. Hi ha divesros aspectes psicològics no s'han analitzat en aquesta memòria però cal considerar-los per la seva rellevància en estudis futurs.

Creació

A continuació veurem un llistat de les necessitats mínimes a cobrir per un correcte funcionament de l'habitatge. Ho dividirem en dues parts, la que interactua contínuament amb els passatgers i la que actua indirectament amb ells:

Necessitats mínimes cobrir per un correcte funcionament de l'habitatge	
Interacció directa	Interacció indirecta
Dormitoris	Control tèrmic
Preparació d'aliments	Reciclatge de residus
Zona alimentació	Màquinaria de suport vital
Espai d'higiene personal	Control de pols
Lavabo adaptat a gravetat	Elements passius de seguretat
Zona de treball i estudi	
Zona musculació	
Recreació i oci	
Centre mèdic	
Entrada i sortida de l'habitacle	
Emmagatzematge de subministraments	
Telecomunicacions	

Taula 8.1: Necesitats mínimes. Font: Autoria pròpia

Habitats humans per a altres mons
Álvaro Pérez Jiménez

Una bona distribució dels espais interiors millora la sensació de confort i millorar la productivitat de l'equip. En la figura 8.2 s'han dividit els espais segons la interacció amb els humans, amb l'objectiu de l'aïllament de les maquinàries més sorolloses per millorar l'estat de confort dins l'habitacle. Per exemple la maquinària de suport vital de la ISS genera una gran quantitat de soroll i els astronautes estan obligats a acostumar-se, però en el disseny d'aquest habitacle es dividirà les zones per disminuir els possibles sorolls creats per la maquinària. En aquest apartat es mostra un disseny de la distribució de mobiliari a l'interior de l'habitacle.

Amb el llistat dels diferents espais necessaris i la divisió d'aquest, podem veure un esbós de la distribució dins de l'hàbitat.

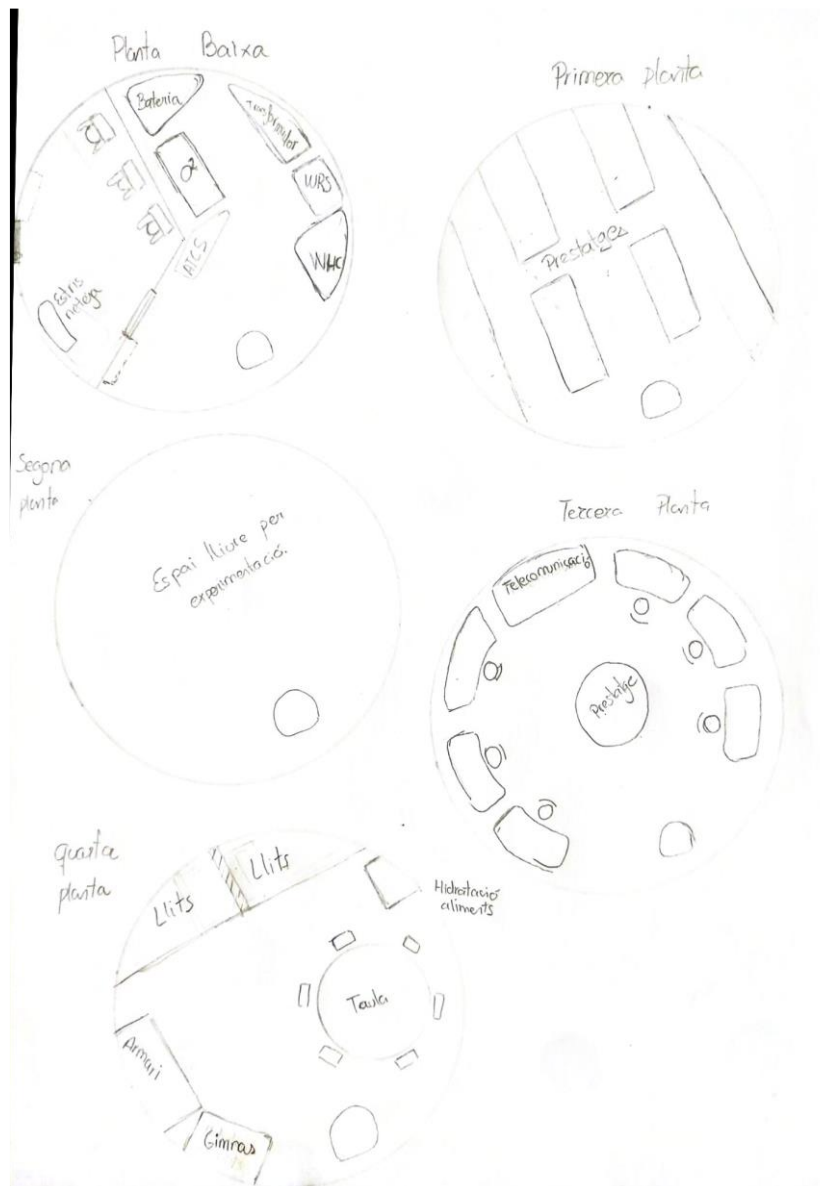


Figura 8.2: Croquis divisió d'espais. Font: Autoria pròpia

Al costat de l'entrada hi ha tres vestits espacials i els seus corresponents estris de neteja. En la mateixa planta baixa es troba la maquinària de suport de vida i el lavabo.

La primera planta està destinada a l'emmagatzematge d'aliments i provisions, aquesta és la més propera a l'entrada per a facilitació del seu proveïment.

A la segona planta, hi ha un espai lliure per a la realització d'experiments científics adaptable a qualsevol necessitat.

En la tercera planta es considera un espai destinat a ofimàtica i a telecomunicacions també hi ha un espai d'emmagatzematge en el centre.

En el quart pis, hi ha els dormitoris, dissenyat per a sis persones, amb un llit per a cada una, sota d'aquests hi ha espai d'emmagatzematge per la roba de diari i els efectes personals. Tenint un espai propi, els habitants tindran sensació de confort. La maquinària necessària per hidratar i escalfa els aliments es troba al costat de la taula rodona, aquesta està rodejada de 6 cadires. La taula és l'espai més important de l'habitacle, ja que és multifuncional, representa zona d'alimentació, preparació d'aliments i recreació i oci. Finalment, hi ha la zona de musculació amb la maquinària necessària.

A continuació anirem entrant en detall de cada zona de l'habitacle.

Els dormitoris.

Una de les parts més rellevants dins de l'habitacle és els dormitoris, ja que si el descans de la tripulació no és l'adequat, afectarà significativament a la productivitat.

Sota cada llit hi ha espai d'emmagatzematge pels efectes personals de la tripulació.

L'estructura del llit està dissenyada amb el mínim material suportar el pes d'una persona on els marcs del llit són de magnesi i el somier de filferro. I els calaixos estan fets de plàstic resistent.

Preparació d'aliments i zona d'alimentació

L'opció de cuinar a l'espai es va descartar per la facilitat que té portar aliments deshidratats. Gràcies a aquests s'evita el malbaratament d'aliments, de temps i d'espai pels estris de cuina. Al costat de la taula hi trobem la màquina de rehidratació d'aliments, aquesta, insereix una quantitat d'aigua calenta dins dels "super bowls" unes bosses amb tancament zip amb aliments deshidratats, un cop l'aigua és dins ja es pot menjar. La taula també forma part de la vida social en l'habitacle per això és important que els seients siguin còmodes però lleugers.

Espai d'higiene personal

Tenint en compte que la Lluna té una gravetat d'1,6 g i que l'aigua de moment és un recurs limitat, cal valorar molt bé el tema de la higiene personal. Dins de la ISS s'han provat diverses formes de dutxar-se com per exemple la del SKYLAB, on s'envoltaven d'un TUB i després dins d'aquest s'ensabonaven i aclarien amb 2,8 l d'aigua amb un sistema de pluja artificial.

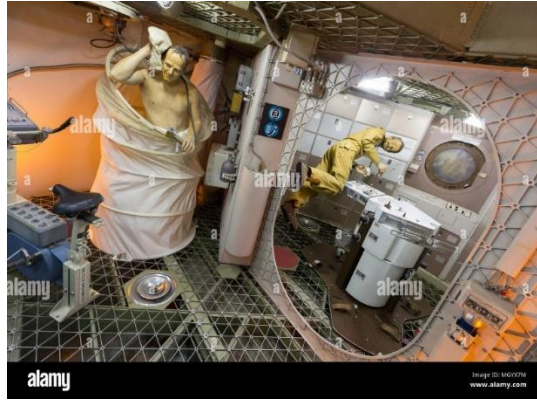


Figura 8.3: Dutxa skylab. Font: Acortar

Actualment, utilitzen sabó sense necessitat d'esbandida i l'aigua se subministra dins de bossetes, ajudant a minimitzar el desaprofitament d'aquesta. Fins que no es trobi una manera d'obtenir aigua de manera abundant a la Lluna, el mètode de neteja continuarà sent aquest últim mencionat. Com a la Lluna si hi ha gravetat (1/6 part de la gravetat terrestre), al lavabo hi haurà un desguàs per a la recollida de l'aigua, aquesta posteriorment serà tractada per a la seva reutilització.

Lavabo

El lavabo de l'habitatge és el mateix que s'utilitza en l'estació internacional, perquè està dissenyat en treballar en microgravetat assegurant-nos del correcte funcionament aquest en una gravetat reduïda com la de la Lluna.



Figura 8.4: Lavabo de la ISS. Font: Flipada

Zona musculació

La musculatura dels astronautes es veurà afectada per la menor gravetat després d'una llarga estada a l'hàbitat i el fet de retornar a la Terra. Si no entrenen els seus músculs, augmentarà la probabilitat de lesions i la dificultat de retornar a la vida quotidiana. Per això hi ha un espai reservat a la musculació, on hi trobarem diferents màquines adaptades a la gravetat de la Lluna.

Cinta per córrer: Per a la realització d'exercicis cardiovasculars utilitzarem una cinta de córrer amb un arnès que t'empeny cap a la cinta. Evitant que les passes es facin més llargues.



Figura 8.5: Màquina per fer exercici al espai. Font: esa

Aparells de musculació: Usualment per treballar els músculs és necessari l'ús de pesos, però com cada gram extra és important a l'hora d'anar a l'espai, s'utilitzen pistons pneumàtics. Aquest es poden modular per a la simulació de diferents pesos i a la vegada són més lleugers.

Aquesta màquina està dissenyada amb diferents distribucions per actuar en diferents zones del teu cos.



Figura 8.6: Màquina de musculació a l'espai. Font:As

Zona de treball

La zona de treball es pot dir que és la més modificable de les que hi ha dins de l'habitacle, ja que de base posarem taules i cadires, però ha de ser adaptable al treball que es faci en cada moment. Encara que, com es menciona a l'esbós, hi ha dues zones de treball, una d'estil ofimàtic i l'altre més experimental al costat de la maquinària.

Centre mèdic

Un factor més per incrementar la seguretat a la Lluna, ha de ser la possibilitat de tractar mèdicament qualsevol incidència que pugui succeir. Per això es tindrà els materials mínims per poder fer una petita intervenció en cas de màxima necessitat, encara que es prioritzarà dur a terme aquestes intervencions a la Terra.

Recreació i oci

Una zona de recreació i oci és un espai on la tripulació pot descansar la ment i entretenir-se, usualment un espai on es pot estar acompanyat d'altres persones. La taula és un espai on es pot fer totes aquestes coses amb un àmbit social, a la vegada que poden fer ús dels elements electrònics com telèfons intel·ligents o portàtils. Aquest tindran senyal gràcies a NOKIA la qual ha tancat un contracte amb la NASA. D'aquesta manera la companyia proveirà el primer sistema de comunicacions amb 4G adaptat per la superfície de la Lluna, aquest projecte estarà operatiu a finals de 2022.

9. SUPORT VITAL

El suport vital ha de proporcionar als astronautes un entorn amb suficient qualitat d'aire aigua i aliments, i a la mateixa vegada mantenir una temperatura i pressió adients, així com també gestionar els residus i oferir una protecció envers la radiació i micrometeorits.

En les primeres missions tripulades de la NASA, els astronautes anaven amb la quantitat necessària d'aigua i oxigen per a la tripulació per a tota la missió. Però amb els avenços de la carrera espacial i amb la visió de missions cada vega més duradores amb habitacles permanents, s'ha treballat en la creació d'un circuit tancat per reduir o eliminar la necessitat de reabastir contínuament les missions espacials[38][39].

Per dur a terme aquest circuit tancat dins l'habitacle és indispensable tindre en compte les capacitats fisiològiques humanes per dia, d'un tripulant:

	Quantitat (kg)
Consum d'oxigen	0,998
Consum d'aliments deshidratats	0,617
Consum d'aigua	3,909
Massa femta	0,123
Massa orina	1,945 kg

Taula9.1: Massa de matèries primes i residus. Font: Autoria pròpia

Per poder satisfer les capacitats fisiològiques durant 4 mesos és necessari analitzar la maquinària encarregada del suport vital, ja emprades en la ISS.

Oxigen

L'electròlisi de l'aigua no potable obtinguda de l'aire condicionat, permet obtenir aire respirable per a l'ésser humà. Aquest procés genera fins a 9 kg d'oxigen al dia, dissenyat per mantenir a una tripulació de sis persones. A part de tindre aquesta maquinària també s'ha de tindre una quantitat extra emmagatzemada per cas d'emergència o en cas de sobrepassar la capacitat de sis persones. La massa de l'oxigen d'emergència és de 100 kg i el de la maquinària d'electròlisi és de 675 kg [40][41].



Figura 9.1: Maquinaria de generació d'oxigen. Font:Sapceflightinsider

Aigua (WRS)

A l'espai, l'aigua és un ben molt preuat, ja que és necessària tant per la hidratació d'aliments i de la tripulació com per l'obtenció d'oxigen. Amb la finalitat de no necessitar un subministrament continu s'utilitza els següents processos.

El sistema WRS (Water Reclamation System) permet la regeneració de l'aigua.

Aquest està format per dos processos, el UPA (urine processor assembly) capaç de destil·lar l'aigua en l'orina i el WPA (Water Processor Assembly) un filtre exhaustiu que obté l'aigua de l'UPA i de la humitat de l'ambient, amb un rendiment del 74% i una massa de 1385 kg.

Per a la rehidratació dels aliments i el consum d'aigua per individu és de 3,09 kg d'aigua al dia, amb un rendiment del 74% aconseguim que per cada mes dins l'habitacle es necessita 121.179 kg d'aigua per individu. Amb missions de 4 mesos i amb la màxima capacitat de l'habitacle de 6 persones en necessita, 553,01 kg d'aigua cada 4 mesos.

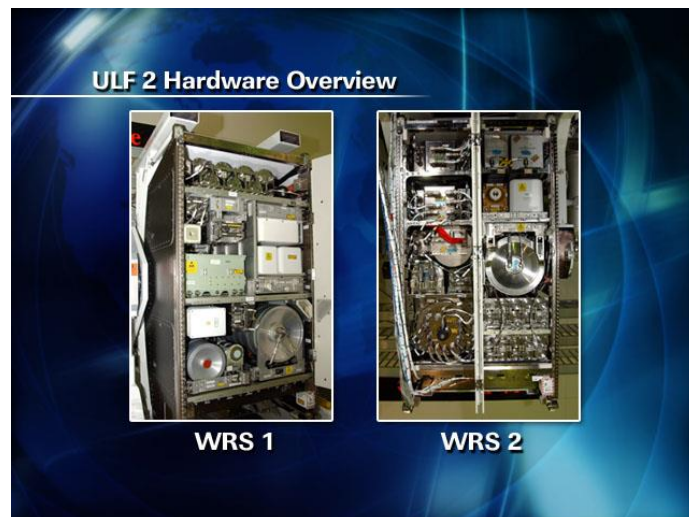


Figura 9.2: Maquina WRS. Font: NASA

Residus (WHC):



Figura 9.3: Lavabo. Font: Wikipedia

Per a la gestió de residus s'utilitza el WHC (waste and hygiene collection) , un vàter operatiu en un entorn sense gravetat. Funciona gràcies a l'aspiració de flux d'aire, a la vegada que permet controlar les olors i netejar els bacteris. Un cop recol·lectats els residus, s'exposen a les pressions de l'espai per matar bacteris evitant olor i patògens. Hi ha diverses propostes per a la utilització d'aquests residus, però de moment són emmagatzemats. La massa del dispositiu és de 45 kg.

Alimentació

La majoria d'aliments de l'estació espacial estan deshidratats, i per tornar-los a hidratar és necessari una quantitat d'aigua en estat d'ebullició. La maquinària destinada a aquesta tasca té una massa aproximada de 10 kg [42].

Cada dia un astronauta ha de complir els següents requisits d'alimentació:

- 2.800 kcal
- 1 g de proteïna per cada kg
- 150 g de lípids

Si es compleixen aquests requisits, un astronauta hauria de mantenir la seva massa, a la vegada que realitza l'exercici diari recomanat.

Un astronauta necessita diàriament 0.617 kg d'aliments deshidratats que equival a 20 kg aproximadament per mes a l'hàbitat. En una missió de quatre mesos de durada per a sis persones representen un total de 480 kg d'aliments.



Control tèrmic (ATCS)

La majoria de sistemes dins de l'habitable generen una calor residual, que s'hi ha de transferir desde dins de l'habitable a l'espai, mantenint l'interior a una temperatura adequada. Per executar aquesta tasca es va dissenyar el sistema de control tèrmic actiu (ATCS). Aquest utilitza el bombeig de líquid en un sistema tancat per a la realització de tres funcions: recol·lecció de calor, transport de calor i rebuig de calor. La calor és eliminada gràcies a un circuit tancat d'amoniac que està en contacte amb l'exterior [43]. El ATCS té un pes de 208,65 kg amb unes dimensions de 126,54 cm x 91,44 cm x 76,2 cm.

10. MASSA TOTAL DE L'HABITACLE

Un cop analitzat tots els materials i elements de l'habitable, és necessari dur a terme un càlcul de la massa total, per poder saber si s'excedeix la capacitat de càrrega del coet SLS BLock 2 amb una càrrega màxima de 44 tones i assegurar-nos de la viabilitat del projecte abans de fer el model 3D.

Per a fer una estimació més precisa de la massa de l'estructura tindrem en compte totes les capes mencionades durant el projecte i es calcularà a partir de les dimensions màximes del coet que recordem que són 22,9m de llarg i 8,4 m de diàmetre però nosaltres començarem a dimensionar de 16,5 m de llarg i 7,3 m de diàmetre. A continuació analitzarem capa a capa i obtindrem la massa teòrica de cada capa, si es possible augmentarem el gruix de certes capes per proporcionar més seguretat, ja que l'habitable és un element estàtic i no podrà evitar objectes grans com fa la ISS.

Número de capa	Material	Densitat (g/cm³)	Gruix capa (cm)	Diàmetre exterior (cm)	Secció (cm²)	Longitud (cm)	Massa (g)	Massa (kg)
0	Z93	0,259	1	730	2.290,15	1.650,00	978.697,10	978,70
1	MLI	0,05	0,60	729,00	1.372,96	1.648,00	108.154,19	108,15
2	Alumini 2090	2,59	0,13	728,40	297,42	1.646,80	1.268.567,14	12.68,57
3	Nextel	2,70	1,70	728,27	3.880,28	1.646,54	17.250.413,00	17.250,41
4	Keblar	1,14	0,50	726,57	1.140,47	1.643,14	2.136.313,48	2.136,31
5	Alumini 2090	2,59	0,70	718,40	1.578,26	1.642,14	6.712.557,12	6.712,56
							Sumatori	27.476,00

Taula 10.1: Càlcul de massa en l'estructura exterior. Font: Autoria pròpia

La taula que hi ha a continuació, calcula la massa de l'estructura interna.

Element	Material	Quantitat	Densitat (g/cm³)	Volum per peça (cm³)	Massa (g)	Massa (kg)
Biga vertical cilíndrica	Alumini 2090	8	0,0478	331.752,18	126.862,03	126,86
Biga horitzontal principal	Alumini 2091	5	0,0478	117.752	28.142,73	28,14
Biga horitzontal secundària	Alumini 2092	10	0,0478	3.876,24	1.852,84	1,85
Biga horitzontal terciària	Alumini 2093	73	0,0478	1.577,6	5.504,88	5,50
Escales verticals	Alumini 2093	1	0,0478	190.000	9.082,00	9,08
Paret	Alumini 2093	2	0,0478	625.525	59.800,19	59,80
						231,24

Taula 10.2: Calcul de massa en l'estructura interior. Font: Autoria pròpia

Com s'ha mencionat anteriorment les missions dins l'habitable estan destinades a una estàdia de 4 mesos, i s'ha calculat el pes amb els elements necessaris per a la màxima ocupació de l'habitable.

Element	Massa en kg
RTG	2.310,0
Bateries	789,2
Estructura externa	27.476,0
Estructura interna	231,2
Oxigen	100,0
Sistema OGS	675,0
Aigua	600,0
Sistema WRS	1.385,0
Lavabo	45,0
Aliments	500,0
Màquina de rehidratació d'aliments	20,0
Sistema ATCS	208,0
Banc de musculació	100,0
Cinta de córrer adaptada	30,0
Vestits espacials	500,0
Roba	100,0
Mobiliari	500,0
Mòdul de descens	2.300,0
Total	37.869,5

Taula 10.2: Càlcul de massa total. Font: Autoria pròpia

La massa total de l'habitable amb tots els requisits mínims és de 38 tones, no supera la capacitat màxima de càrrega del SLS Block 2 que és de 44 tones. Donant a entendre que és viable transpostar l'habitable de la Terra a la Lluna.

11. PRESSUPOST

Tot projecte d'aquestes característiques necessita un estudi econòmic per saber quina és la viabilitat d'aquest. En aquest apartat es tindrà en compte els preus dels materials emprats i el cost de llançament. No tindrem en compte la mà d'obra perquè no seria capaç de fer una aproximació realista. No tenim cap marge on ajustar-nos, però sí que és preferible que com més econòmic sigui millor.

Element	Quantitat	Preu (€)	unitats	Preu final (€)
Alumini 2090	8.212,37	4,00	€/kg	32.849,48
Keblar	2.136,31	50,00	€/kg	106.815,67
MLI	686,49	200,00	€/m2	137.297,28
Llançament SLS	1	4.100.000.000,00	1	4.100.000.000,00
RTG	6	-	-	-
Z93	978,70	-	€/kg	-
Bateries li-ion	4	-	-	-
Tratge espacial	3	22.000.000,00	-	66.000.000,00
WHC	1	23.000.000,00	-	23.000.000,00
Sistema de suport de vida	1	-	-	-
Aliments	124	12.000,00	€/dia	1.488.000,00
Provisions de tripulació	124	3.000,00	€/dia	372.000,00
Sumatori				4.191.136.962,43

Taula 11.1: Càlcul de pressupost. Font: [44][45][46]

Aquest pressupost aproximat permet veure unes xifres significatives que ens mostren el capital inicial necessari, sense tindre en compte altres detalls com: recursos humans o el preu d'utilització de maquinària.

12. NORMATIVA

Per a la construcció d'un habitatge hi ha la Normativa BOE sobre estructures, on es detalla segons el tipus d'estructura que es vulgui dissenyar i construir quines condicions ha de complir [47]. La ONU té unes petites directives destinades a establir pautes per a una bona convivència i evitar conflictes internacionals [48]. Per exemple una de les directives que es donen és que cap nació podrà reclamar la Lluna, encara que sí que pots instal·lar bases allà. Es podria dir que s'apliquen quasi les mateixes normatives que al Pol Nord.

Per a la construcció i disseny de l'hàbitat s'ha tingut en compte les següents normatives:

Normativa per a les escales BOE NTP 408. [37]

Per a la definició del coeficient de seguretat s'ha utilitzat la normativa SSP-30559: Structural Designs and Verification Requirements. [32]

Per a determinar la distribució d'espais a l'interior de l'habitable s'ha realitzat s'ha seguit algunes pautes determinades per la NASA: Factors Impacting Habitable Volume Requirements. [49]

En aquest treball també s'ha utilitzat la normativa sobre estructures espanyola BOE-A-2021-13681 Real Decreto 470/2021. [47]

CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha elaborat un estudi exhaustiu de les condicions necessàries per avaluar la viabilitat de la creació, desenvolupament i implementació d'espais habitables en la superfície de la Lluna. Per això l'anàlisi ha estat centrat en el disseny i dimensionament de l'estructura, amb relació a la distribució del pes segons la destinació d'ús dels espais. També he tingut en compte altres factors com la distribució d'espais i la maquinària mínima per al suport de vida.

Després d'una lectura comprensiva d'aquest treball, s'arriba a la conclusió que l'expansió dels humans cap a indrets fora de la Terra cada vegada està més a prop, mitjançant la construcció i transport d'un hàbitat a la Lluna, encara que s'han de tindre en compte diversos factors:

El primer factor és que la carrega màxima útil ha de ser de 44 tones amb unes dimensions de 27,4 m i 8,4 m. L'habitable dissenyat compleix aquests requisits, amb valors inferiors tant de pes com de dimensions per a donar marge a possibles modificacions o millores.

En segon lloc, l'obtenció d'energia és primordial en un medi inhòspit i extrem com és la Lluna. En aquest cas s'ha emprat 6 RTG (generadors termoelèctrics de radioisòtop) els quals estaran disposats a l'exterior per evitar la radiació dins de l'habitable. Al parlar de radiació no només hem de tindre en compte la que provoca aquests generadors, sinó també la provinent de l'espai exterior, la qual té unes dosis molt superior a les recomanades anualment per als humans, per això és tan important la utilització d'un escut. Encara que aquest TFE hagi utilitzat la protecció utilitzada en la ISS, s'ha

de tindre en compte que no és suficient per a la protecció dels astronautes per a estades de llarg termini, i cal esperar a l'aparició de noves tecnologies que permetin la construcció amb material propi de la Lluna. Per les raons anteriorment mencionades dono per assolits els objectius indicats al principi del treball.

Aquest projecte s'ha centrat en les condicions mínimes que ha de tindre l'habitable per ser viable, però encara hi ha barreres que estan a l'espera de l'aparició de noves tecnologies per ser trencades.

Seria interessant que per a l'extensió i continuació d'aquest TFE en sorgissin d'altres com per exemple: disseny del mobiliari interior, estudi de la viabilitat de l'aterratge de l'hàbitat, estudi de l'ancoratge a terra, estudi elèctric per a màxim aprofitament de l'energia i per últim un cop realitzats els projectes anteriors caldria un estudi del cost econòmic total. Totes aquestes extensions són necessàries per poder portar aquest immens projecte a la realitat.

Si aquest projecte o qualsevol de caràcter similar es dugués a terme, i es comencés a habitar la Lluna amb viatges continus, tant com la Terra i la Lluna notarien les conseqüències. En el cas de la Terra, la cremada de grans quantitats de combustible, generaria una elevada producció de CO₂. I en el cas de la Lluna, es començaria a originar residus produïts pels mateixos habitacles, per la mineria i pels generadors d'energia.

Hàbitats humans per a altres mons
Álvaro Pérez Jiménez

Per acabar, l'inconvenient més gran a l'hora de fer aquest treball ha sigut l'absència d'informació sobre la construcció d'estructures a la Lluna. És notori la presència de diversos projectes en desenvolupament per arribar a habitar la Lluna, però encara queden anys per veure aquests resultats.

Com a conclusió en l'àmbit personal, crec que en un futur pròxim habitarem la Lluna, encara que l'ús de les instal·lacions construïdes sigui incert, a causa de l'absència de normatives que delimiten les seves funcionalitats.

AGRAÏMENTS

Voldria agrair la col·laboració del meu tutor de treball de fi d'estudis Manuel Moreno Lupiañez, pel que fa respecte al subministrament de material, les seves correccions i ràpides respostes.

Tanmateix, també voldria nomenar a Jordi Figuerola Alborna, professor del departament de resistència de materials i estructures a l'enginyeria, per a les indicacions i recomanacions per a l'elaboració dels estudis.

Altrament, també donar gràcies a Liodor Captari Paul un estudiant d'enginyeria mecànica, per l'ajuda i companyerisme en moments de dubtes o dificultats.

Per acabar agrair a la meva família per tota l'ajuda aportada, tant en la correcció gramatical com en l'àmbit personal.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ehrenfreud, P. (2008). ASTROBIOLOGY, HABITABILITY AND THE MOON. NLSI Lunar Science Conference. <https://www.lpi.usra.edu/meetings/nlsc2008/pdf/2133.pdf> (consulta: 06 d'octubre de 2021)
- [2] Riveiro, A. (2020, 15 julio). NASA selecciona 10 proyectos para vivir en la Luna. Astrobitácora. <https://www.astrobitacora.com/nasa-selecciona-10-proyectos-para-vivir-en-la-luna/> (consulta 08 d'octubre de 2021)
- [3] Moon habitat blueprint at Venice Biennale. (2022). ESA. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Moon_habitat_blueprint_at_Venice_Biennale (consulta 9 de setembre de 2021)
- [4] Schwarz, M. (2016, 17 junio). Así está hecha la estación espacial internacional. La Verdad. <https://www.laverdad.es/ababol/ciencia/201404/05/asi-esta-hecha-la-estacion-espacial-internacional.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.laverdad.es%2Fababol%2Fciencia%2F201404%2F05%2Fasi-esta-hecha-la-estacion-espacial-internacional.html> (consulta 2 d'octubre de 2021)
- [5] STARSHIP SN15. (2020). Space X. <https://www.spacex.com/vehicles/starship/> (consulta 5 d'octubre de 2021)
- [6] colaboradores de Wikipedia. (2022, 14 abril). Módulo lunar. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_lunar (consulta 13 d'octubre de 2021)
- [7] Connor, N. (2020, 2 julio). ¿Qué es la radiación cósmica galáctica? - GCR - Definición. Radiation Dosimetry. de <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-radiacion-cosmica-galactica-gcr-definicion/> (consulta 17 d'octubre de 2021)
- [8] Benaroya, H. (2018). Building Habitats on the Moon: Engineering Approaches to Lunar Settlements (Springer Praxis Books) (English Edition) (1st ed. 2018 ed.). Springer. (consulta 3 de novembre de 2021)
- [9] Cucinotta, F. A. (2011, 1 julio). Space Radiation Cancer Risk Projections and Uncertainties - 2010 - NASA Technical Reports Server (NTRS). NASA. de <https://ntrs.nasa.gov/citations/20130001648> (consulta 25 de novembre de 2021)
- [10] colaboradores de Wikipedia. (2021a, marzo 4). Generador termoelectrico de radioisotopos. Wikipedia, la enciclopedia libre. de https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_termoelectrico_de_radioisotopos (consulta 4 de desembre de 2021)


Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

- [11] Piacente, P. J. (2021, 22 noviembre). La NASA instalará un reactor nuclear en la Luna: será lanzado desde la Tierra • Tendencias21. <https://tendencias21.levante-emv.com/la-nasa-instalara-un-reactor-nuclear-en-la-luna-sera-lanzado-desde-la-tierra.html> (consulta 5 de diciembre de 2021)
- [12] BBC News Mundo. (2020, 26 enero). Qué se necesita para construir una base en la Luna (y por qué es posible hacerlo). <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51236858> (consulta 16 de diciembre de 2021)
- [13] Cisa, N. (2021, 21 octubre). Factura media de luz en un hogar de España ¿Cuánto se gasta al mes? Podo. de <https://www.mipodo.com/blog/informacion/factura-media-luz-hogar-espana/> (consulta 24 de diciembre de 2021)
- [14] International Space Station Lithium-Ion Battery Status. (2016). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20200000004/downloads/20200000004.pdf> (consulta 27 de setiembre de 2021)
- [15] Las aleaciones de Aluminio- Litio. (2015). Innovaciones tecnologicas. de http://www.moldesymatrices.com/materiales_Aluminio-Litio.htm (consulta 30 de setiembre de 2021)
- [16] NASA. (2021). 6.0 Structures, Materials, and Mechanisms. de <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/structures-materials-and-mechanisms/> (consulta 24 d'octubre de 2021)
- [17] Materiales metálicos de uso frecuente en aeronáutica: aleaciones ligeras Al-Li. (2020). Interempresas. de <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/101138-Materiales-metalicos-de-uso-frecuente-en-aeronautica-aleaciones-ligeras-Al-Li.html> (consulta 30 de noviembre de 2021)
- [18] Las aleaciones de Aluminio- Litio. (2015). Innovaciones tecnologicas. de http://www.moldesymatrices.com/materiales_Aluminio-Litio.htm (consulta 2 de gener de 2022)
- [19] NASA. (2021). 6.0 Structures, Materials, and Mechanisms, de <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/structures-materials-and-mechanisms/> (consulta 16 de gener de 2022)
- [20] Schwarz, M. (2016b, junio 17). Así está hecha la estación espacial internacional. La Verdad. <https://www.laverdad.es/ababol/ciencia/201404/05/asi-esta-hecha-la-estacion-espacial-internacional.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.laverdad.es%2Fababol%2Fciencia%2F201404%2F05%2Fasi-esta-hecha-la-estacion-espacial-internacional.html> (consulta 31 de gener de 2022)
- [21] Variable Density Multilayer Insulation for Cryogenic Storage. (2001). NASA. de <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20000092076/downloads/20000092076.pdf> (consulta 11 de febrer de 2022)
- [22] Smith, L. (2019, 1 mayo). Lowering thermal insulation costs, improving reliability for SmallSats. Aerospace Manufacturing and Design, de

Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

- <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/lowering-thermal-insulation-costs--improving-reliability-for-smallsats/> (consulta 7 d'abril de 2022)
- [23] StarChild: La Luna. (2021). starchild.
https://starchild.gsfc.nasa.gov/docs/StarChild_Spanish/docs/StarChild/solar_system_level2/moon.html#:~:text=La%20luna%20no%20tiene%20atm%C3%B3sfera,igual%20a%20%2D96%20grados%20Celsius (consulta 7 d'abril de 2022)
- [24] Millholland, C. D. (2021, 27 julio). Evaluación de materiales de control térmico para proteger naves espaciales. Ciencia Acelerada, de <https://www.thermofisher.com/blog/cienciaacelerada/materiales/evaluacion-de-materiales-de-control-termico-para-proteger-naves-espaciales/> (consulta 23 d'abril de 2022)
- [25] Bradley, M. S., Szejewski, C., & Szczesniak, M. (2020, 21 octubre). Optical Measurement of the Reflectance Behavior of Z93, the Thermal Coating on the International Space Station. Spectroscopy Online, de <https://www.spectroscopyonline.com/view/optical-measurement-of-the-reflectance-behavior-of-z93-the-thermal-coating-on-the-international> (consulta 23 d'abril de 2022)
- [26] tok.wiki. (2019). Sistema de control térmico activo externo Referencias y Ver también. Hmog, de https://hmong.es/wiki/External_Active_Thermal_Control_System (consulta 10 de maig de 2022)
- [27] Millholland, C. D. (2021b, julio 27). Evaluación de materiales de control térmico para proteger naves espaciales. Ciencia Acelerada, de <https://www.thermofisher.com/blog/cienciaacelerada/materiales/evaluacion-de-materiales-de-control-termico-para-proteger-naves-espaciales/> (consulta 10 de maig de 2022)
- [28] Mahoney, E. (2020, 30 abril). A Next Generation Spacesuit for the Artemis Generation of Astronauts. NASA, de <https://www.nasa.gov/feature/a-next-generation-spacesuit-for-the-artemis-generation-of-astronauts/> (consulta 13 de maig de 2022)
- [29] González, S. (2021, 9 septiembre). El nuevo diseño del traje espacial obligará a la NASA a retrasar la vuelta a la Luna prevista para 2024. Antena 3 Noticias. https://www.antena3.com/noticias/ciencia/nuevo-diseno-traje-espacial-obligara-nasa-retrasar-vuelta-luna-prevista-2024_20210903613a6b10f7c3140001540438.html (consulta 13 de maig de 2022)
- [30] BBC News Mundo. (2019, 27 marzo). Caminata espacial: «Un traje espacial cuesta US\$22 millones, por eso solo hay cuatro en la Estación Espacial Internacional», de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47714757> (consulta 1 de juny de 2022)
- [31] Coeficiente de Seguridad de Cohete . (s. f.). Materiales (ES), de <https://www.materiales.gelsonluz.com/2022/05/coeficiente-de-seguridad-de-cohete.html> (consulta 3 de juny de 2022)

Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

- [32] NASA, ESA, ASI i NASDA. (2007, 27 junio). Structural Designs and Verification Requeriments. imlive, de <http://imlive.s3.amazonaws.com/Federal%20Government/ID42272755263273611130549092035837226177/SSP30559RD-Errata.pdf> (consulta 12 de juny de 2022)
- [33] Introducció al càlcul bigues i columnes. (s. f.). mheducation, de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448198840.pdf> (consulta 13 de juny de 2022)
- [34] Project Manager: Victor Arceredillo & David Miranda-Torres, Coding: Netbrain.es, Design: Grupo Bullitt. (2022b). Tubos redondos de aluminio · Alu-Stock S.A. Alustock, de <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-redondos/> (consulta 13 de juny de 2022)
- [35] Project Manager: Victor Arceredillo & David Miranda-Torres, Coding: Netbrain.es, Design: Grupo Bullitt. (2022). Tubos rectangulares de aluminio · Alu-Stock S.A. Alustock, de <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-rectangulares/> (consulta 4 de desembre de 2021)
- [36] MatWeb - The Online Materials Information Resource. (s. f.). Matweb, de <https://www.matweb.com/errorUser.aspx?msgid=2&ckck=nocheck> (consulta 8 de desembre de 2021)
- [37] Tamborero Del Pino, J. M. ^a. T. P. (1999). NTP 408: Escalas fijas de servicio. BOE, de https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_408.pdf/e1b2ed00-9e9e-4e7a-8ede-d9a99ea8092d?version=1.1&t=1614698330734 (consulta 21 de gener de 2022)
- [38] Anderson, M. S. (2015). Life Support. NASA, de <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180001338/downloads/20180001338.pdf> (consulta 20 de desembre de 2021)
- [39] Sistema de soporte vital - frwiki.wiki. (1957, 4 octubre). FrWiki, de https://es.frwiki.wiki/wiki/Syst%C3%A8me_de_support_de_vie (consulta 4 de febrer de 2022 6)
- [40] Malik, T. (2006, 15 febrero). Air Apparent: New Oxygen Systems for the ISS. Space.Com., de <https://www.space.com/2052-air-apparent-oxygen-systems-iss.html> (consulta 3 de juny de 2022)
- [41] Jones, H. W. (2016, 10 julio). Using the International Space Station (ISS) Oxygen Generation Assembly (OGA) Is Not Feasible for Mars Transit - NASA Technical Reports Server (NTRS). NASA., de <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160014553> (consulta 3 de juny de 2022)
- [42] colaboradores de Wikipedia. (2022, 25 abril). Alimento espacial. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Alimento_espacial (consulta 28 d'abril de 2022)
- [43] Control Termic. (2014). NASA. https://www.nasa.gov/pdf/473486main_iss_atcs_overview.pdf (consulta 17 de juny de 2022)

Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

- [44] Preu SLS: Marín, D. (2022, 20 marzo). El cohete lunar SLS de la NASA en la rampa de lanzamiento. Eureka. <https://danielmarin.naukas.com/2022/03/20/el-cohete-lunar-sls-de-la-nasa-en-la-rampa-de-lanzamiento/> (consulta 17 de juny de 2022)
- [45] Preu WHC (lavavo): Burton, B. (2020, 7 octubre). NASA astronaut shows off new \$23 million space toilet that just landed on ISS. CNET. <https://www.cnet.com/science/nasa-astronaut-shows-off-new-23-million-space-toilet-that-just-landed-on-iss/> (consulta 16de juny de 2022)
- [46] Johnson, M. (2021, 29 abril). Pricing Policy. NASA. <https://www.nasa.gov/leo-economy/commercial-use/pricing-policy/> (consulta 18 de juny de 2022)
- [47] BOE.es - BOE-A-2021-13681 Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural. (2021, 29 junio). BOE., de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/06/29/470> (consulta 1 de juny de 2022)
- [48] Wikipedia contributors. (2022, 23 junio). Outer Space Treaty. Wikipedia, de https://en.wikipedia.org/wiki/Outer_Space_Treaty (consulta 19 de juny de 2022)
- [49] NASA. (2011, 18 abril). Factors Impacting Habitable Volume Requirements. Core, de <https://core.ac.uk/download/pdf/10564388.pdf> (consulta 20 de juny de 2022)

Figures

Figura 1.1: L. Borch, F. R. E. D. (2015, 20 septiembre). Horizon Project 1959. Defensemedianetwork.com. <https://www.defensemedianetwork.com/stories/an-army-base-on-the-moon/>

Figura 1.2:Wikipedia contributors. (2022b, abril 23). Zvezda (moonbase). Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Zvezda_\(moonbase\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Zvezda_(moonbase))

Figura 1.3: LEK Lunar Expeditionary Complex. (2019). Encyclopedia Astronautica.

<http://www.astronautix.com//lek/lekunarexpionarycomplex.html>

Figura 1.4:Wikipedia contributors. (2022a, abril 1). Inflatable space habitat. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Inflatable_space_habitat

Figura 1.5: Moonwalker: Lunar Base Moon – space-craft Architektur. (2015). Space craft.

<http://www.space-craft.at/portfolio/moonwalker-lunar-base-moon/>

Figura 1.6: Skidmore, Owings & Merrill (SOM). (2021, 9 noviembre). Moon Village –. SOM.

<https://www.somchina.cn/research/moon-village/>

Figura 1.7: Build a Moon Habitat! | NASA Space Place – NASA Science for Kids. (2018). NASA.

<https://spaceplace.nasa.gov/moon-habitat/sp/>

Figura 1.8: A. (2015, 17 septiembre). InFlex Lunar Habitat | Everything about solar energy. Everything about Solar Energy | Solar Energy, Helio Systems, Solar Panels, Collectors, Equipment for Water Heating and Space Heating Using Solar Energy and Everything about Solar Energy.

<http://energyprofessionalsymposium.com/?p=25363>

Figura 1.9 | 1.10: NASA Is Looking for Inflatable Moon Base Module Designs - SpaceRef. (2019, marzo).

Spacecerf. Recuperado 5 de noviembre de 2021, de <http://spaceref.com/onorbit/nasa-is-looking-for-inflatable-moon-base-module-designs.html>

Figura 1.11:Space Station Images. (2018). NASA.

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/images/index.html

Figura 2.1: colaboradores de Wikipedia. (2021, 26 octubre). Falcon Heavy. Wikipedia, la enciclopedia

libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Falcon_Heavy#/media/Archivo:Falcon_rocket_family5.svg

Figura 2.2: STARSHIP SN15. (2020). Space X. <https://www.spacex.com/vehicles/starship/>

Figura. 2.3: Harbaugh, J. (2020, 23 octubre). SLS Block 1 Crew, Block 1B Crew, Block 1B Cargo and

Block 2 Cargo. NASA. <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/sls-vehicle-evolution.html>

Figura 2.4: Vehículo de lanzamiento. (2020). Hmn.Wiki. Recuperado 6 de mayo de 2022, de

https://hmn.wiki/es/Launch_vehicle

Figura 2.5:8,4m PLF, Long Concept. (2015). Researchgate. Recuperado 1 de juny de 2022, de

<https://www.researchgate.net/figure/Deep-Space-NTP-Stage-in-the-NASA-SLS-Block-2-84meter->

Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

PLF-Example-missions-to-Jupiter_fig10_339895914

Figura 3.1: Qué dice la NASA de la radiación cósmica y los rayos solares. (2015, 25 juliol). Qore.

Recuperat 7 de novembre del 2021, de <https://www.qore.com/articulos/35676/Que-dice-la-NASA-de-la-radiacion-cosmica-y-los-rayos-solares>

Figura 3.2. Concepte d'escut electroestàtic. Font: Benaroya, H. (2018). Building Habitats on the Moon:

Engineering Approaches to Lunar Settlements (Springer Praxis Books) (English Edition) (1st ed. 2018 ed.). Springer.

Figura 4.1: Atkinson, N. (2015, 23 diciembre). 13 MORE Things That Saved Apollo 13, part 13: Jim

Lovell's 90 Degree Wrong Turn. Universe Today. <https://www.universetoday.com/120124/13-more-things-that-saved-apollo-13-part-13-jim-lovells-90-degree-wrong-turn/>

Figura 4.2: International Space Station Lithium-Ion Battery Status. (2019). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20200000004/downloads/20200000004.pdf>

Figura 5.1: What types of materials is the International Space Station's exterior and interior made of?

(2015). Quora. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.quora.com/What-types-of-materials-is-the-International-Space-Station's-exterior-and-interior-made-of>

Figura 5.2: Finckenor, M. M. (1999, 1 abril). Multilayer Insulation Material Guidelines - NASA Technical

Reports Server (NTRS). NASA. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://ntrs.nasa.gov/citations/19990047691>

Figura 5.3: Home, Space Home | Science Mission Directorate. (2020). NASA. Recuperado 22-05-04, de

https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast14mar_1

Figura 6.1: anz, M. (2021, 14 enero). La historia de los trajes espaciales: de la estratosfera a Marte. Quo.

Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://quo.eldiario.es/ciencia/astro/q2101284750/trajes-espaciales-marte/>

Figura 6.2: Sanz, M. (2021, 14 enero). La historia de los trajes espaciales: de la estratosfera a Marte. Quo.

Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://quo.eldiario.es/ciencia/astro/q2101284750/trajes-espaciales-marte/>

Figura 7.1. Distribució de carregues. Font: Mheducation Introducció al càlcul bigues i columnes. (s. f.).

mheducation. Recuperado 7 de abril de 2022, de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448198840.pdf>

Figura 8.3: Limited, A. (2012). Interior del Skylab formador, del Centro Espacial Johnson de Houston, Texas, EE.UU. Alamy images. <https://acortar.link/dsVye7>

Figura 8.4 (2018, 14 abril). ¿Cómo Funciona el Cuarto de Baño en la Estación Espacial Internacional?

Flipada.com. Recuperado 22-03-13, de <https://www.flipada.com/como-funciona-el-cuarto-de-bano-en-la-estacion-espacial-internacional/>

Figura 8.5: ESA - Space for Kids - El ejercicio físico. (2010). ESA. Recuperado 22-03-14, de

Hàbitats humans per a altres mons

Álvaro Pérez Jiménez

https://www.esa.int/kids/es/Aprende/Vida_en_el_Espacio/Vivir_en_el_espacio/El_ejercicio_fisico

Figura 8.6: Piqueras, Á. (2018, 22 agosto). Así es el exigente entrenamiento de los astronautas en el espacio. AS.com. https://as.com/deporteyvida/2018/08/22/portada/1534928294_000581.html

Figura 9.1: Oxygen Generation Assembly. (2011). Spaceflightinside. Recuperado 25 de mayo de 2022, de https://www.spaceflightinsider.com/wp-content/uploads/2014/05/ar_rack_11_0.jpg

Figura 9.2: NASA - Expedition 18 Mission Overview Briefing Materials. (2022). NASA.

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition18/iss_briefing_exp18_092508.html

Figura 9.2: NASA. (2021). WHC.

https://www.nasa.gov/images/content/279005main_spen_10_ulf2_whc.jpg

Figura 9.3: Wikipedia contributors. (2022a, marzo 20). Space toilet. Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Space_toilet#/media/File:Space_Shuttle_toilet_01.JPG

Figura 9.4: Romero, M. (2021, 26 marzo). Esto es lo que comen los astronautas. Food and Travel México.

<https://foodandtravel.mx/esto-es-lo-que-comen-los-astronautas/>

Taules

Taula 3.1: Relació entre edat, sexe i edat. Font: NASA Taula 4.1: Wikipedia contributors. (2022d, mayo 26). BES-5. Wikipedia. Recuperado 3 de juny del 2022, de <https://en.wikipedia.org/wiki/BES-5>

Taula 4.1: Comparació de RTG. Font: colaboradores de Wikipedia. (2021a, marzo 4). Generador termoeléctrico de radioisótopos. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 2 de abril de 2022, de https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_termoel%C3%A9ctrico_de_radiois%C3%B3topos

Taula 4.2: Dades de la bateria. Font: International Space Station Lithium-Ion Battery Status. (2019). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20200000004/downloads/20200000004.pdf>

Taula 5.2: Taula 5.2: Columna amb les densitats davant del preu. Font: Nextel. (2022). 3M. Recuperado 10 de febrero de 2022, https://www.3m.com.mx/3M/es_MX/p/d/v000204401/
Connor, N. (2021, 22 julio). Kevlar | Densidad, resistencia, punto de fusión, conductividad térmica. Material Properties. Recuperado 10 de febrero de 2022, de <https://material-properties.org/es/kevlar-densidad-resistencia-punto-de-fusion-conductividad-termica/>

Taula 7.2. Valors característics de sobrecarregues d'ús. Font: Documento Basico Seguridad Estructural Acciones en la edificación. (2009, abril). Codigotecnico. Recuperado 15 de junio de 2022, de <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-AE.pdf>

Habitats humans per a altres mons
Álvaro Pérez Jiménez