



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de un producto enfocado al mantenimiento fisiológico en ambientes de microgravedad, en colaboración con la empresa Aureel

Design of a product focused in physiological maintenance in microgravity environment, in collaboration with Aureel company.

Autor/es

Marta Baselga Lahoz

Director

Daniel Montañés Rocha

Ponente

Eduardo José Manchado Pérez

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2016 - 2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. MARTA BASELGA LAHOZ

con nº de DNI 73020469-T en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO _____, (Título del Trabajo)
DISEÑO DE UN PRODUCTO ENFOCADO AL MANTENIMIENTO
FISIOLÓGICO EN AMBIENTES DE MICROGRAVEDAD,
EN COLABORACIÓN CON LA EMPRESA ALIREFI

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 28-08-2017

Fdo: _____

M. Babbitt

RESUMEN

La exposición a ambientes micro-gravitacionales¹ conlleva efectos perjudiciales sobre la fisiología² humana. Es por ello que, este Proyecto consiste en la conceptualización, diseño y desarrollo de VIRGO-I, un Generador de Gravedad Artificial a Nivel Sanguíneo. Para ello, se han realizado cuatro fases de diseño: investigación, conceptualización, desarrollo técnico y formal y presentación del producto. El contenido de la investigación recoge aspectos necesarios para la comprensión e interpretación de lo referente a la gravedad y aspectos fisiológicos, y es contrastada con entrevistas a expertos. La fase de conceptualización se basa en la técnica de *Brainstorming* y *Mind-map*. Tras ello se elige uno de los conceptos mediante la Técnica Radar y se desarrollan las bases teóricas relativas a estudiar su viabilidad y funcionamiento. Finalmente, se realiza una presentación del producto final acompañada de la documentación técnica para su fabricación y presupuesto.

ABSTRACT

Exposure to micro-gravity environments will carry harmful effects on human physiology. For this reason, this Project consists on the conceptualization, design and development of VIRGO-1, Gravity Generator in corporal blood level. So this Project picks up four differentiated phases: research, conceptualization, technical and formal development and product presentation. The content of the research phase includes necessary studies for understanding facts about gravity and physiological aspects, which is accompanied by some experts interviews. Conceptualization phase is based on techniques such as Brainstorming and Mind-map. After these phases, one of these concepts is chosen through the use of Radar method, developing theoretic bases relative to studying its viability and functioning. Finally, it was made a Product presentation with technical documentation for its manufacturing and budget.

FASE 0

Introducción

0.1 Objetivo	7
0.2 Alcance	7
0.3 Metodología	7

FASE 1

Investigación

1. Microgravedad y estudio del entorno	12
1.1 Gravedad y gravedad fisiológica	12
1.2 Estación Espacial Internacional	13
1.2.1 La vida en la Estación Espacial	14
1.3 Conclusiones	16
2. Perfil de usuario: basado en los astronautas de la ESA	17
2.1 Agencia Espacial Europea	17
2.2 Selección de los astronautas	17
2.3 Perfil del usuario	18
2.4 Preparación previa al viaje espacial	18
2.5 Conclusiones	18
3. Introducción a la anatomía humana y bases fisiológicas	19
3.1 Respeto al sistema muscular	19
3.2 Respeto al sistema óseo	20
3.2.1 Regeneración ósea	21
3.3 Conclusiones	21
4. Principios de la Medicina Espacial: efectos fisiológicos	22
4.1 Sistema locomotor	22
4.2 Sistema óseo	22
4.3 Sistema cardiovascular	23
4.4 Sistema endocrino	23
4.5 Sistema neurológico	23
4.6 Sistema inmunológico	23
4.7 Conclusiones	23

FASE 2

Ideación y conceptos

FASE 3

Desarrollo del concepto

5. Ciencias del deporte: análisis de las máquinas deportivas y ejercicios de la ISS	24
5.1 CEVIS	24
5.2 ARED	25
5.3 COLBERT	26
5.4 MED 2.0	28
5.5 Conclusiones	2
6. EDP's	30
7. Conceptualización	32
7.1 Brainstorming	33
7.2 Concepto 1	34
7.3 Concepto 2	35
7.4 Concepto 3	36
7.5 Método Radar	37
8. Metodología utilizada	39
9. Análisis del problema	39
10. Documentación	41
10.1 Gravedad artificial	41
10.2 Sistema cardiovascular	42
10.3 Ondas mecánicas	44
10.4 Infrasonidos	45
10.5 Fisiología del sueño	46
10.6 Opinión de experto	47
11. EDP's aplicadas al producto	48
12. Desarrollo formal	49
13. Estructura del producto	51
14. Componentes y características	52

FASE 4

Sistema VIRGO I

15. Sistema VIRGO I	57
15.1 Secuencia de uso	58
15.2 Estructura	59
15.3 Montaje y sustitución	60
15.4 Dimensionamiento	61
15.5 Emisión de ondas	62
15.6 Monitorización	63
15.7 Piezas, fabricación y presupuesto	64
15.8 Diseño gráfico	65
15.9 Maquetas y prototipos	66

TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

[1] Micro-gravedad Indica que las fuerzas gravitatorias no son estrictamente cero.

[2] Fisiología Ciencia que estudia las funciones de los seres vivos.

[3] Fuerza N Fuerza Normal.

[4] Caída libre Movimiento de un cuerpo bajo la acción exclusiva de un campo gravitatorio.

[5] NASA National Aeronautics and Space Administration

[6] FKA Agencia Espacial Federal Rusa

[7] JAXA Japan Aerospace Exploration Agency

[8] CSA Canadian Space Agency

[9] ESA European Space Agency

[10] Presurizar Acción de resguardar las condiciones normales de presión atmosférica aunque en el exterior sea diferente.

[11] Radiación cósmica Partículas subatómicas que proceden del espacio exterior y cuya energía, debido a su gran velocidad, es muy elevada.

[12] Afección Enfermedad

[13] mm Hg Medida de la presión (milímetros de mercurio)

[14] SNC Sistema Nervioso Central

[15] CG Centro de Gravedad

[16] Nucleótido Compuesto químico orgánico fundamental de los ácidos nucleicos.

[17] ATP Adenosín Trifosfato.

[18] Homeostasis Fenómenos de autorregulación para mantener constancia en la composición y el medio interno de un organismo.

[19] Tensegridad Principio estructural que se basa en el uso de componentes aislados comprimidos dentro de una red tensa, de modo que los componentes no se tocan y están unidos por componentes traccionados.

[20] Citoesqueleto Entramado de proteínas en las células eucariotas.

[21] Paravertebral Situado a ambos lados de la columna vertebral.

[22] Parestesia Adormecimiento de una extremidad.

[23] Diuresis Secreción de orina.

[24] Estasis Detención o estancamiento de la sangre.

[26] Distensión Pérdida de tensión.

[27] Mecanosensible Sensible a estímulos mecánicos (cargas o fuerzas).

[28] EPO Eritropoyetina.

[29] Resistencia Vascular Sistémica Resistencia del sistema vascular al flujo de sangre

[18] EEG Electroencefalocardiograma

0. INTRODUCCIÓN

0.1 OBJETIVO

El objetivo del proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un producto que mantenga la fisiología de los sujetos en ambientes de micro-gravedad, enfocándolo a su aplicación en la Estación Espacial Internacional.

El objetivo de *Aureel*, la empresa asociada, es proponer un concepto innovador, en relación a la manutención fisiológica en micro-gravedad, a la ESA BIC (Business Incubation Centre de la Agencia Espacial Europea), programa con el que colabora.

A nivel personal, el objetivo es aplicar en un caso real los conocimientos adquiridos durante el grado e interpretar nuevos conocimientos de otros ámbitos técnicos para desarrollar el producto dentro de los límites temporales del proyecto.

0.2 ALCANCE

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado componentes electrónicos comerciales, aunque a efectos prácticos es necesario un diseño específico aplicado al producto, no entra dentro del alcance. En base a esto, el proyecto alcanza el desarrollo técnico y de diseño hasta la descripción completa del producto y análisis de la viabilidad, incluyendo la documentación técnica para su fabricación. El proyecto no contempla ni el desarrollo informático del sistema ni el esquema electrónico necesario para su programación.

0.3 METODOLOGÍA

Debido a la complejidad del entorno de aplicación del producto, se ha estructurado una investigación en profundidad en base a la descomposición del problema inicial: “Diseñar un dispositivo que, en entornos de micro-gravedad, ayude a los cosmonautas a mantener sus condiciones fisiológicas”:

Estudiar los fundamentos de la microgravedad en el entorno específico para comprender las condiciones adyacentes

Analizar los dispositivos con los que conviven los cosmonautas, encontrar sus EDP's críticas y deseables y determinar las bases para desarrollar el producto.

Diseñar un dispositivo que, en condiciones de microgravedad, ayude a los cosmonautas a mantener sus condiciones fisiológicas.

Enfocar el análisis de usuario a comprender las condiciones de vida y hábitos de los cosmonautas durante las misiones espaciales.

Investigar cuáles son los entrenamientos físicos y psicológicos a los que se enfrentan los astronautas antes de realizar misiones y analizar sus dispositivos de entrenamiento.

FASE 1: INVESTIGACIÓN

1. Estudio del entorno: Fundamentos de la micro-gravedad y análisis de la ISS.

Con el objetivo de conocer el campo de aplicación del producto, las bases físicas que rigen dicho ambiente, la estructura de la ISS y el usuario potencial al que se dirige: la Agencia Espacial Europea.

2. Perfil de usuario basado en los astronautas de la ESA

Como medida para conocer el usuario final al que se destina el producto, tanto a nivel físico como psicológico.

3. Introducción a la anatomía humana y bases fisiológicas

Con la intención de conocer los sistemas y tejidos componentes del cuerpo humano así como su actividad y procesos metabólicos.

4. Principios de la Medicina Espacial: Efectos fisiológicos en micro-gravedad

Para analizar cuáles son las alteraciones producidas por la ausencia de los efectos de la gravedad, así como buscar las más críticas a fin de realizar conceptos prácticos.

5. Ciencias del deporte: Análisis de las máquinas deportivas de la ISS

Puesto que la ejercitación física es un aspecto clave a nivel fisiológico, es importante conocer su condición para analizar aspectos positivos y negativos con el fin de suprir necesidades.

Se han realizado entrevistas a expertos de diferentes ámbitos (astrofísica, psiquiatría, traumatología y entrenamiento físico) para contrastar la información recogida y valorar preguntas concretas complementarias a los estudios.

Con todo esto, y debido a las numerosas restricciones del entorno, se han realizado conclusiones en cada uno de los estudios y con ellas se han establecido EDP's necesarias para la fase de conceptualización.

FASE 2: CONCEPTUALIZACIÓN

Tras la fase de investigación, se procede a la fase de ideación mediante la técnica de *Brainstorming* y a la selección de tres conceptos para un desarrollo básico. Y mediante el Método Radar se elige uno de los conceptos utilizando como criterio las EDP's establecidas anteriormente.

FASE 3: DESARROLLO TÉCNICO Y FORMAL

Una vez elegido el concepto, se procede a su desarrollo, para lo cual será necesaria una investigación técnica previa y una entrevista a un experto a fin de asegurar su viabilidad. El desarrollo llegará hasta el alcance establecido en el "Alcance".

FASE 4: PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO, VIRGO I

Y, finalmente, se realizará la documentación técnica necesaria para su fabricación y la fase de descripción completa del producto.

0.4 ESQUEMA DE METODOLOGÍA UTILIZADA

1

Redacción del briefing

Lo primero es la redacción del briefing para establecer un objetivo y un alcance del proyecto.

2

Análisis del problema

Definir el problema y descomponerlo para analizar cada aspecto y estructurar la investigación.

3

Estructurar la investigación

Una vez definido el problema se estructurará la investigación definiendo cada una de las fases a realizar para abarcar todos los aspectos del problema.

4

Búsqueda de información

Esta fase será la más larga, puesto que el tema del Proyecto es muy amplio y complejo, y para obtener buenos resultados es necesario analizarlo en profundidad.

5

Extracción de conclusiones

Tras la investigación, la extracción de conclusiones es fundamental. Pueden ir añadiéndose las conclusiones a la vez que la investigación.

6

EDP's

Las EDP's son muy importantes en este proyecto, ya que el entorno de aplicación tiene una gran cantidad de restricciones y normativa.

7

Campos de ideación

Definir los campos acerca de los cuáles se realizará el brainstorming, para separar y clasificar las ideas por temáticas.

8

Brainstorming

El brainstorming se realizará días separados, ya que sólo lo realiza una persona. De esta manera se tendrá la mente fresca y los ojos limpios para generar nuevas ideas.

9

Elección del concepto

Se realizará la elección del concepto en torno al cumplimiento de las EDP's establecidas, buscando un concepto viable.

10

Estudio de viabilidad

Búsqueda de bases físicas y técnicas para analizar la viabilidad del concepto.

11

Desarrollo

Se realizará un desarrollo técnico, funcional y formal para describir el producto con el máximo detalle posible.

12

Presentación

Una vez desarrollado, se realizará una "Fase 4" de presentación del producto.

0.5 TABLA DE CONTENIDO DE LOS ANEXOS

CONTENIDO	PÁGINAS	CONCLUSIONES
Anexo I. Introducción	pág. 2 - 33	<i>No hay conclusiones</i>
Anexo II. Estudio del entorno: Fundamentos de la micro-gravedad y análisis de la ISS	pág. 34 - 69	pág. 69
Anexo III. Perfil de usuario basado en los astronautas de la ESA	pág. 70 - 92	pág. 92
Anexo IV. Introducción a la anatomía humana y bases fisiológicas	pág. 93 - 112	pág. 112
Anexo V. Principios de la Medicina Espacial: Efectos fisiológicos de la micro-gravedad	pág. 113 - 129	pág. 129
Anexo VI: Ciencias del Deporte: Análisis de las máquinas deportivas de la ISS	pág. 130 - 143	pág. 1443
EDP'S Generales	pág. 144	-
Paneles de influencias	pág. 145	pág. 146
Anexo VII: Conceptualización	pág. 148 - 171	-
Anexo VIII: Desarrollo del concepto	pág. 172 - 291	-
Anexo IX: VIRGO-I	pág. 292 - 303	-
Anexo X: Oficina técnica	pág. 303 - 422	-

Tabla 1: Contenido de los anexos del proyecto

Fase 1

Investigación

1. MICRO-GRAVEDAD Y ESTUDIO DEL ENTORNO

1.1 GRAVEDAD Y GRAVEDAD FISIOLÓGICA

La gravedad terrestre en su acepción física se describe mediante la Ley de la Gravitación Universal de Newton como la fuerza por la que se atraen dos cuerpos de diferentes masas. Aplicado a la Tierra, se entiende como la aceleración de caída libre de una partícula por su presencia. Teniendo un valor de $9,81 \text{ m/s}^2$. [45] En términos fisiológicos, la gravedad se describe como el efecto de la *Fuerza N³* de contacto con otra masa y que anula la *caída libre*⁴ que se tendría a efecto de la atracción gravitatoria que ejerce la Tierra. La gravedad debe analizarse en el cuerpo humano por planos horizontales, no como un sólido entero. Es decir, la sensación de gravedad es la resultante de la normal que ejerce la parte superior del plano horizontal del cuerpo junto a su atracción gravitatoria con respecto a la inferior. [Figura 1] [Ver Anexo II, Entrevista a Experto, página 63]

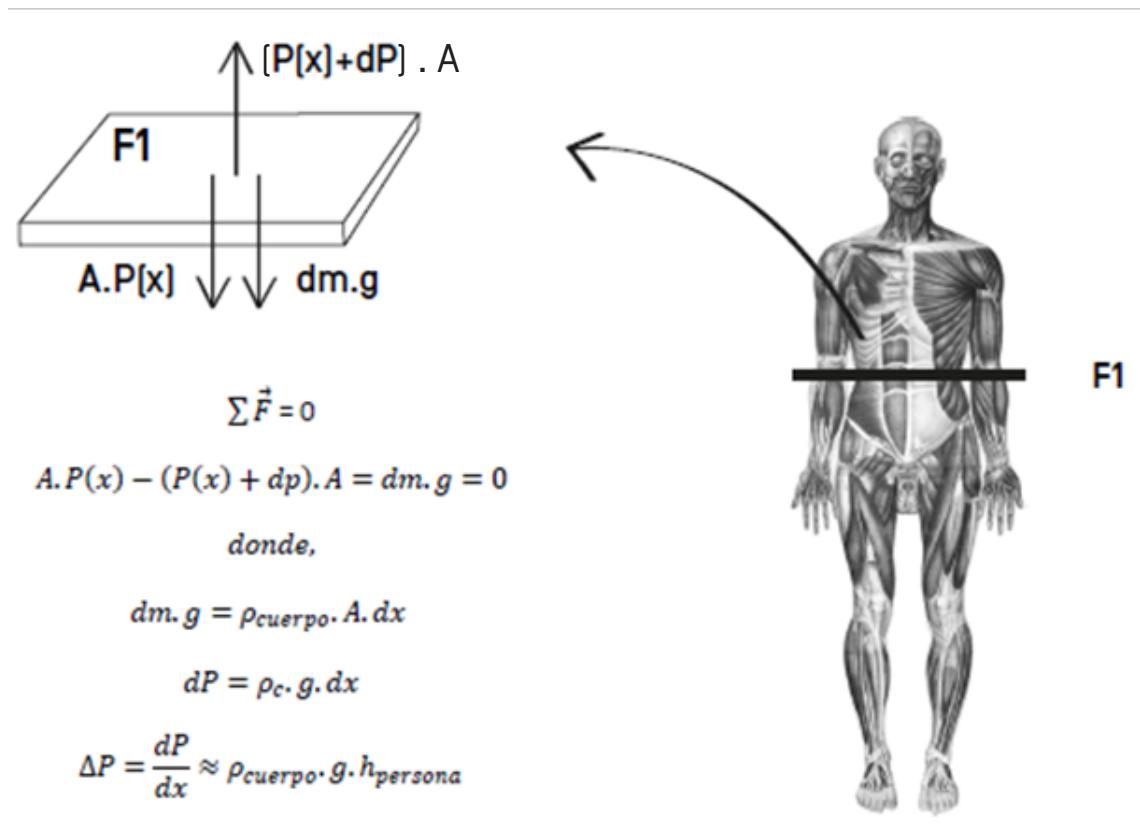


Figura 1: Representación de la gravedad a nivel fisiológico

1.2 ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

La Estación Espacial Internacional, ISS a partir de ahora, es un centro de investigación a cargo de la cooperación internacional situado en órbita, a unos 400 km de la superficie terrestre. Forman parte de ella la NASA⁵, la FKA⁶, la JAXA⁷, la CSA⁸ y la ESA⁹. [4] Sus dimensiones son reducidas, sumando un total de 110 x 100 x 30 metros de superficie entre todos los módulos, y sus características ambientales son equivalentes a las terrestres [respecto a presión y temperatura], aunque sin sensación de gravedad. La estación está preparada para albergar hasta seis tripulantes en sus módulos presurizados¹⁰. [5] [Anexo II, páginas 44-52]

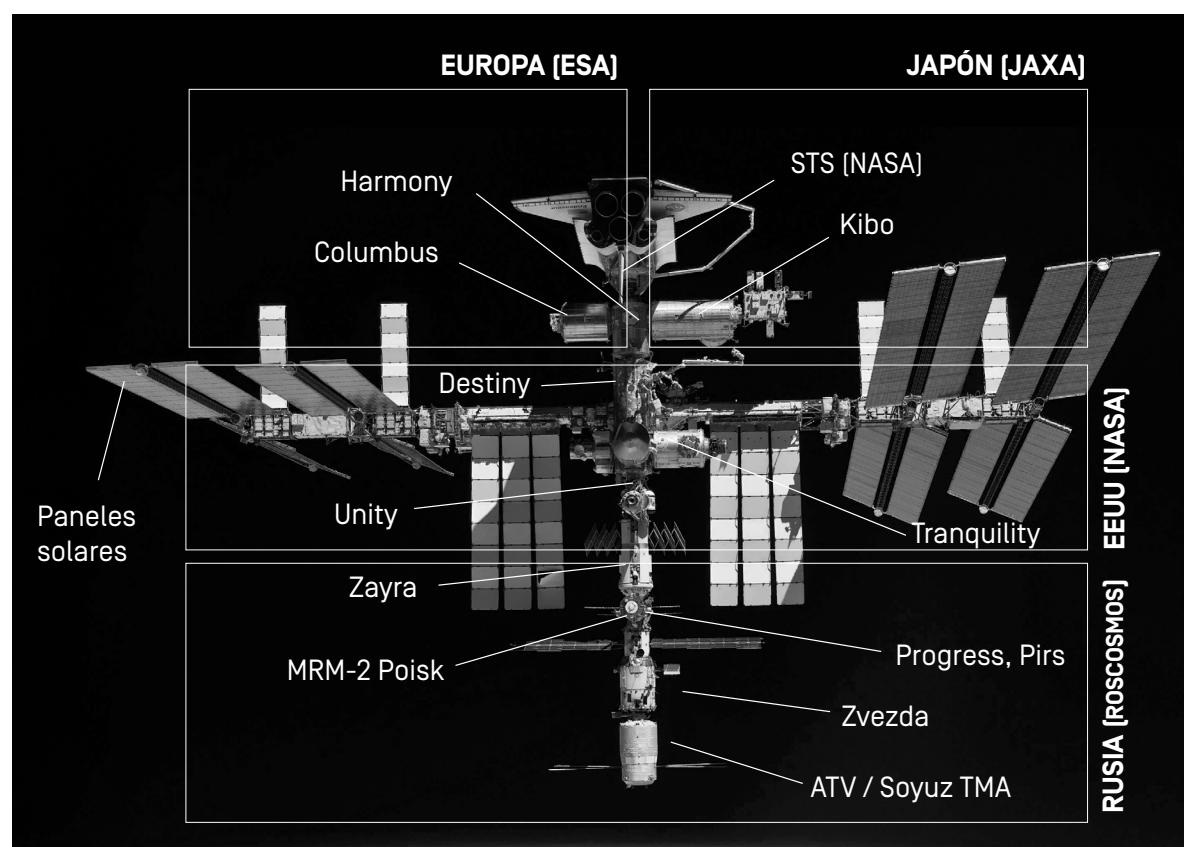


Figura 2: Relación de módulos y agencias de la ISS

1.3 LA VIDA EN LA ESTACIÓN ESPACIAL

La vida en la Estación Espacial presenta complicaciones, los tripulantes tienen dificultades para detener su movimiento debido a la micro-gravedad y siguen una rutina diaria establecida [Figura 2]. *“En el espacio, tal y como son ahora las naves espaciales, echas de menos cosas básicas, como poder ventilar la habitación, tener una ducha con agua generosa, yo que sé, hay muchas cosas que no se pueden hacer en el espacio y se van echando de menos”* afirmó Pedro Duque en una entrevista concedida a la Revista Gurb. [23] [Anexo II, páginas 53-60]



Figura 3: Time-line de una jornada en la ISS. Datos extraídos de: [29 a 33]

En la *Tabla 2* se muestra una comparativa de los productos utilizados en la Tierra para realizar diferentes tareas con respecto a los utilizados en la ISS. Datos extraídos de: [29 a 33]

ACCIÓN	DISEÑO ISS	CONVENCIONAL	FUNDAMENTO
Sujetar objetos	Velcros/ Cintas elásticas	Cualquier superficie	Se utilizan velcros en la pared y el objeto o cintas elásticas que forman una zona de almacenamiento.
HIGIENE			
Lavarse el cuerpo	Toallas húmedas con jabón	Ducha	Utilizan toallas húmedas para refrescarse y mantener su higiene, con un poco de jabón diseñado para producir poca espuma y no tener que enjuagarse.
Lavarse el pelo	Champú sin aclarado	Ducha	Utilizan un champú que no requiere de enjuagado, pero utilizan algo de agua para humedecer su pelo antes de aplicarlo.
Cortarse el pelo	Maquinilla aspiradora	Maquinilla	La ausencia de gravedad espacería los restos de pelo por toda la estación, por lo que hay una aspiradora conectada a la maquinilla, la cual se encarga de absorber los restos.
Cortarse las uñas	Cortaúñas	Cortaúñas	Utilizan un cortaúñas convencional, pero deben aproximarse a un ventilador para que deseche los residuos.
Lavarse los dientes	Dentífrico comestible	Dentífrico común	Utilizan dentífricos comestibles tragárselos tras lavarse los dientes y optimizar el uso del agua.
DESCANSO			
Dormir	Saco sujeto a la pared	Cama	Al no haber gravedad ni sistema de referencias, el usuario debe estar agarrado a un área fija para permanecer estable.
COMER			
Beber agua	Envase hermético con pajita	Vaso/Botella	El agua en microgravedad se ve afectada por la tensión superficial y toma una forma de esferas. La pajita impide que el usuario trague aire.
Cocinar	Máquina de hervir agua	Freír/Hervir con utensilio	La comida viene deshidratada en bolsas. Estas bolsas se introducen en la máquina de hervir agua y prepara la comida.
Guardar los alimentos	Cajas de suministro	Estanterías/Frigoríficos	Al estar envasada, en un ambiente sin gravedad y con poco espacio útil, la comida se almacena en cajas de transporte.
Limpieza de recipientes	Triturado y desecho	Lavavajillas/Lavado a mano	Los platos sucios y recipientes se desechan, puesto que el transporte de la ISS a la Tierra tiene un coste muy elevado.

Tabla 2: Tabla comparativa diseño terrestre - diseño espacial

1.4 CONCLUSIONES

Conclusión 1

La ISS comprende un espacio reducido para seis tripulantes, cada cosa está en un “desorden ordenado”. Se aprecia que los elementos que se encuentran en la estación están rigurosamente calculados y no hay objetos inútiles, sino que cada uno tiene su propia función, ya sea de ocio, experimentación, alimentación, descanso, aseo...

Conclusión 2

Las tareas ajenas a la experimentación son muy sencillas de realizar, puesto que tras la intensidad de las actividades diarias lo mejor es no hacer pensar al usuario en tiempo de ocio y descanso. Aunque la mayoría de las tareas son controladas mediante los Centros de Control Terrestres, es importante que los usuarios realicen ciertas tareas para no sentirse indiferentes. Siguiendo con esto, destacar que apenas hay productos relacionados con el ocio y el bienestar, aunque sea un aspecto secundario, potenciar este tipo de actividad optimizaría el rendimiento de los astronautas mejorando su estado anímico y psicológico.

Conclusión 3

Durante su vida diaria, los astronautas tienen una calidad de vida muy reducida (poco espacio, comida deshidratada, falta de intereses y hobbies, etc.) , lo cual puede conllevar a enfrentamientos, estado de impotencia y situaciones de estrés de manera muy rápida. Así mismo, los dispositivos existentes en la estación son todos compartidos, lo cual desindividualiza al usuario, potenciando su situación de estrés.

Conclusión 4

La ESA es un usuario muy concreto con un presupuesto muy alto y, la gente involucrada en las Agencias, tiene una preparación muy elevada y específica. De manera que el coste del producto final no tendrá repercusión, la ESA sólo busca conceptos viables y que realmente sean prácticos.

Conclusión 5

Las condiciones ambientales (temperatura y presión sobre todo) de la ISS son muy similares a las terrestres. La fuerza gravitatoria es muy similar a la terrestre, disminuyendo sólo alrededor de un 8%, es la sensación fisiológica la que es totalmente diferente.

2. PERFIL DE USUARIO BASADO EN EL ESTUDIO DE LOS ASTRONAUTAS DE LA ESA

2.1 AGENCIA ESPACIAL EUROPEA

La Agencia Espacial Europea, ESA de aquí en adelante por sus siglas en inglés: European Space Agency, es una organización internacional enfocada a la exploración espacial. Contiene diversos programas enfocados a las ciencias y tecnologías espaciales. Aunque los astronautas sean el usuario beneficiario, la ESA es el usuario potencial de este producto, es un usuario muy concreto y su presupuesto es muy amplio, por lo que el coste del proyecto quedará en un segundo plano. [2] Su sede principal se encuentra en París y la componen 22 países miembros. [3] Y, según propone la agencia en el *Artículo 2 de la Convención de la ESA*, su misión es “*Hacer realidad y promover la cooperación entre los Estados europeos en investigación y tecnología espacial para usos exclusivamente pacíficos.*” [2017] [Anexo II, páginas 40-43]

2.2 PERFIL DE USUARIO

Este tipo de usuario se caracteriza en términos cognitivos por su alta capacidad intelectual y por su amplia trayectoria profesional y, en términos físicos, como usuarios atléticos y con buenas referencias sanitarias. Destacar que sólo un 11,2% de los astronautas son mujeres, debido a que la *radiación cósmica*¹¹ tiene alrededor de un 30% más de probabilidades de producir un cáncer en mujeres que en hombres, debido a los órganos femeninos propicios a tal *afección*¹². En la *Tabla 3* se representan las características requeridas.

DESIGNACIÓN	VALORES
Estatura	149 – 192 cm
Visión	20/20
Edad	27 – 37 años
Presión sanguínea máxima	14 mmHg ¹³
Complejión	Atlética
Licenciatura [Astronauta Científico]	Ingeniería, Matemáticas, Ciencia física o biológica
Experiencia profesional [Astronauta Científico]	Mínima de 3 años
Vuelo a reacción [Astronauta Piloto]	+ 1000 h
Test psicológicos	Valoración positiva

Tabla 3: Relación de características requeridas para la selección

2.3. SELECCIÓN DE LOS ASTRONAUTAS

La selección de los astronautas sigue un proceso muy riguroso, pudiéndose clasificar como astronautas piloto o astronautas científicos, dependiendo de lo cual, se aplican unos criterios de selección u otros [Anexo III, págs 75-76]. [50]

2.4. PREPARACIÓN PREVIA AL VIAJE ESPACIAL

El proceso de preparación consistente en tres fases: en la fase teórica, de tres años de duración, se adquieren conocimientos sobre la astronáutica en general. En esta fase suelen dividirse en grupos y preparar diversos temas en profundidad, después la fase práctica, donde los sujetos se familiarizan con el efecto de micro-gravedad y con las condiciones ambientales que rigen la estación. Se realizan maniobras en Tanques de Flotabilidad Neutra, centrifugadoras, aviones a reacción o cámaras de ruido. La fase práctica también comprende una preparación psicológica, de la cual puede reseñarse el Curso de Supervivencia, con ello ejercitan el trabajo en equipo y el autocontrol psicológico. Por último, en la fase concreta se reproducen las fases del vuelo, tanto de pilotaje como de experimentación, dependiendo de la responsabilidad del astronauta. Estos ensayos se realizan en maquetas a escala real de la Estación Espacial y aplicando condiciones para simular la micro-gravedad. [49] [Anexo III, págs 92-94].

2.5. CONCLUSIONES

Conclusión 1

Los astronautas son cuidadosamente seleccionados y entrenados para la realización de los viajes espaciales. Son usuarios con una muy alta capacidad intelectual y una preparación teórica muy concreta.

Conclusión 2

La realización de ejercicios de maniobras en ambientes extremos, como en el caso de la Antártida, puede forjar una relación más íntima entre los astronautas, propiciando una buena comunicación entre ellos debido a la necesidad de supervivencia, lo cual es básico para próximos viajes espaciales.

Conclusión 3

Los astronautas pueden entrar como pilotos o como científicos, teniendo cada uno claros sus objetivos y misiones. No es bueno que se entrometan en las tareas de los demás, ya que podrían desestabilizarse las relaciones entre tripulantes propiciando situaciones de disputa. Tienen que tener muy claro quién es el líder y cuál es la función personal de cada uno de ellos para evitar este tipo de situaciones.

3. INTRODUCCIÓN A LA ANATOMÍA HUMANA Y BASES FISIOLÓGICAS

3.1. RESPECTO AL SISTEMA MUSCULAR

Los músculos son tejidos blandos unidos al esqueleto mediante estructuras fibrosas de gran resistencia conocidas como tendones, su función radica en transmitir la fuerza a los huesos y generar un movimiento mediante impulsos nerviosos generados por el SNC¹⁴ [74] basándose en la rotura del *nucleótido*¹⁶ ATP¹⁷ liberando fosfato y generando energía celular para generar una contracción. [76] [Anexo IV, página 99] Aunque también cumplen otras funciones como mantener la postura corporal y proteger los órganos vitales. Los músculos se clasifican en: músculos estriados o esqueléticos, músculos lisos y músculos cardiacos.

El equilibrio del cuerpo se consigue cuando se forma una línea vertical desde el CG¹⁵ hasta la superficie. [143] Los músculos anti-gravitatorios [Ver Figura 4] son aquellos que se oponen a la gravedad y ayudan a mantener una postura erguida y equilibrada. Puesto que en el espacio no son ejercitados, son los que más masa muscular pierden en condiciones micro-gravitatorias. [82] [Anexo IV, págs 101-106]

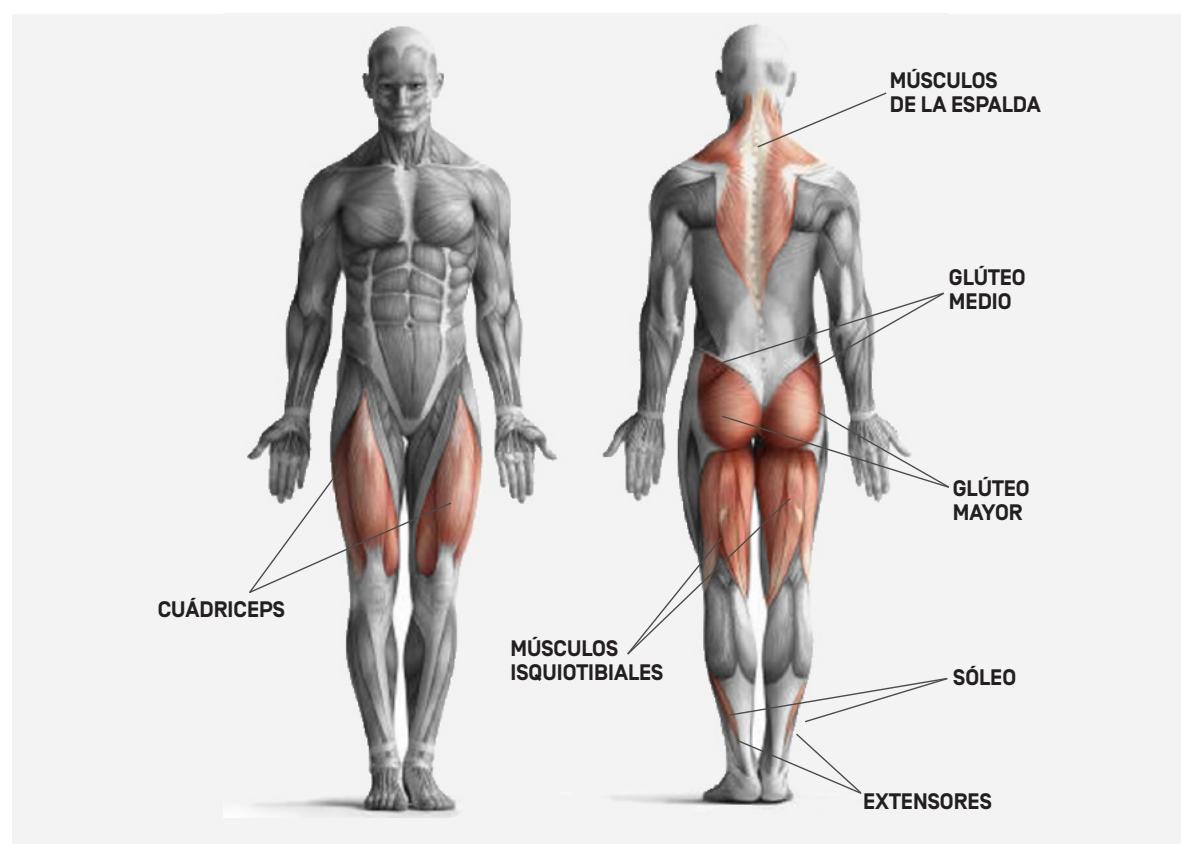


Figura 4: Representación de los músculos antigravitatorios

El músculo está compuesto por dos fibras [Anexo IV, página 100]. , la de tipo aeróbico o fibras lentas, que trabajan con oxígeno y cuya función se centra en aumentar la resistencia a fatiga y las de tipo fásico, que se encargan de una contracción rápida.[75]

3.2. RESPECTO AL SISTEMA ÓSEO

El sistema óseo está formado por un conjunto de estructuras articuladas, rígidas y semi-rígidas, formadas por tejido óseo denominados huesos y encargados de la locomoción cuando se combinan con el sistema muscular, del soporte para fijar el resto de partes del cuerpo, de la protección de los órganos, de la homeostasis¹⁸ mineral y de la producción de células sanguíneas mediante la médula ósea. [96] Los huesos se clasifican en /Ver Figura 5/ huesos largos [1], huesos cortos [2], huesos planos [3] y huesos irregulares [4]. [97] [Anexo IV, página 108]

De la estructura ósea destaca el periostio que, junto al vaso nutriente, se encarga de suprir las necesidades nutritivas del hueso, la médula ósea, encargada de generar células sanguíneas, el hueso compacto como parte superficial dura del esqueleto y el hueso esponjoso, encargado de dotarlo de resistencia. [99]

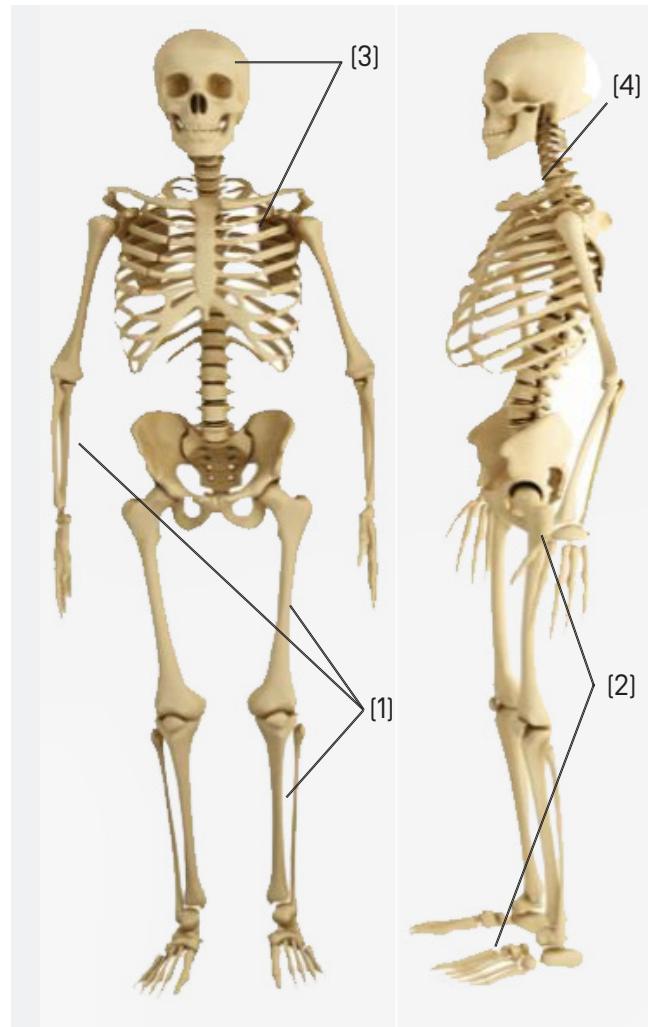


Figura 5: Representación del sistema óseo en función de los tipos de huesos

Las articulaciones son fundamentales para el movimiento del cuerpo, distinguiéndose las fibrosas, cartilaginosas y sinoviales en función de la amplitud de movimiento que permiten, siendo las sinoviales las del movimiento más leve y las fibrosas las del más amplio. [Ver Anexo IV, página 110]

3.2.1. REGENERACIÓN ÓSEA

Tal y como publican Alobera Gracia, et Al. en el artículo *Medicina oral patológica y cirugía bucal, vol.11 nº1*:

“...El hueso es el único tejido del organismo capaz de regenerarse, permitiendo la restitución ad integrum tras el trauma...El hueso es un tejido dinámico en constante formación y reabsorción. Este fenómeno equilibrado, denominado proceso de remodelado, permite la renovación de un 5-15 % del hueso total al año en condiciones normales. ...” [2016]

La regeneración ósea no sólo se produce cuando existe una fractura, sino que se trata de un proceso que se produce de manera periódica y que se reduce a dos conceptos: la osteogénesis y la resorción ósea. [102] El remodelado óseo se lleva a cabo en las unidades básicas multicelulares y sigue las siguientes fases: 1. fase quiescente, donde el hueso está en condiciones de reposo, 2. fase de activación, donde se expone la superficie mineralizada y se atraen los osteoclastos, 3. fase de reabsorción, donde los osteoblastos disuelven las matrices mineral y ósea liberando sustancias de crecimiento, 4. fase de formación, donde se agrupan los osteoblastos y las sustancias de crecimiento y sintetizan a una sustancia osteoide que funciona como cementante para llenar el hueso y 5. fase de mineralización. [103]

Tal y como expone Pedro García Barreno en su artículo *Mecanotransducción. Una aproximación tensegridal*¹⁹ publicado en Monografías de la Real Academia de la Farmacia [104], “*Mecanotransducción es el proceso de transducción de señales celulares en respuesta a los estímulos mecánicos... En respuesta a la carga mecánica se produce una remodelación de los elementos del citoesqueleto*²⁰; ello, siguiendo un patrón de deformabilidad consistente con predicciones matemáticas basadas en modelos de la arquitectura celular.”

3.3. CONCLUSIONES

Conclusión 1

Los músculos anti-gravitatorios son los primeros en atrofiarse, debido a que están preparados para soportar la fuerza gravitatoria terrestre, y al perder esa situación no se ejercitan y tienden a atrofiarse con premura. Así mismo, este efecto se produce de manera paralela a nivel óseo, donde los huesos dejan de realizar sus funciones de locomoción y soporte, por lo que pierden masa ósea esponjosa y sufren desmineralización, potenciando la fragilidad del hueso.

Como postulan Jack H. Wilmore y David L. Costill en la 5^a edición de su libro *Fisiología del Esfuerzo y del Deporte* (página 351) «*Si nuestro cuerpo no pesa, los huesos que sostienen nuestro peso y los músculos antigravitatorios (los que mantienen la postura) están descargados. La reducción de la tensión sobre los huesos y los músculos lleva en última instancia a su deterioro y reduce su capacidad de funcionamiento.*» [2014]

Conclusión 2

Un buen planteamiento en referencia al ejercicio físico de la ISS podría reducir considerablemente la atrofia muscular y la pérdida ósea. El esfuerzo a compresión aplicado a nivel tisular, es un elemento fundamental para tales objetivos, propiciando la mecanotransducción y la actividad muscular.

4. PRINCIPIOS DE LA MEDICINA ESPACIAL: EFECTOS FISIOLÓGICOS EN MICROGRAVEDAD

4.1. SISTEMA LOCOMOTOR

En el sistema locomotor se aprecia una hiper-extensión del raquis de entre 3 y 6 cm, lo cual puede traducirse en algias a nivel paravertebral²¹ y parestesias²². [109] Los músculos anti-gravitatorios pueden llegar a perder hasta un 20% de su masa inicial. [110]

A grandes rasgos se observa: atrofia, fatigabilidad y flacidez muscular, y muy levemente mejora aunque se practique ejercicio físico. Los músculos que desempeñan una función antigravitatoria: cuadríceps, músculos de la cadera, espalda y extensores del cuello se atrofian de manera rápida durante los vuelos espaciales, mientras que los músculos de brazos y manos en raras ocasiones se ven afectados. [111] [Anexo V, página 121]

4.1. SISTEMA ÓSEO

En el sistema óseo se observa una disminución de la densidad ósea [de hasta un 12% en huesos estructurales] debido a que los astronautas no están cargados estáticamente por la gravedad. [114] El remodelamiento óseo depende directamente del nivel de tensión dentro del hueso, por lo que la ausencia de carga tiene implicaciones nefastas. También se encuentra una hiper-adaptación a la micro-gravedad, que trae consigo una alteración en la estructura ósea en la que los iones cálcicos disminuyen, aumentando la fragilidad del hueso. [113] [Anexo V, página 124]

4.3. SISTEMA CARDIOVASCULAR

Con respecto al sistema cardiovascular, se redistribuyen los fluidos corporales, acumulándose en la zona del tórax y del corazón, ya que no hay una fuerza en sentido contrario, lo cual conlleva un aumento del ritmo cardíaco y una disminución de la masa muscular cardíaca de hasta un 3%. La frecuencia cardíaca disminuye junto a la presión arterial diastólica. [120] A grandes rasgos, las alteraciones se clasifican en hipotensión ortostática, atrofia muscular del miocardio y redistribución del flujo sanguíneo por la ausencia de gravedad. Además, la contracción arterial junto a la tensión superficial sanguínea producida por la dinámica de fluidos en el espacio, produce un pobre drenaje sanguíneo. [148] [Anexo V, página 125]

4.4. SISTEMA ENDOCRINO

En lo relativo al sistema endocrino, se alteran los ritmos circadianos y se producen cambios hormonales. El aumento del gasto cardíaco y disminución de la tensión arterial conlleva un aumento de la tensión arterial en los riñones, lo que produce que excreten el volumen sobrante, fenómeno conocido como *diuresis*²³. [121] [Anexo V, página 126]

4.5. SISTEMA NEUROLÓGICO

Los efectos neurológicos se deben a un incremento de la presión sobre los senos venosos a consecuencia de la *estasis*²⁴ que, junto a la disminución del drenaje linfático, puede producir edemas epicraneales. Así mismo, la alteración de las señales vestibulares afectan a los reflejos visooculares, produciendo complicaciones al estabilizar la imagen, por lo que se pierde la coherencia de señales visuales. Otra consecuencia es la Enfermedad del Movimiento en el Espacio (EME). [122] [Anexo V, página 127]

4.6. SISTEMA INMUNOLÓGICO

En los efectos inmunológicos se registra que los tejidos o células desafiadas por antígenos de memoria pierden su habilidad para producir anticuerpos, por lo que la activación inmune de células linfoides resulta muy afectada. Así mismo, los niveles células NK resultan alterados a los 7 días de permanencia en el espacio, éstas son las encargadas de lisar células infectadas por virus o transformadas oncológicamente. [123] [Anexo V, página 128]

4.7. CONCLUSIONES

Conclusión 1

Aunque se producen alteraciones a nivel de cualquier sistema, el muscular y el óseo son capaces de recuperarse en pocos meses con rehabilitación una vez regresados a la Tierra.

Aunque, podría darse una situación de emergencia en la que resultasen paralizados debido a la atrofia, es un problema menor, por las bajas probabilidades que conlleva. Por otro lado, el sistema cardiovascular es imprescindible para el correcto funcionamiento a nivel orgánico del cuerpo, por lo que sus alteraciones pueden traer consigo consecuencias graves para la salud, tres semanas tras el regreso a la Tierra, los ritmos vuelven a su estado natural, pero pueden producirse afecciones irreversibles a consecuencia de tal efecto.

5. CIENCIAS DEL DEPORTE: ANÁLISIS DE MÁQUINAS DEPORTIVAS Y EJERCICIOS DE LA ISS

Como apuntan William y Costill en su libro *Fisiología del esfuerzo y del deporte [5ª Edición]*, “Los ejercicios de entrenamiento en vuelo constituyen una de las contramedidas propuestas que parecen ser una elección obvia. Los datos de las misiones Skylab han demostrado claramente que aumentar el tiempo de ejercicio y facilitar una variedad de material para practicarlo atenúa en gran medida las pérdidas de fuerza muscular e incluso aumenta el VO_2 máximo.” [2004]

En la ISS utilizan tres dispositivos de entrenamiento: la CEVIS, el ARED y la COLBERT.

5.1. CEVIS

El sistema CEVIS [Figura 6] consiste en un Cicloergómetro con Sistema de Aislamiento y Estabilización de Vibraciones, el cual proporciona acondicionamiento aeróbico y cardiovascular a través de actividades de ciclismo en posición reclinada [Figura 7], se encuentra en el Laboratorio Destiny. [127]



Figura 6: Koichi Wakata utilizando la CEVIS

“Es una versión espacial de la bicicleta estática que cuenta con un sistema de aislamiento de vibraciones para que su movimiento y esfuerzo durante el ejercicio no afectan a la estación espacial en sí.” Thomas Pesquet, Astronauta. El diseño de CEVIS está adaptado al ambiente micro-gravitatorio, está preparado para poder utilizarse en situación de flotabilidad. [118]

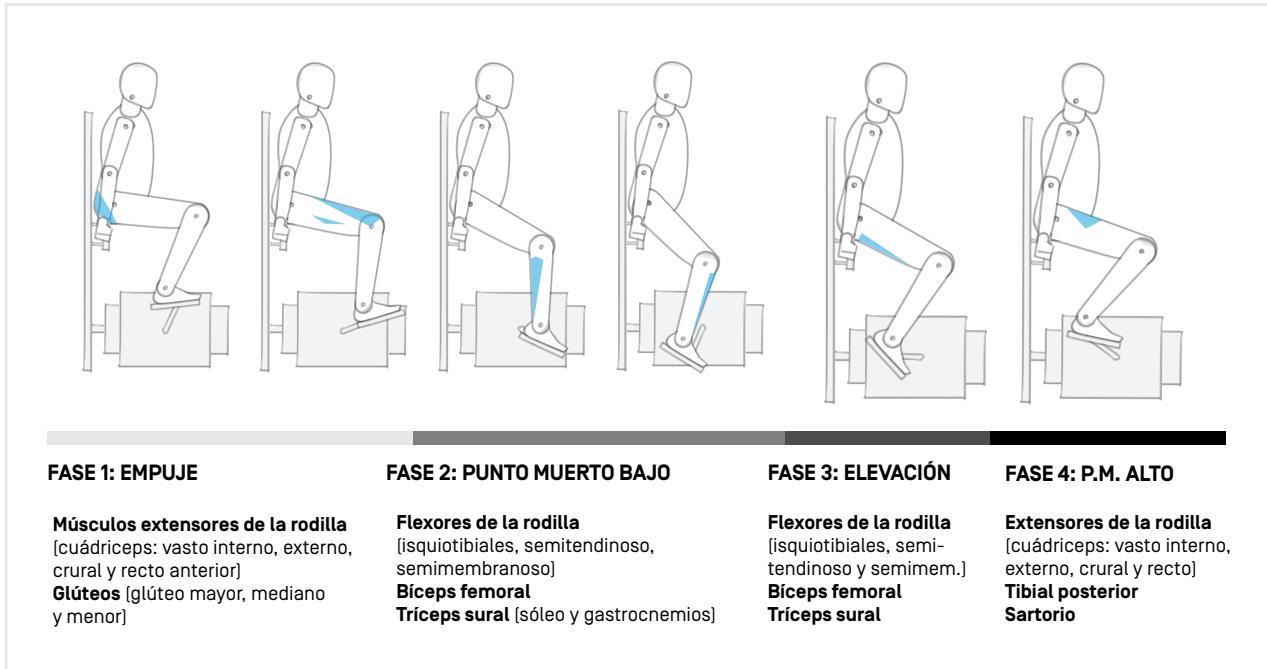


Figura 7: Relación de músculos utilizados en la CEVIS. Ver Anexo VI, pág. 133
Extraído de: [129]. [Anexo VI, página 137]

5.2. ARED

La máquina de ejercicio ARED [Figura 8], por sus siglas en inglés “Advanced Resistive Exercise Device” se utiliza para la realización espacial de ejercicios resistivos [Figura 8], ya que, el levantamiento de pesos sin gravedad sería en vano. Este dispositivo tiene la capacidad de

ejercitar todos los grupos musculares esenciales del cuerpo humano, permitiendo la realización de una gran variedad de ejercicios para muscular espalda, bíceps, tríceps y la zona abdominal. El levantamiento de pesas contrarresta la pérdida de huesos y músculo por su carácter resistivo. [130]



Figura 8: Koichi Wakata utilizando el ARED



Figura 9: Esquema de músculos utilizados en el ARED

Ver Anexo V, pág 139. Extraído de: [131][133][134]

5.3. COLBERT

La máquina de ejercicio COLBERT [Figura 10], por sus siglas en inglés: *Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill*, se encuentra en el Nodo Tranquility de la ISS y se trata de la cinta de correr. Para sostener al astronauta sobre la cinta se utilizan correas elásticas que se ajustan sobre los hombros y la cintura, apretándolas o aflojándolas dependiendo de la carga muscular necesaria y, por contra, la intensidad de ejercicio deseada. Para evitar la transmisión de vibración de la máquina al resto de la estación se utiliza un sistema de aislamiento de vibraciones consistente en resortes conectados a amortiguadores. Además, cuenta con dispositivos de almacenamiento de datos para evaluar la eficacia del ejercicio a la hora de la pérdida muscular y ósea. [135] Esta máquina tiene tres modos de funcionamiento diferentes: el primero, el modo activo, en el que la cinta de correr se desplaza accionada con un motor eléctrico, en segundo lugar, el modo pasivo, mediante el cual el astronauta será el que mueva la cinta empujándola con las pi-

sadas. Además, el motor se resiste a dicho movimiento y proporciona una resistencia ajustable. Y, por último, el modo sin potencia, en el que el tripulante empuja la cinta con las pisadas y la única resistencia será la resistencia al rozamiento del sistema. [136]



Figura 10: Koichi Wakata corriendo en la cinta COLBERT

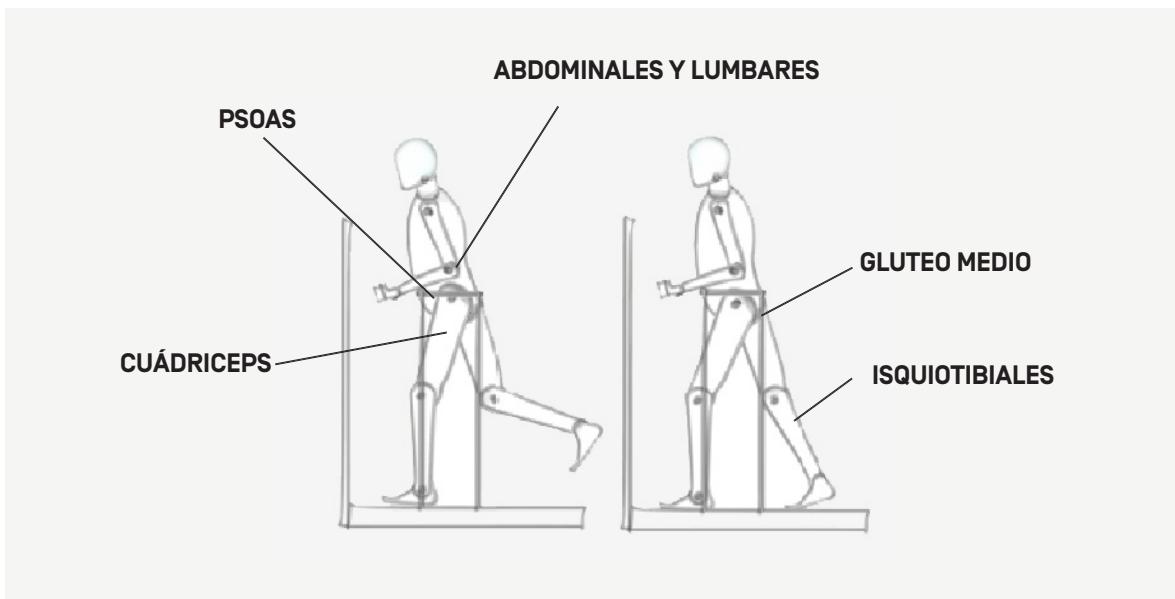


Figura 11: Relación de músculos utilizados en la COLBERT. Ver Anexo VI, pág. 137
Extraído de: [137] [Anexo VI, página 141]

El ejercicio aeróbico se basa en aquellos que conllevan menor intensidad que los realizados durante ejercicios anaeróbicos, pero se desarrollan durante períodos más largos de tiempo. Correr en la cinta forma parte de los ejercicios aeróbicos, y, aunque este tipo de ejercicios no aumente la masa muscular, mejora la función cardiovascular ayudando a disminuir la presión arterial y facilita la oxigenación del organismo, mejora la calidad del sueño y el estado anímico del corredor. Además, incrementa los niveles de absorción del calcio, fortaleciendo la estructura ósea. [137] Durante este ejercicio, el músculo responde a dos funciones básicas: 1. Regular la postura: produciendo un estado de semicontracción en los músculos del cuerpo. 2. Función dinámica: utilizando el SNC para regular cada músculo en función de una necesidad de coordinación muscular, modificación del músculo dependiendo de cargas externas o del entorno y de control del centro de gravedad y equilibrio. [138]

5.4. MED 2.0

MED 2.0 [Figura 12] es un proyecto de máquina de ejercicio espacial gestionado por la NASA. Con él, se busca la versatilidad y el aumento de la capacidad deportiva con respecto a la maquinaria ya implementada.

Este diseño cuenta con una gran variedad de ejercicios para realizar incorporados en un diseño muy compacto que no ocupa apenas espacio.

Está diseñado para tener una larga vida útil y se conecta a una tablet que saca por pantalla información fisiológica referente a la actividad que se esté realizando en ese momento.

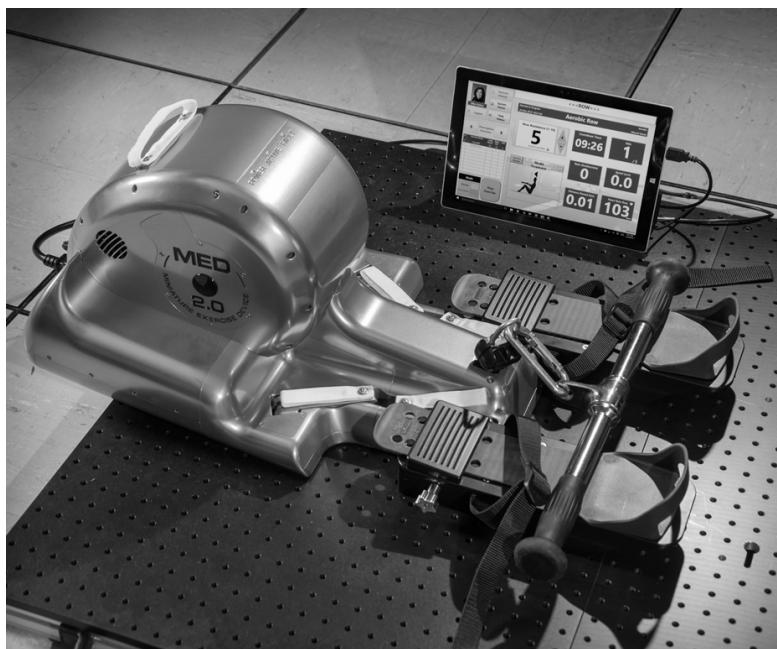


Figura 12: Dispositivo deportivo MED 2.0

5.5. CONCLUSIONES

Conclusión 1

Las máquinas de ejercicio de la ISS no están optimizadas contra la pérdida de masa ósea y muscular, sino que son meras adaptaciones de la maquinaria terrestre para su aplicación en entornos de micro-gravedad, así mismo tampoco están especializadas en los músculos de mayor peligrosidad, los antigravitatorios. Cabe destacar que, aunque estas máquinas ejer- citen dichos músculos, lo hacen de manera secundaria, no tomándolo como una prioridad. Por ello se requiere maquinaria de mayor carga compresiva y ejercicios especializados para intentar paliar el rebote fisiológico producido por la ausencia de gravedad.

Conclusión 2

Los sujetos tienen programas de ejercicio estándar, aunque registran la información y la envían a la base terrestre para variar el entrenamiento, los cambios son muy ligeros y no se adaptan a las circunstancias reales de cada usuario. Esto es debido a la baja versatilidad de la maquinaria.

Conclusión 3

La maquinaria implantada está en contacto con la ISS, es decir, evoca directamente a la estación. Sin embargo, sería beneficioso el diseño de un sistema que se aplicase en la ISS pero evocase a recuerdos y situaciones terrestres, “teletransportándoles” a dicha situación. Lo cual, no sólo mejoraría su rendimiento deportivo al involucrar al usuario, sino que también tendría efectos beneficiosos a nivel psicológico, reduciendo el estrés y desconectando al usuario durante la realización del ejercicio.

Conclusión 4

Es necesario que las máquinas lleven un sistema de agarre para el usuario que, además, produzca cierta resistencia hacia los pies, ya que sino el usuario no realizaría ningún esfuerzo y el tiempo invertido sería en vano. Además, en ciertos dispositivos como es el caso de la COLBERT, esta resistencia puede ajustarse dependiendo de las necesidades de cada usuario, lo cual es un aspecto beneficioso.

Conclusión 5

Cada máquina lleva integrado un sistema de absorción de la vibración para que ésta no se distribuya por la estación, ya que podría producir desestabilizaciones del resto de sistemas y, en un término más extremo, podría desatascar los puertos y despiezar la estación.

6. EDP'S

En este apartado se transcriben las EDP's establecidas a partir de las conclusiones extraídas de los diferentes estudios.



Figura 13: Relación de EDP's generales

Fase 2

Conceptualización

7. CONCEPTUALIZACIÓN

La creación de un dispositivo generador de gravedad artificial sería la solución idónea para este proyecto. Actualmente se está estudiando el diseño de módulos hinchables que crean gravedad a partir de aceleración centrípeta, pero existen muchos inconvenientes relacionados con la creación de momentos, fuerzas y vibraciones que desestabilizan y desmontan la ISS. Por ello, este *Mind-Map* [Figura 12] pretende *abrir las miras* acerca de la gravedad y buscar otro tipo de soluciones. La creación de una gravedad solucionaría la mayoría de los problemas referentes a la fisiología humana y permitiría un gran avance en los viajes espaciales y, en especial, los de larga duración.

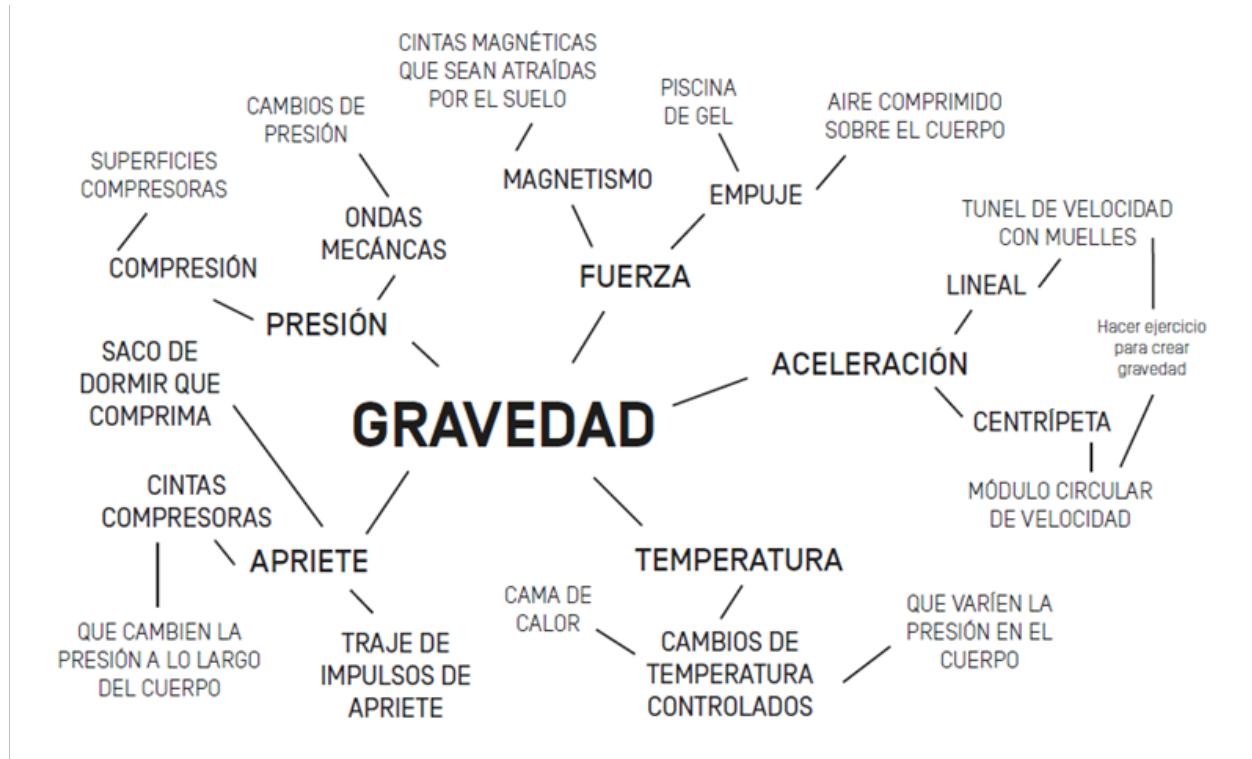


Figura 14: Mind-map basado en la creación de gravedad

7.1. BRAINSTORMING

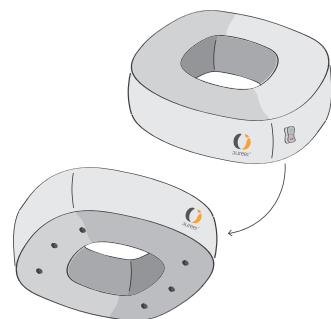
Para más información ver Anexo VII, páginas 150 - 153.



CINTAS DE ESFUERZO

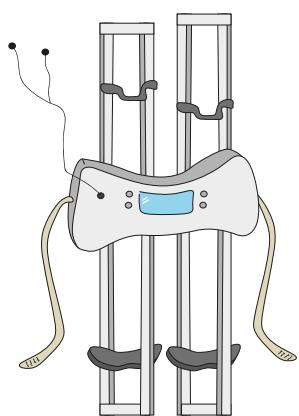


MÓDULO HINCHABLE DE GRAVEDAD

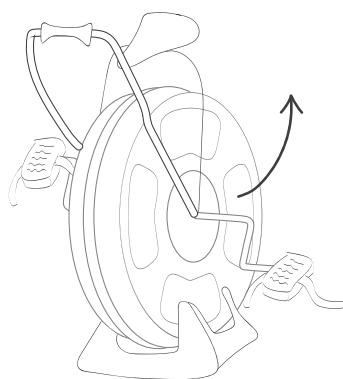


GRAVEDAD ARTIF. HEMATOLÓGICA

Concepto 1



MÁQUINA DE ESCALADA

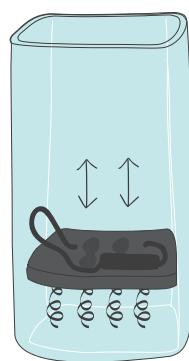


BICI CON MÓDULOS DE CARGA



COMPRESOR ÓSEO

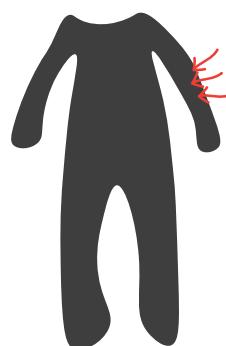
Concepto 2



TUBO DE GRAVEDAD



ARO MULTIFUNCIÓN



TRAJE DE IMPULSOS

Figura 15: Ideas generadas mediante la técnica Brainstorming

7.1 Concepto 1 [Ver Anexo VIII, páginas 161 - 165].

GENERADOR DE GRAVEDAD ARTIFICIAL A NIVEL SANGUÍNEO

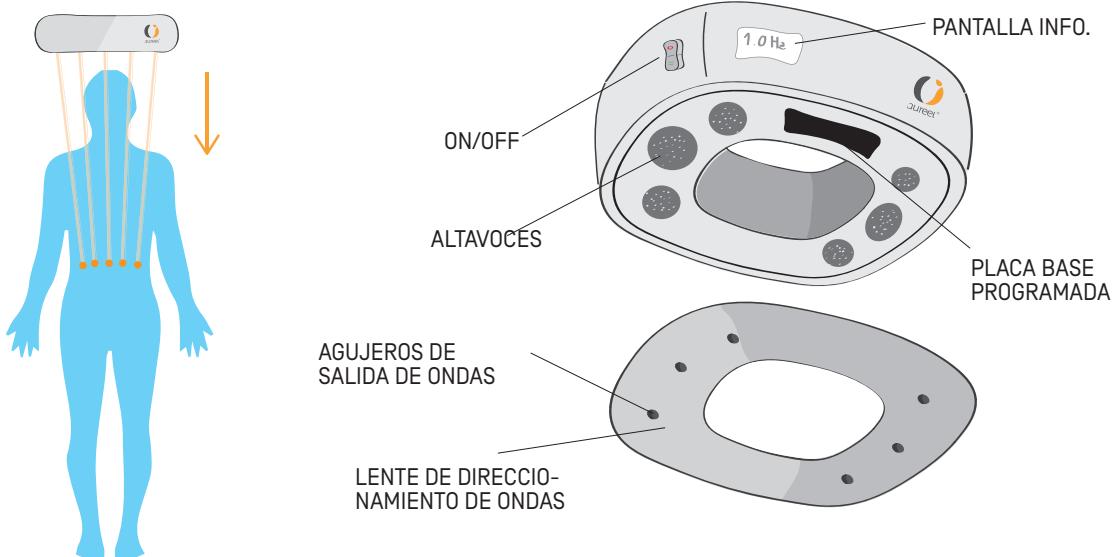


Figura 17: Funcionamiento del Concepto 1

Figura 16: Representación del Concepto 1

PROBLEMA QUE SOLUCIONA

La pérdida de gravedad altera la distribución de los fluidos corporales y el grado de distensión de las venas. En la situación terrestre, la gravedad empuja los fluidos en dirección caudal y los músculos la empujan en sentido cefálico, mientras que, en el espacio, los fluidos se acumulan en la zona torácica y del corazón debido a que no hay una fuerza en sentido contrario que la contrarreste.

DESCRIPCIÓN

Este concepto consiste en una plataforma que propaga ondas mecánicas que, [Figura 16] a nivel fisioterapéutico, actúan como ondas de presión.

El objetivo es la simulación de un campo gravitatorio artificial que sólo afecte a nivel sanguíneo. Se plantean las ondas de sonido, que son capaces de adentrarse en el sistema sanguíneo, traduciéndose en micro-vibraciones cuya función es la ejercer presión en zonas controladas.

FUNCIONAMIENTO

Se busca la creación de un sistema de variación de presiones mediante la generación de ondas mecánicas, que fisiológicamente se traduzca como una fuerza "hacia abajo", que simula una fuerza de gravedad terrestre. [Figura 17].

7.2 Concepto 2 [Ver Anexo VIII, páginas 166 - 171].

COMPRESOR ÓSEO

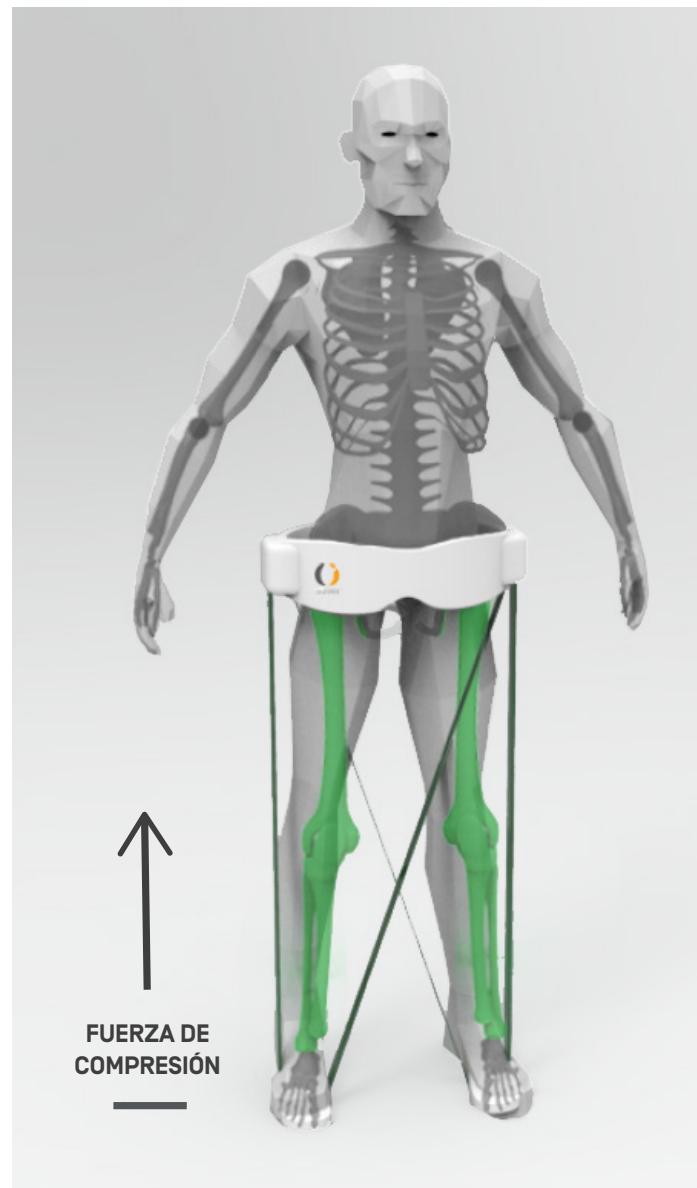


Figura 18: Componentes del Concepto 2

OPINIÓN DE EXPERTO

Dr. Tabuenca, Traumatólogo del Hospital Miguel Servet, Zaragoza.

“Parece una idea interesante, el aplicar una carga axial sobre extremidades inferiores, pero habría que impedir movimientos laterales y torsionales, [...]”

PROBLEMA QUE SOLUCIONA

La micro-gravedad produce una disminución de la densidad ósea debido a que los astronautas dejan de estar cargados estáticamente por la gravedad. Puesto que, el remodelamiento óseo depende del nivel de tensión dentro del hueso, la ausencia de carga tiene implicaciones nefastas.

DESCRIPCIÓN

Este concepto consiste en una cinturón [Figura 18] cuya función se basa en producir una variación de presiones a lo largo de las piernas del usuario mediante un empuje de compresión. Los osteocitos, osteoblastos y osteoclastos mecanosensibles²⁷ se encargan del remodelamiento óseo en respuesta a las cargas compresoras fisiológicas y anormales.

En este concepto, se trata de la creación de una variación de las presiones que, en zonas localizadas, permita el fenómeno de la mecanotransducción en el sistema óseo. Y, por consiguiente, impulsar la creación de masa ósea.

7.3 Concepto 3 [Ver Anexo VIII, páginas 172 - 176].

MÁQUINA DE ESCALADA, ENFOCADA A LA OPTIMIZACIÓN DEPORTIVA Y PSICOLÓGICA

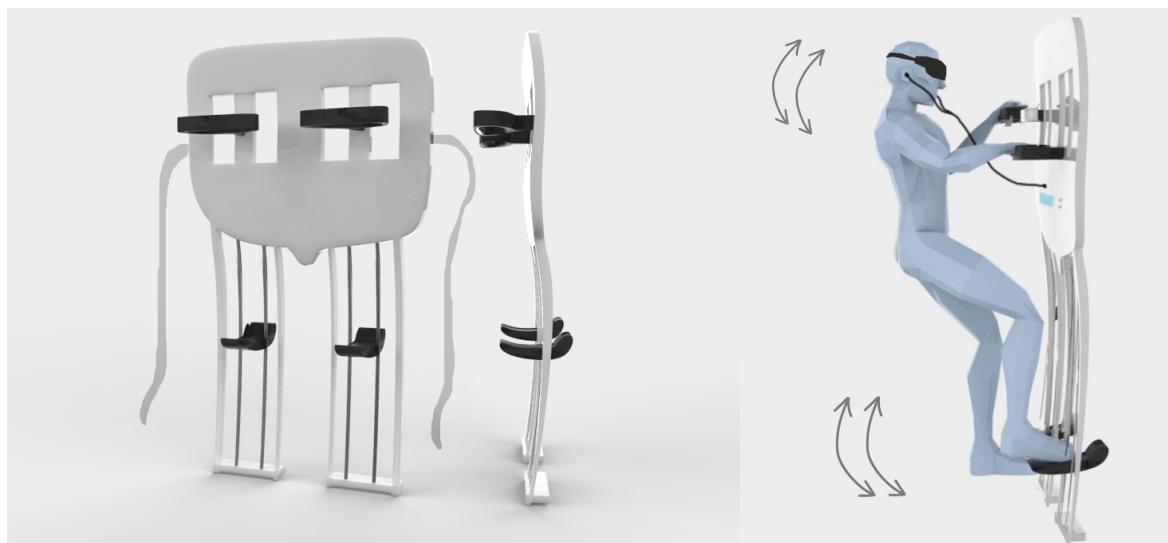


Figura 19: Representación 3D del Concepto 3

Figura 20: Funcionamiento del Concepto 3

PROBLEMA QUE SOLUCIONA

Los astronautas de la ISS pasan largos períodos de tiempo en la estación sin opción a salir de ella, por ello, meses previos comienzan a prepararse para ello tanto física como psicológicamente. Las duras condiciones de estrés, encerramiento e impotencia condicionan el comportamiento de los astronautas y su relación con el entorno. El fin de este dispositivo es transformar el tiempo obligatorio de deporte diario en un tiempo agradable de ocio.

DESCRIPCIÓN

La idea es actuar tanto a nivel psicológico como físico en el usuario. El concepto consiste en una base pegada a la pared [Figura 20] en la que hay agarres tanto para manos como para pies en la que los usuarios se colocan

y comienzan a ejercitarse sus músculos realizando ejercicios típicos de la escalada de montaña. A este dispositivo se acoplará un reproductor de música con grabaciones de la naturaleza y gafas de realidad virtual para transportar a los usuarios a su zona de confort en la Tierra. De forma natural adquiere la postura de escalada [Figura 22]. El usuario se coloca los cascos y ajusta la resistencia o el programa deseados y comienza a realizar el ejercicio.

Aunque la escalada utiliza casi prácticamente todos los músculos, se pueden señalar los siguientes: músculo dorsal ancho, el bíceps, los flexores de los antebrazos, los gastrocnemio y sóleo, músculos antigravitatorios por excelencia.

7.4 OPINIÓN DE EXPERTO Ver Anexo VIII página 176

**Tte. Delgado Martín del Regimiento de Guerra
Electrónica 31, Experto en Instrucción Militar y
Acondicionamiento Físico**

“En base a mi experiencia realizando entrenamientos enfocados a trails de montaña y series explosivas aeróbicas y anaeróbicas en terrenos montañosos, el ejercicio muscular en zonas de pendiente procura una mayor activación en los músculos de las zonas de tren inferior principales [cuádriceps, isquiotibiales, glúteos y vasto interno/externo], aumentando la potencia muscular en dichas zonas y la capacidad aeróbica del sujeto que realiza estos entrenamientos. [...] Por tanto, el empleo de este tipo de máquinas, bajo mi opinión, resultaría muy acertado.”

**Dra. Pérez Echeverría,
Jefe de Servicio del Sector II de
Psiquiatría del Salud de Zaragoza**

“[...] Simular situaciones que para ellos son gratas a nivel deportivo o con evocaciones a nivel psicológico puede desen-taponar el colapso de estrés recibido por el entorno en el que se encuentran. Los seres humanos hacemos una valoración emocional ante la presencia de un estímulo. [...] Hay que tratar de individualizar al máximo posible las actividades comunes, que te les de su identidad personal.”

7.5 MÉTODO RADAR

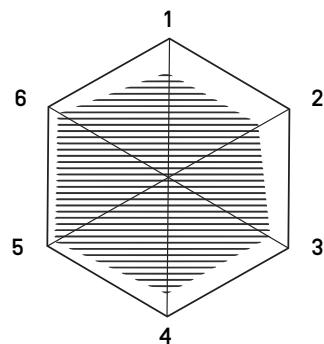
Para aplicar el método se han utilizado las EDP's extraídas anteriormente:

[Ver Anexo VIII, página 177]

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Viabilidad | 4. Recursos necesarios |
| 2. Cumplimiento de las EDP's | 5. Innovación |
| 3. Practicidad | 6. Necesidad que cubre |

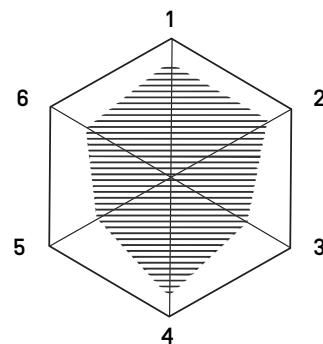
CONCEPTO 1

DISPOSITIVO ACTIVADOR DEL FLUJO
SANGUÍNEO MEDIANTE
ONDAS MECÁNICAS



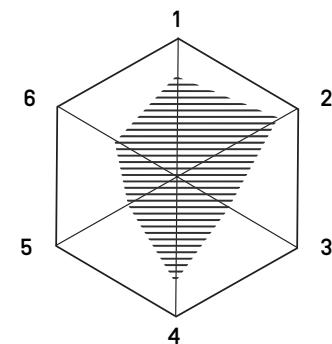
CONCEPTO 2

COMPRESOR ÓSEO ENFOCADO AL
AUMENTO DE LA GENERACIÓN DE LA
MASA ÓSEA



CONCEPTO 3

MÁQUINA PARA LA ESCALADA
(PSICOLOGÍA Y DEPORTE)



En base a lo cual, se ha seleccionado el **CONCEPTO 1**, enfocado a la mejora del flujo sanguíneo en entornos micro-gravitacionales.

Fase 3

Desarrollo técnico y formal

8. METODOLOGÍA UTILIZADA

Para abordar el proceso de desarrollo de diseño se aplicará una Metodología de Diseño [Figura 23] basada en la realización de diversos estudios, debido a que el proyecto tiene un gran componente técnico.



Figura 21: Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del concepto

9. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Durante millones de años, los seres humanos han sido rediseñados y adaptados al medio con el fin de la supervivencia. Las adaptaciones más beneficiosas se desarrollan y transmiten mediante la herencia de los caracteres adquiridos, permitiendo la adaptación de los seres vivos al medio. [144] La evolución humana actual, está “diseñada” para entornos gravitatorios, por lo que el cuerpo humano sufre alteraciones fisiológicas al ser privado de tal efecto.

Como se ha enunciado anteriormente, las afecciones más trascendentales se producen en el sistema hematológico. Durante las primeras horas y días de exposición al ambiente micro-gravitatorio, se aprecia una disminución del volumen plasmático de alrededor de un 20% debido a que los vasos sanguíneos, los capilares y vénulas en concreto, colapsan a efecto de que la sangre no consigue la fuerza necesaria para mantener las paredes vasculares. La sangre, por tanto, se redistribuye hacia las zonas de menor dependencia gravitatoria, centrándose en la zona del tórax. También se aprecia una disminución de la producción de la proteína encargada de la síntesis de glóbulos rojos, conocida como EPO²⁸ [145] y, por consecuencia, una disminución de los glóbulos rojos.

La sangre deja de acumularse en las extremidades inferiores como ocurre con la gravedad normal de 1G, debido a la menor presión hidrostática. De esta manera, llega menor volumen sanguíneo al corazón y aumenta el gasto cardiaco y la tensión arterial.

De media, el agua representa un 60% y la sangre un 7,7% del peso corporal de un adulto medio. A su vez, la sangre tiene una composición de agua en un 83%. Es bien conocido que la mecánica de fluidos en el espacio se comporta de manera totalmente diferente a como lo haría bajo condiciones físicas terrestres. [146]

Los fluidos tienen una llamada “tensión superficial”, la cual se traduce como la energía necesaria para aumentar la superficie del líquido por unidad de área. La tensión superficial viene dada por las fuerzas intermoleculares en los fluidos, es decir, las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior y en la superficie del líquido. En condiciones de 1G, estas fuerzas son despreciables, pero al exponerse a un ambiente de ingravidez, los fluidos dejan de experimentar la fuerza de la gravedad, y por ello las fuerzas intermoleculares (despreciables en la Tierra) recuperan su importancia creando una “fina capa elástica” en la superficie conocida como tensión superficial. [147]

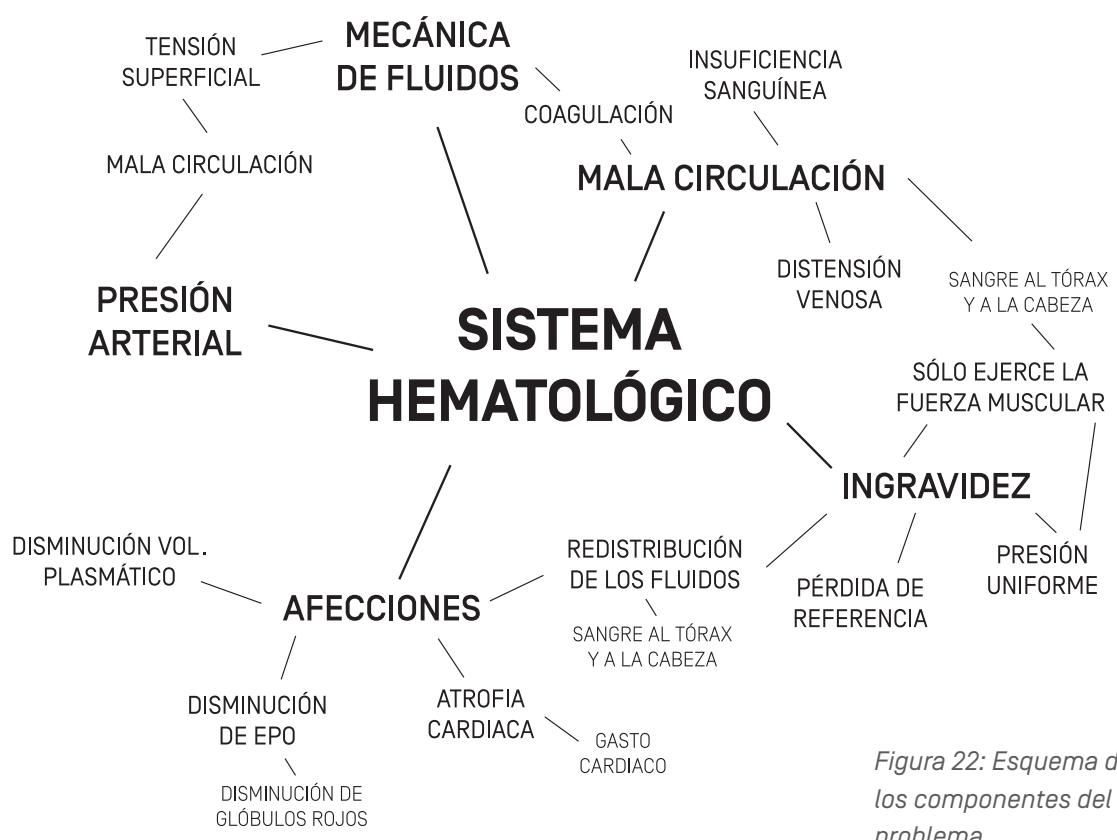


Figura 22: Esquema de los componentes del problema

A continuación se establecerá un listado a modo esquema [Figura 23] con la información que se necesita recopilar y los aspectos que hay que tener en cuenta para desarrollar dicho concepto.



Figura 23: Esquema de la descomposición del problema

10. DOCUMENTACIÓN

10.1 GRAVEDAD ARTIFICIAL

La creación de un campo gravitacional artificial es la única manera viable de conseguir una correcta redistribución de los fluidos. No se estima ninguna otra manera de conseguirlo debido a que es un fenómeno fisiológico que sucede en el interior del cuerpo humano, que no es accesible mediante dispositivos mecánicos y que no se pueden utilizar campos [eléctricos, magnéticos,...] que perturben los sistemas instalados en la Estación Espacial.

La gravedad terrestre se percibe a nivel fisiológico como un incremento de presión de cabeza a pies de aprox. 120 mmHg, mientras que, en la ISS, la presión se recibe de manera uniforme y constante con un valor de 100 mmHg a lo largo de todo el cuerpo. Por lo cual, para crear un efecto de gravedad, habrá que conseguir ese gradiente de presión entre pies y cabeza.

Otro aspecto a tener en cuenta, es que no se puede estudiar la gravedad en el cuerpo entero, sino que hay que partirla en secciones horizontales y analizar las fuerzas que afectan a cada uno de ellos, tal y como se describe en la Figura 24.

$$\sum \vec{F} = 0$$

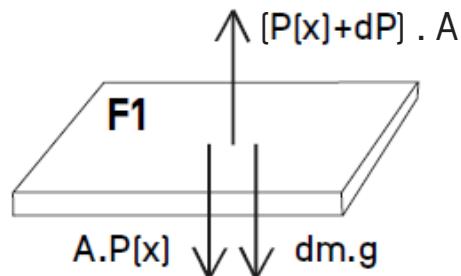
$$A \cdot P(x) - (P(x) + dp) \cdot A = dm \cdot g = 0$$

donde,

$$dm \cdot g = \rho_{cuerpo} \cdot A \cdot dx$$

$$dP = \rho_c \cdot g \cdot dx$$

$$\Delta P = \frac{dP}{dx} \approx \rho_{cuerpo} \cdot g \cdot h_{persona}$$



Para una densidad corporal aproximada de 940 kg/m³, una g de aproximadamente 9,8 m/s² y una altura del hombre de 1,70 m:

$$P_{cabeza-pies} \approx 14000 \text{ Pascales}$$

Figura 24: Cálculo de la presión necesaria para simular la gravedad sanguínea

10.2 SISTEMA CARDIOVASCULAR

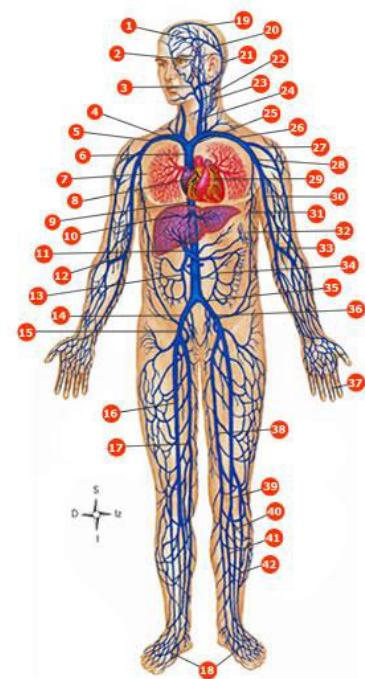
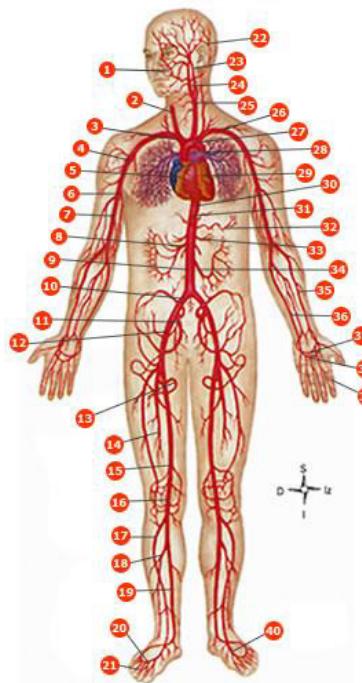
Este sistema recoge el corazón y los vasos sanguíneos: arterias, venas y capilares, y funciona como el sistema de transporte sangre a lo largo de todos los órganos del cuerpo a partir de la presión sistólica que ejerce con la contracción ventricular, que alcanza el valor de 125 mmHg.

[151] Las arterias son las encargadas de distribuir la sangre hacia los tejidos, y se ramifican progresivamente desembocando en una fina red de vasos de menor diámetro denominados capilares para alcanzar todos los órganos, éstos los encargados de suministrar oxígeno y recoger el CO₂ de las células. Los capilares se unen formando vénulas, que se fusionan y forman las venas, encargadas de retornar la sangre hasta el corazón. El diámetro de capilares alcanza las 8-12 micras y la presión arterial (PA) es muy baja, siendo mayor en el centro del vaso que en los bordes. La presión sanguínea en arterias es disipada cuando ésta llega a los capilares, **[150]** tal efecto se incrementa en gran medida en ambientes micro-gravitatorios impidiendo un correcto funcionamiento circulatorio sobretodo en estos vasos. *[Anexo IX, pág. 187]*

La medida de la presión cardiaca *[Gráfica 1]* se valora a partir de la presión sistólica, la cual alcanza los máximos valores y se produce cuando la sangre es bombeada por el latido del corazón. Mientras que, la presión diastólica registra los valores de presión más bajos, producidos cuando el corazón está en reposo entre latido y latido. Los valores normales de PA están entre 119/79 mmHg (sistólica y diastólica respectivamente). **[152]** La PA es el producto del gasto cardíaco y la resistencia vascular sistémica. Por ello, las alteraciones en la viscosidad sanguínea o las condiciones de maleabilidad de la pared venosa son factores que afectan directamente su valor. **[153]**

**SISTEMA ARTERIAL
[ARTERIAS REPRESENTATIVAS]**

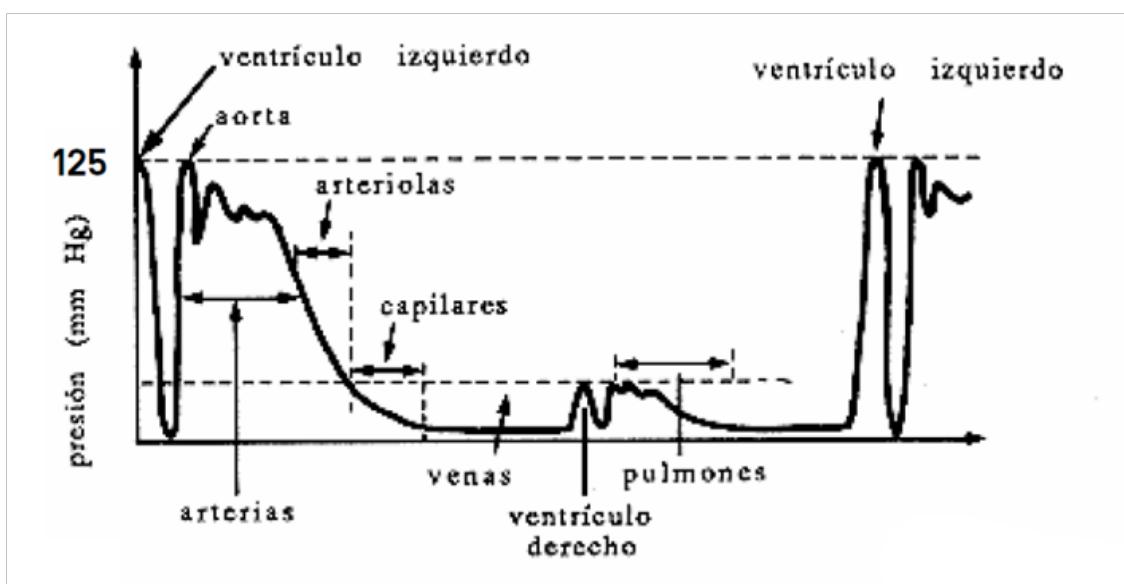
- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1 - Facial | 15 - Femoral |
| 2 - Carótida | 16 - Poplítea |
| 3 - Tronco braquiocef. | 22 - Occipital |
| 4 - Torácica inferior | 23 - Carótida |
| 5 - Coronaria derecha | 28 - Pulmonar |
| 9 - Aórtica abdominal | 29 - Coronaria izda. |
| 10 - Iliaca primitiva | 30 - Aorta |
| 13 - Circunfleja interna | 33 - Renal |



**SISTEMA VENOSO
[VENAS REPRESENTATIVAS]**

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1 - Seno longitudinal | 18 - Arco venoso |
| 6 - Vena cava sup. | 20 - Seno recto |
| 7 - Pulmonar | 22 - Yugular externa |
| 8 - Coronaria dcha | 23 - Plaxo cervical |
| 9 - Vena cava inf | 27 - Cefálica |
| 10 - Hepática. | 29 - Coronaria izda |
| 15 - Iliaca externa | 30 - Basílica |
| 16 - Femoral | 39 - Poplítea |

Figura 25: Representación del sistema cardiovascular



Gráfica 1: Variación de la presión en el sistema circulatorio

10.3 ONDAS MECÁNICAS

Las ondas mecánicas son aquellas que propagan energía mecánica y se caracterizan por la necesidad de un medio elástico para transmitirse. Conforme avanza la onda se produce una oscilación en el estado de equilibrio de alguna propiedad mecánica [Figura 26] del medio en el que se transmite y se extiende hacia las zonas colindantes. [155] En este proyecto se utilizarán las ondas mecánicas de sonido para la creación del incremento de presión en torno al cuerpo humano. [Anexo VIII, pág. 193]

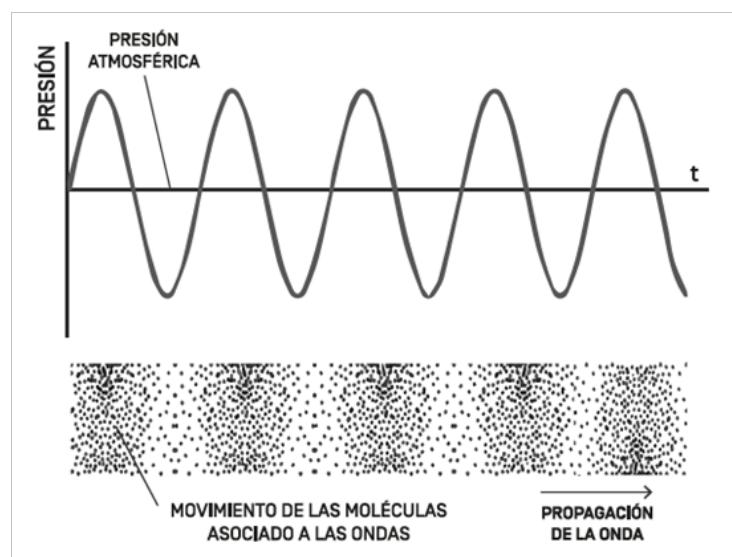
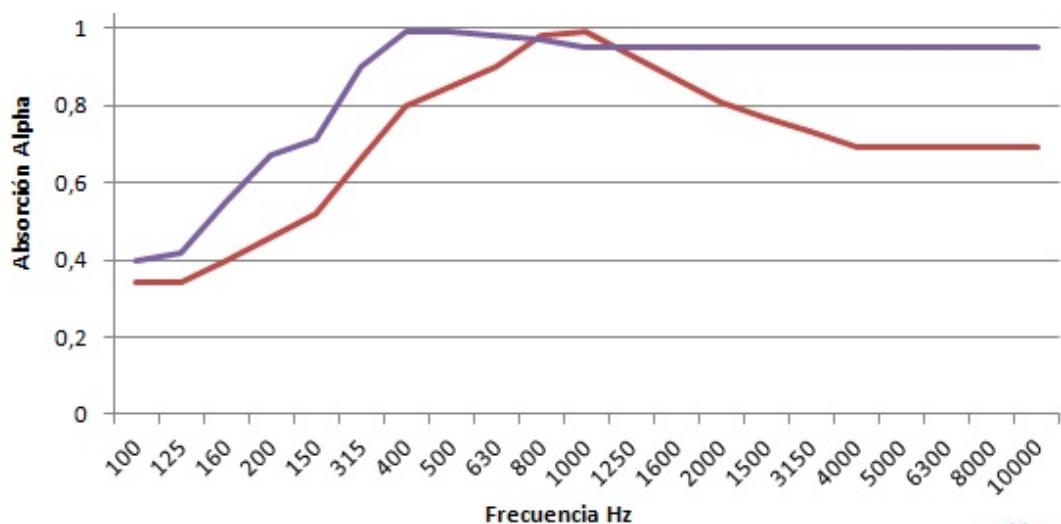


Figura 26: Representación del fenómeno producido por una onda mecánica sobre un medio elástico

El coeficiente de absorción de la onda depende, después del material de contacto, de dos factores: la frecuencia de la onda y de su ángulo de incidencia. [156] La absorción aumenta con la frecuencia [Gráfica 2], y en altas frecuencias el espesor del material sobre el que incide no es un factor determinante, mientras que se produce una menor absorción a bajas frecuencias y en este caso el espesor de material sí es un factor determinante.



Gráfica 2: Relación entre la frecuencia de las ondas y la absorción agua salada [sangre].

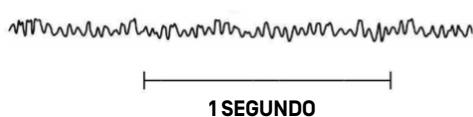
La sangre tiene una densidad de 1.08 g/cm^3 [183], muy cercana a la del agua salada que es de 1.03 g/cm^3 , podemos hablar del sistema circulatorio como un sistema hidráulico, así que se tratará la absorción de las ondas en la sangre como si de agua se tratase.

10.4 INFRASONIDOS

Los infrasonidos son ondas acústicas cuya frecuencia está por debajo del espectro audible para el oído humano, del que se estima un valor aproximado de 16 Hz. [158] Con los infrasonidos la absorción es mucho menor y casi nula. Los ultrasonidos sólo alcanzarían la capa superficial del cuerpo, mientras los infrasonidos no se absorben apenas y pueden actuar en todas las capas internas. Además, los infrasonidos tienen una longitud de onda mucho mayor a los ultrasonidos lo cual, evita que se creen ondas estacionarias a nivel interno, lo cual podría hacer explotar órganos o tejidos con diferentes impedancias [Anexo IX, pág. 197]. Los infrasonidos tienen un reflejo directo sobre la psicología humana, existe una rama científica que estudia tal repercusión, la psicoacústica. Cuando el cerebro humano se expone a una determinada frecuencia, la actividad cerebral tiende a entrar en fase con dichas ondas, adaptándose a su misma frecuencia y consiguiendo alterar el estado mental del sujeto; el cerebro humano produce impulsos eléctricos que producen ritmos conocidos como ondas cerebrales. Estos impulsos se transmiten a través de cientos de neuronas para ejecutar una función determinada. Las cuatro ondas cerebrales principales [Figura 27] son las ondas alfa, beta, theta y delta. [159]

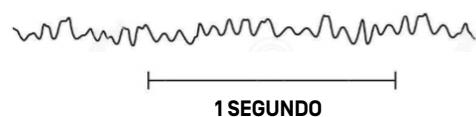
ONDAS BETA

Estas ondas se producen cuando el cerebro está totalmente despierto e inmerso en intensas actividades mentales. Las ondas se caracterizan por ser amplias, con una alta velocidad de transmisión y de alta frecuencia (14-35 Hz).



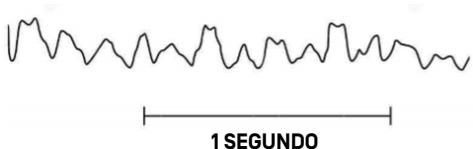
ONDAS ALFA

Las ondas alfa representan un estado de escasa actividad mental o relajación. Son más lentas, la frecuencia disminuye hasta 8-14 Hz y su amplitud es mayor respecto a las ondas beta.



ONDAS THETA

Estas ondas se producen cuando la persona está "desconectada de la realidad" o "soñando despierta". Se caracterizan por ser más amplias que las anteriores y tener una frecuencia menor, de entre 4 y 8 Hz.



ONDAS DELTA

Las ondas delta se caracterizan por tener la mayor amplitud y menor frecuencia (entre 1 y 4 Hz, nunca llegando a 0: la muerte cerebral). Se generan cuando el cerebro está en un estado de sueño profundo.

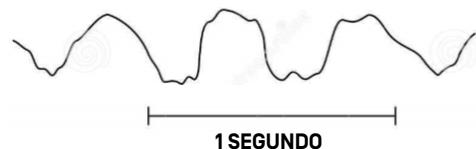


Figura 27: Captura de pantalla de las ondas de actividad mental Anexo VIII pág 190

10.5 FISIOLOGÍA DEL SUEÑO

La presión arterial (PA) disminuye durante el sueño, alcanzando sus mínimos durante las fases NREM de hasta un 10% y un 6% de la frecuencia cardíaca en relación al mismo gasto cardíaco.

[161] La falta de gravedad también afecta a los períodos de sueño de los astronautas [Tabla 4], un estudio estadístico sobre una muestra de 85, que participaron en el transbordador espacial, o en la EEI, reveló que la media de sueño era de seis horas pero tenían que recurrir al uso de somníferos en más de la mitad de las noches pasadas en el transbordador y en el 11% de las noches pasadas en la EEI, se demostró también a través del estudio de sus ondas cerebrales, tono muscular y movimiento de los ojos que la calidad del sueño es inferior al que se tiene en ambiente de gravedad terrestre. **[162]** [Anexo IX, pág. 200]

AMBIENTE DE MICROGRAVEDAD	FACTORES FUNDAMENTALES	SUPERFICIE TERRESTRE
La EEI completa la órbita cada 90 min, por lo que hay ausencia de día y noche.	Ciclo de 24 horas de luz y oscuridad	Rotación del Sol
La luz es la señal que sincroniza nuestro reloj interno al suprimir la melatonina, hormona que facilita el sueño, al no experimentar el ciclo de luz oscuridad no se segregan de igual forma.	Luz	Oscuridad
Dada la posición corporal no hay disminución del flujo sanguíneo a las extremidades y no se reduce al mínimo la temperatura.	Temperatura	Se reduce al mínimo
El cuerpo no tiene información de la postura y deben dormir con arneses para permanecer sujetos al saco de dormir, por lo que no están "tumbados"	Postura	Tumbados
En la EEI hay un ruido de unos 65 decibelios	Ruido	Silencio

Tabla 4: Comparativa de las características del sueño terrestre y el sueño espacial

El ser humano emite un patrón de ondas cerebrales que permiten identificar su estado y actividad mental. La unión de las diferentes regiones cerebrales que emiten diferentes frecuencias de ondas es denominada sincronía neural. Es debido a una serie de procesos neurológicos que generan descargas neuronales por redes transitorias. Es decir, cualquier estímulo, habilidad, pensamiento o sentimiento, se traduce en una mezcla de ondas cerebrales emitidas de diferentes frecuencias que se unifican formando una única información. **[163]** Las ondas cerebrales se alteran en respuesta a los cambios en estímulos ambientales, incluyendo el sonido. Mediante el "arrastre de ondas cerebrales", se produce una sincronía de las ondas cerebrales con las del entorno, tendiendo a entrar en fase con la frecuencia a la que está expuesto. **[164]**

El *EEG*³⁰ de la *Figura 28* muestra las frecuencias emitidas en relación a la fase del sueño en la que se encuentre el sujeto. [160]

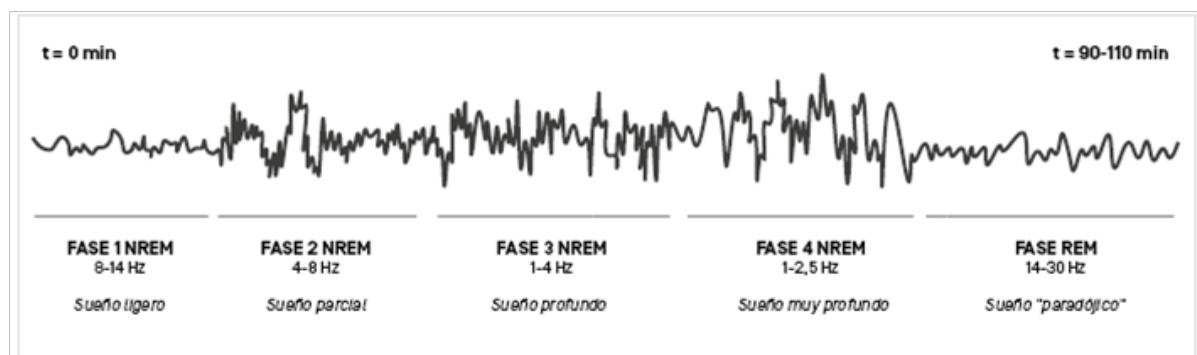


Figura 28: Representación de un *EEG* de la actividad durante un ciclo de sueño

Se aprecia que las frecuencias emitidas en las ondas cerebrales cuando el sujeto está inducido en un sueño profundo son de 1 a 4 Hz.

10.6 OPINIÓN DE EXPERTO PARA ANALIZAR LA VIABILIDAD

Jose Luis Lához, Experto en Física y Astrofísica

“[...] Pienso que es totalmente viable, y que podría abrir un nuevo campo de estudio fundamental para la estancia prolongada en el espacio, tanto en la ISS como en posibles viajes interplanetarios. Por otra parte, es absolutamente necesario un estudio experimental y técnico. [...]” Ver Anexo VIII, página 208.

11. EDP'S APLICADAS AL PRODUCTO

Se han especificado una serie de EDP's básicas tanto críticas como deseables para el desarrollo del producto.

CRÍTICAS	DESEABLES
GENERALES	
TAMAÑO	El tamaño deberá ser adecuado para optimizar el espacio de la ISS y no sobrepasar las dimensiones de los dormitorios [2000x950x850 mm]
MATERIALES	Los materiales utilizados deberán ser agradables al tacto, ignífugos, duraderos,...
ESTABILIDAD	El diseño deberá ser rígido y compacto para no alterar la estabilidad de la estación espacial.
SEGURIDAD	El producto debe ser seguro y no producir daños al usuario, ya que en la ISS puede ser crítico.
PRACTICIDAD	Es un tema clave. El producto deberá ser práctico para poder ser valorado.
ONDAS	
LONGITUD	La longitud de onda debe ser el suficiente como para no producir ondas estacionarias.
INTENSIDAD	No debe ser audible, se requerirá un filtro pasabajos.
DE TIPO	Mecánicas, deben ser ondas de presión (sonoras por ej.)
FRECUENCIA	Podría ser de entre 1 y 4 Hz para influir en la actividad mental del usuario y relajarle.
TIPOLOGÍA	Las ondas de pulso cuadrada de 1 a 4 Hz serían las idóneas para sumar de presiones.
ABSORCIÓN	La menor posible para optimizar el sistema.

Tabla 5: EDP's críticas y deseables aplicadas al producto

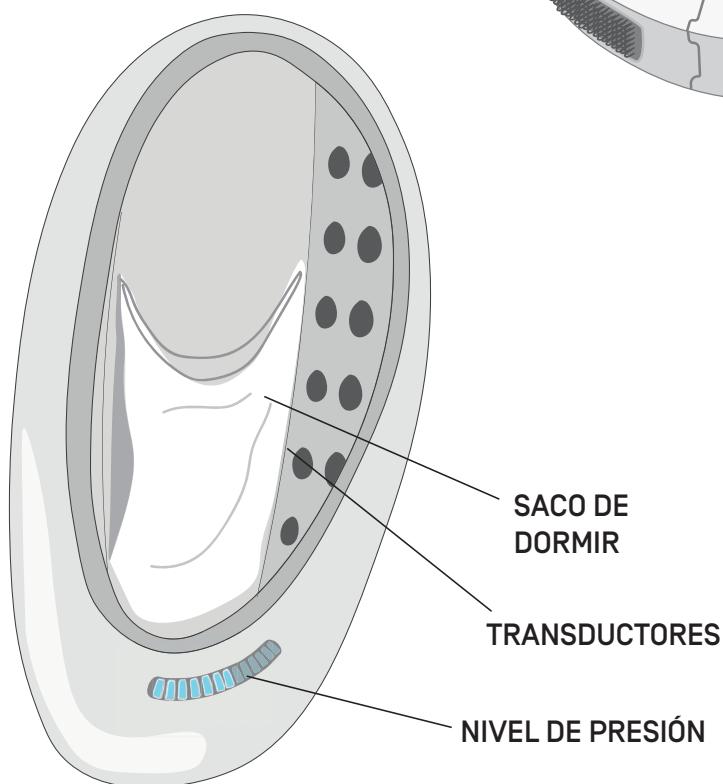
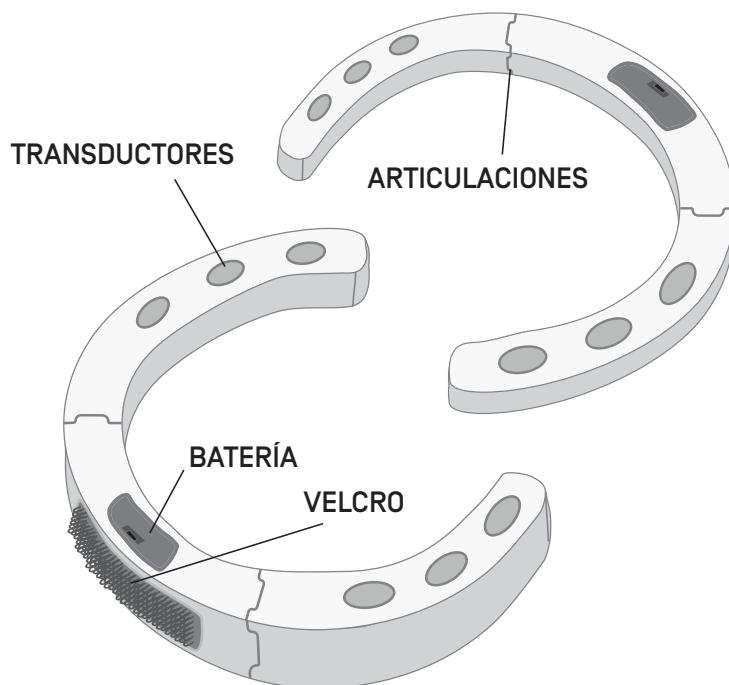
12. DESARROLLO FORMAL

El producto se concibe como un generador de gravedad a nivel sanguíneo. Se crea a partir de una serie de altavoces que se encargan de producir pulsos de onda que, en términos fisiológicos, se traducen como variaciones de presión. Los altavoces están colocados a lo largo de todo el cuerpo (de cabeza a pies) para generar una suma de las amplitudes de onda entre secciones. Para no entorpecer al usuario en sus tareas diarias, el producto se utilizará por la noche. Sabiendo esto, se van a postular las siguientes alternativas de diseño:

Alternativa 1: ACCESORIO

La primera alternativa consiste en abrazaderas que pueden colocarse en la instalación de descanso de la ISS.

Figura 29: Alternativa 1 para el diseño del producto



Alternativa 2: CÁPSULA

La segunda opción es diseñar al completo la zona de descanso, donde se encuentra un saco de dormir y una serie de altavoces.

Figura 30: Alternativa de diseño 2

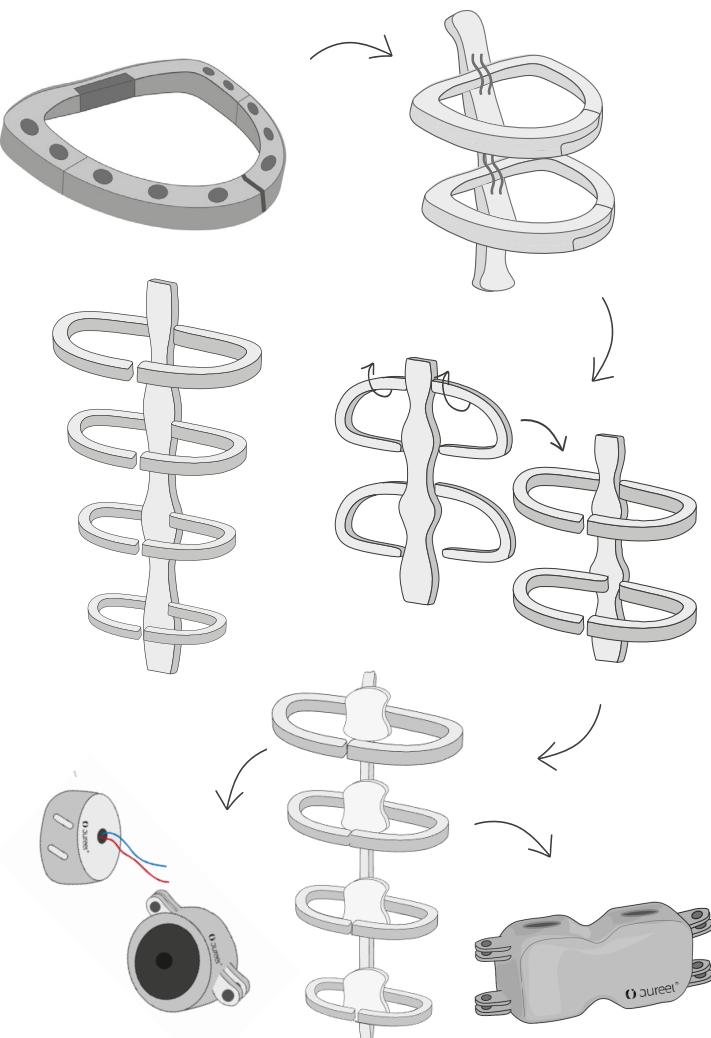
BOCETOS

Figura 31: Bocetos y panel de influencias



Conclusiones a nivel formal

La forma/estética de los productos de la estación espacial responde directamente a su función. No es un elemento prioritario que llame la atención del usuario [a no ser que sea un elemento de emergencia], pero es muy trascendente que no produzca alteraciones psicológicas en el usuario: es decir, no debe tener connotaciones negativas y ariscas y debe responder al diseño aplicado en la estación para no alterar el entorno y no desequilibrar al usuario. Que el producto pueda personalizarse puede ser un factor beneficioso a nivel psicológico como se puede ver en la Entrevista a Experto, Anexo V, página 129.



13. ESTRUCTURA DEL PRODUCTO

Figura 32: Estructura y componentes del producto

ABRAZADERAS

Un total de 4 abrazaderas que van disminuyendo su tamaño formando un tronco cónico.

MÓDULO CENTRAL

El módulo central será atravesado por el eje fijando las abrazaderas en altura.

MÓDULOS ALTAVOZ

Habrá 8 en las dos primeras abrazaderas y 6 en las dos últimas.

CONEXIÓN A LA RED

Conectado a 124 V de DC.

GENERADOR DE ONDAS

De 4 canales, uno para cada abrazadera.

SENSORES DE PRESIÓN

Dos sensores de presión [en la cabeza y los pies] que se conectarán al ordenador personal de cada tripulante y monitorizarán la información.

EJE

Se encargarán de sujetar las abrazaderas.

CONEXIÓN AL ORDENADOR

Para gestionar los datos

14. COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS

En este apartado se van a estudiar y elegir los componentes necesarios para la fabricación del producto, aunque lo ideal sería diseñarlos de manera específica, este aspecto no se contempla en el alcance del proyecto y se elegirán componentes comerciales que permitan su correcto (pero no óptimo) funcionamiento.

COMPONENTES COMERCIALES	COMPONENTES ESTRUCTURALES
ALTAVOCES - TRANSDUCTORES	SISTEMA DE AGARRE
Para generar las ondas mecánicas.	Sistema para cerrar las abrazaderas.
GENERADOR DE ONDAS	SISTEMA DE ABRAZADERAS
Funcionará como fuente emisora de las ondas.	Sistema de sujeción vertical de abrazaderas.
FILTRO PASO-BAJOS	MÓDULOS
Para anular las frecuencias no deseadas.	Carcasas y elementos de protección

ALTAVOCES - TRANSDUCTORES

Función: Emitir pulsos de 3 Hz.

Especificaciones: Es necesario que los altavoces sean direccionales debido a que las pérdidas producidas en transductores convencionales alcanzan valores en torno a: $I_1 = 1225 \cdot I_2$ para una distancia de 40 centímetros [Ver Anexo VIII, página 227].

Debido a las necesidades de este producto, lo ideal sería diseñarlos de manera específica tal y como se muestra en el Anexo VIII, página 218 "Diseñar los altavoces". Pero para desarrollar este proyecto se utilizarán componentes comerciales que cumplan los requisitos establecidos y permitan su viabilidad. Primeramente, es necesario especificar la potencia y la cantidad de transductores necesarios para generar el gradiente de presión equivalente al gravitatorio: 120 mmHg.

Sabiendo que, 1 mmHg equivale a 133,32 Pa,

para un $\Delta P = 100 \text{ mmHg}$,

$$x = 133,32 \cdot 100 \approx 13332 \text{ Pa} = 133,33 \text{ HPa}$$

$$\begin{aligned} [179] \quad I &= \frac{\Delta P^2}{2 \cdot \rho \cdot V_{prop}} = \frac{13332^2}{2.933 \cdot 1500} = \\ &= 63,50 \text{ W/m}^2 \text{ [en cada transductor]} \end{aligned}$$

$$[171] \quad A_{1 \text{ TRANSD.}} = \frac{P_{TOTAL}}{N^o_{ABRAZADERAS}} = \frac{13.332}{4} = 3.333 \text{ Pa} \quad A_{1 \text{ TRANSD.}} = 3.333 \text{ Pa}$$

Tomando como datos que la densidad corporal es de 933 kg/m^3 y la velocidad de propagación en agua salada es de 1500 m/s , se obtiene:

$$I_T = \frac{3.333^2}{2 \times 933 \times 1500} = 3,96 \text{ W/m}^2$$

Es decir, cada subgrave deberá tener una intensidad de $3,96 \text{ W/m}^2$ y con ello, una potencia de:

$$[174] \quad \text{Pot}_{1\text{TRANDS.}} = I \times \pi \times R^2$$

$$\text{Pot}_{1\text{TRANDS.}} = 3,96 \times \pi \times 0,04^2 = 0,012 \text{ W}$$

Se requiere una potencia de $0,012 \text{ W}$ para altavoces de membranas de 8 centímetros de diámetro, lo cual es una potencia muy pequeña. No se fabrican altavoces con tal característica, por lo que se utilizarán dispositivos de mayor potencia, aunque luego se programen para utilizarse a menos potencia.

Conocidos estos datos, y sabiendo que es necesario que las ondas, como mínimo, focalicen en un área de emisión de 42° (Anexo VIII, página 236) se han estudiado diferentes alternativas:

TECNOLOGÍA ULTRACARDIOIDE

Se aplica para conseguir que la direcciónalidad de las ondas sea la máxima y se disipe la menor energía posible. [172]

[Ver Anexo VIII, página 233]

LENTE ACÚSTICA

Existen lentes acústicas que, colocadas frente a un transductor, permite focalizar el haz de ultrasonidos y controlarlo en un plano. [173] [Ver Anexo VIII, página 233]

Eleción: Una vez establecidas las necesidades y analizadas las alternativas, se han elegido los Altavoces direccionales "A Junior".
[Figura 33].

Las especificaciones técnicas pueden encontrarse en Anexo VIII, página 237-238.

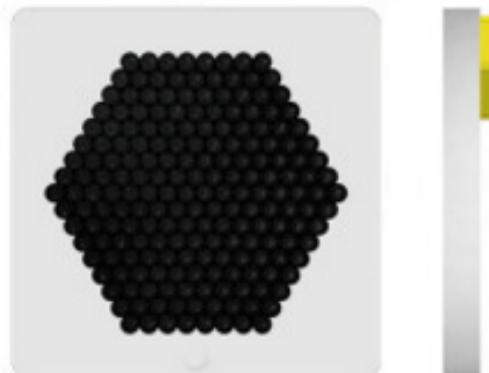


Figura 33: Paneles de transductores "A Junior"

GENERADOR DE ONDAS

[Anexo VIII, página 221 o Anexo X, Subanexo 2.4.1, página 345]

Función: Generar pulsos de 3 Hz y enviarlos al transductor.

Especificaciones: Es necesario que tenga cuatro canales para conectarlos a cada abrazadera y que genere pulsos de onda cuadrados.

Elección: Modelo WW5064/1074/2074

FILTRO PASO BAJOS

[Anexo VIII, página 223].

Función: Anular las frecuencias no deseadas limitándolas a partir 6 Hz, ya que la emisión de los pulsos no es pura y en menor medida se reproducen un rango de frecuencias.

Elección: Preamplificador NE5532

ARTICULACIONES DE LAS ABRAZADERAS

[Anexo VIII, página 224].

Función: Articular las abrazaderas para su apertura y cierre.

Alternativas: Sistema de bisagras [Figura 34], Sistema esférico [Figura 35] o Cadena de piezas [Figura 36].

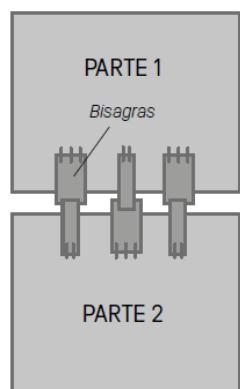


Figura 34: Bisagras

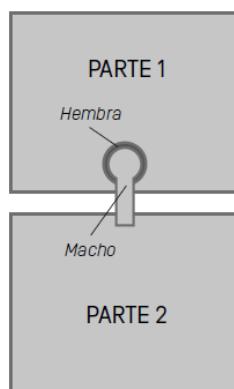


Figura 35: Esférico

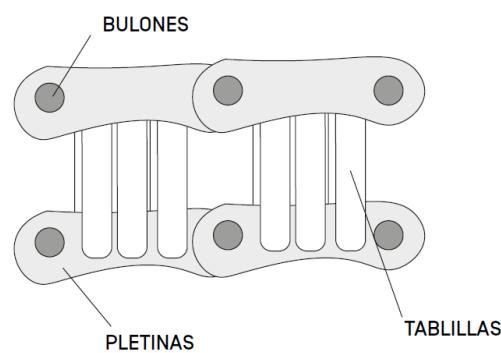
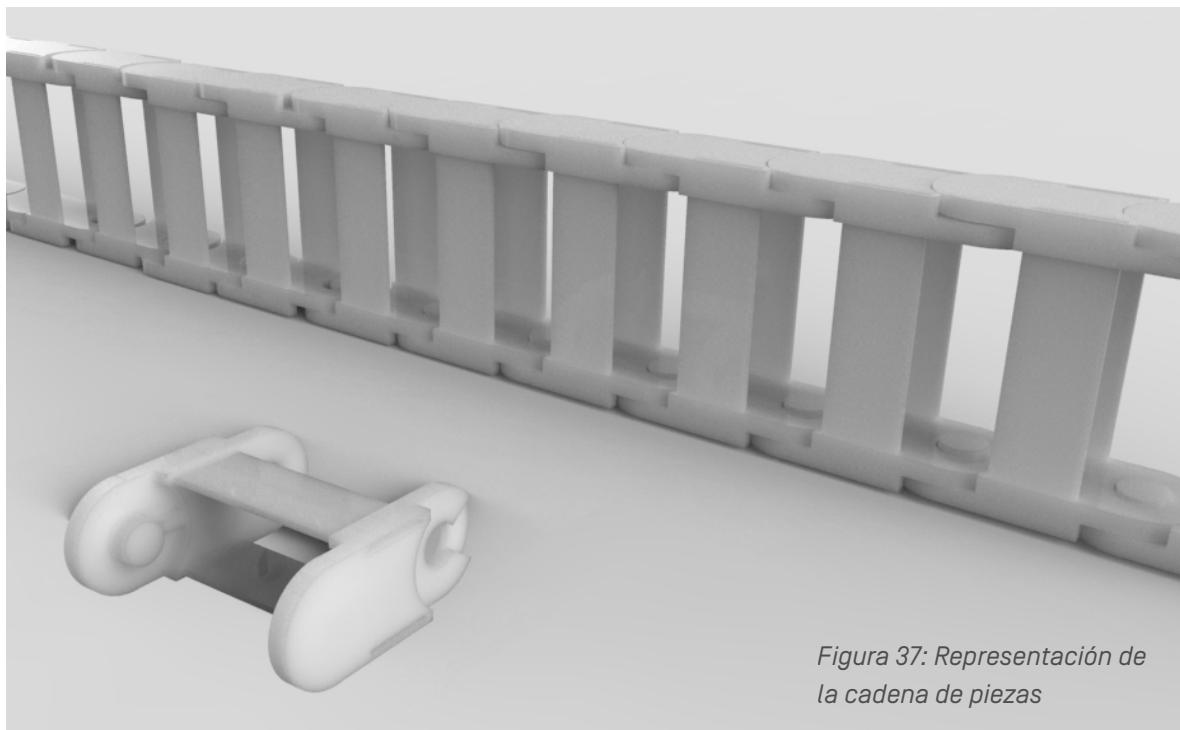


Figura 36: Cadena de piezas

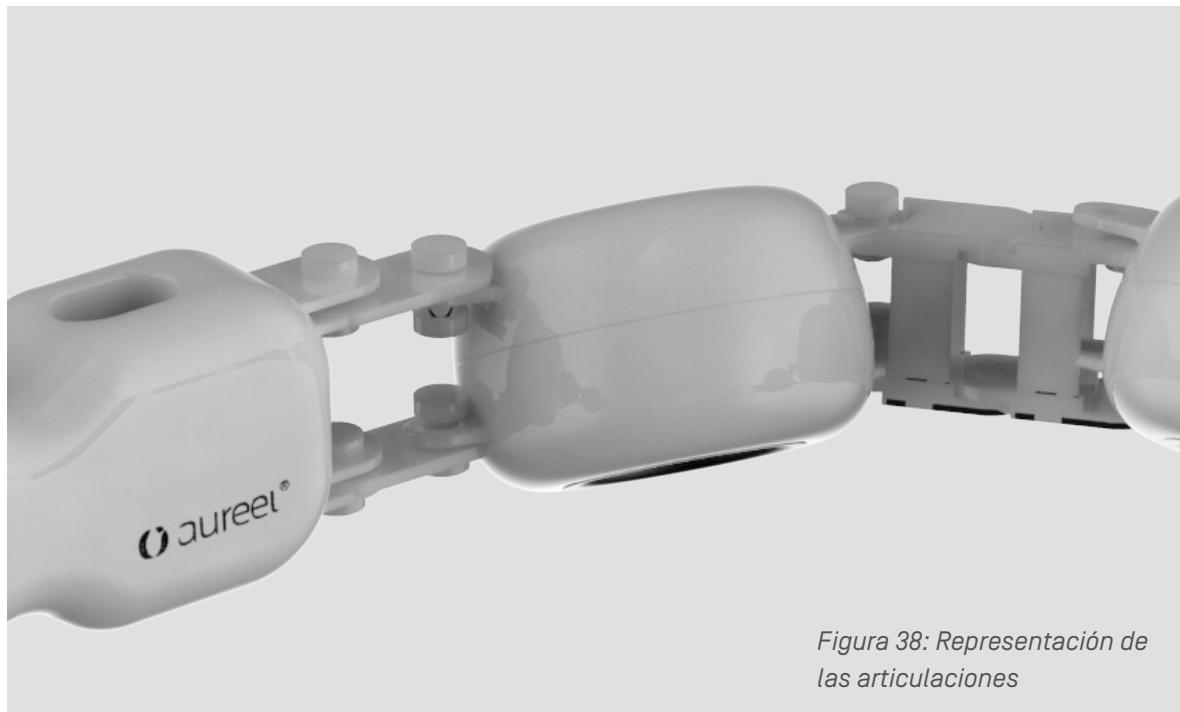
Elección: Los módulos de altavoces irán enganchados a una cadena de piezas entramadas por bulones, que permiten una amplia flexibilidad para adaptarse a las medidas de cada usuario [Figura 37]. Estas piezas podrán añadirse o quitarse dependiendo de las dimensiones de cada tripulante.



MONTAJE DE ARTICULACIONES

[Anexo VIII, página 219 y “Monografía técnica”, página 254-259]

Tanto en los módulos de los altavoces como en los centrales, se encuentran agarraderas tal y como se ve en la *Figura 38*, las cuales se atraviesan de bulones roscados.



SUJECCIÓN DE LAS ABRAZADERAS AL EJE

[Anexo VIII, página 228-229]

Función: Sujetar las abrazaderas y fijarlas a la altura deseada.

Alternativas: Sistema Tanka [Figura 39], Ejes telescópicos [Figura 40].

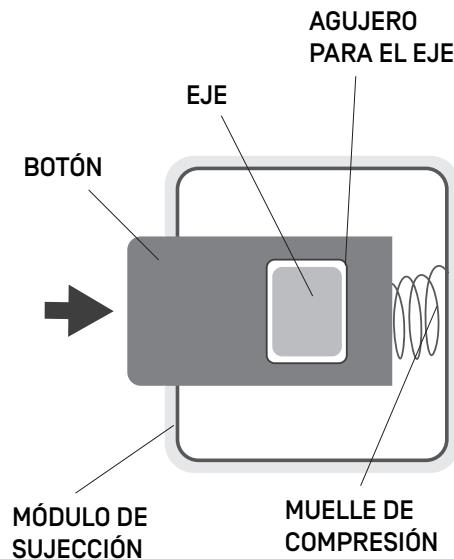


Figura 39: Sistema Tanka

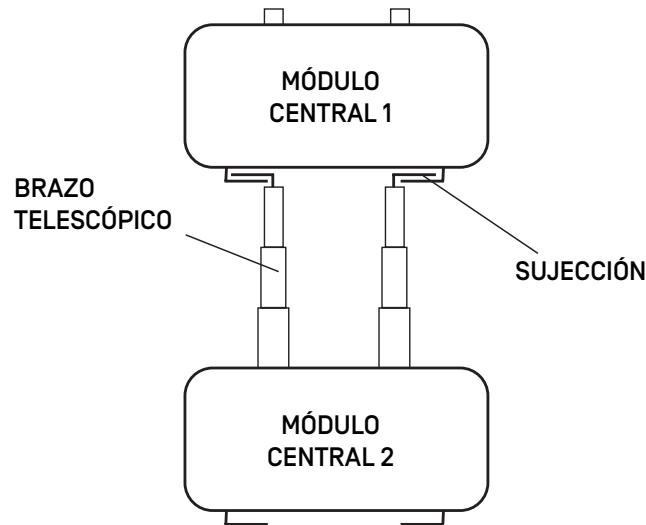


Figura 40: Ejes telescópicos

Elección: Ejes telescópicos [Figura 41], ya que pueden plegarse y ocupar menos espacio y su instalación es más sencilla. Habrá seis ejes para unir las cuatro abrazaderas.

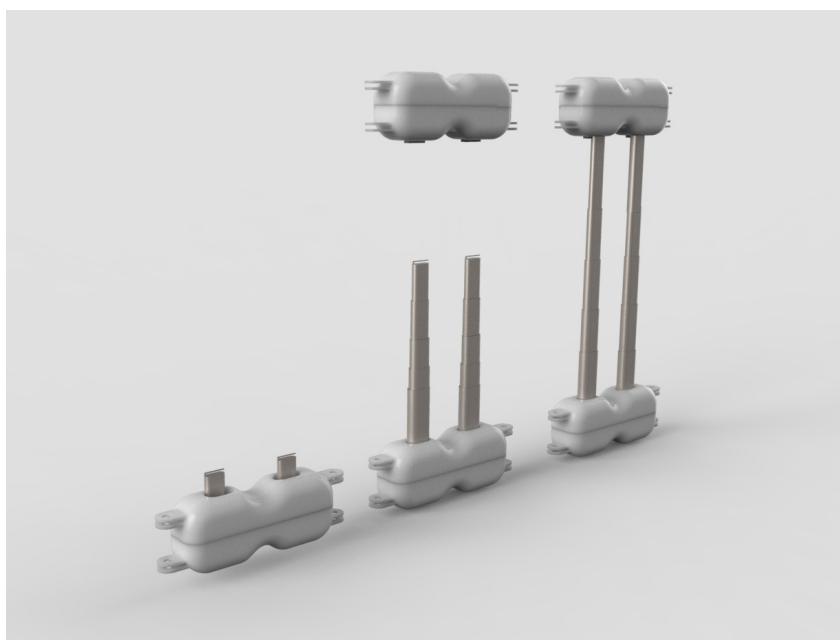


Figura 41: Representación 3D de los ejes

Fase 4

Presentación del

producto



15. SISTEMA VIRGO I

GENERADOR DE GRAVEDAD ARTIFICIAL EN EL SISTEMA SANGUÍNEO

[Anexo IX: *Virgo I*]

El dispositivo VIRGO I [Figura 42] ha sido concebido para generar gravedad artificial a nivel sanguíneo y reducir o anular el riesgo al que se exponen los astronautas durante los viajes espaciales de corta o larga duración.

El concepto radica en la creación de un gradiente de presión mediante la exposición a ondas sonoras de infrasonidos. Los altavoces direccionales de cada módulo producen pulsos de onda de 3Hz que se suman según la *Gráfica 3*, con un intervalo de 0,2 segundos entre abrazadera y abrazadera, mediante un generador de ondas arbitrarias automatizado mediante un programa informático, para conseguir que las presiones emitidas se sumen y se genere un incremento de presión de 120 mmHg entre cabeza y pies, equivalente al valor terrestre. Las presiones se suman conforme se emiten, esto es posible gracias al tronco cónico formado por el conjunto de abrazaderas, siendo la superior la de mayor diámetro. De manera que, la presión en la cabeza será de 100 mmHg puesto que no está expuesto a ondas e irá incrementándose proporcionalmente conforme emitan las abrazaderas hasta alcanzar 220 mmHg en los pies.



Figura 42: Sistema
VIRGO-I

15.1 SECUENCIA DE USO

La vida en la ISS es muy intensa, deben realizar jornadas laborales de 12 horas en las que se requiere máxima concentración y, tras ello, dos horas de ejercicio para, en la medida de lo posible, mantener su fisiología. Por ello, la usabilidad es un aspecto clave, la interacción usuario-producto debe ser lo más sencilla posible y el producto se utilizará durante sus horas de sueño.

El funcionamiento de VIRGO-I [Figura 43] es muy simple, primero se enciende el generador de ondas [1], y se programa/selecciona el ciclo de ondas deseado [2]. Una vez ajustado el sistema, el usuario se introduce en el saco de dormir y cierra sobre él las abrazaderas en orden ascendente [3]. Tras esto, da comienzo el ciclo y el usuario se dispone a descansar sus 8 horas de sueño [4], influenciado por la exposición a ondas de 3 Hz [similares a las de la fase NREM] que modulan sus ondas de actividad cerebral induciéndole a un estado de máxima relajación.

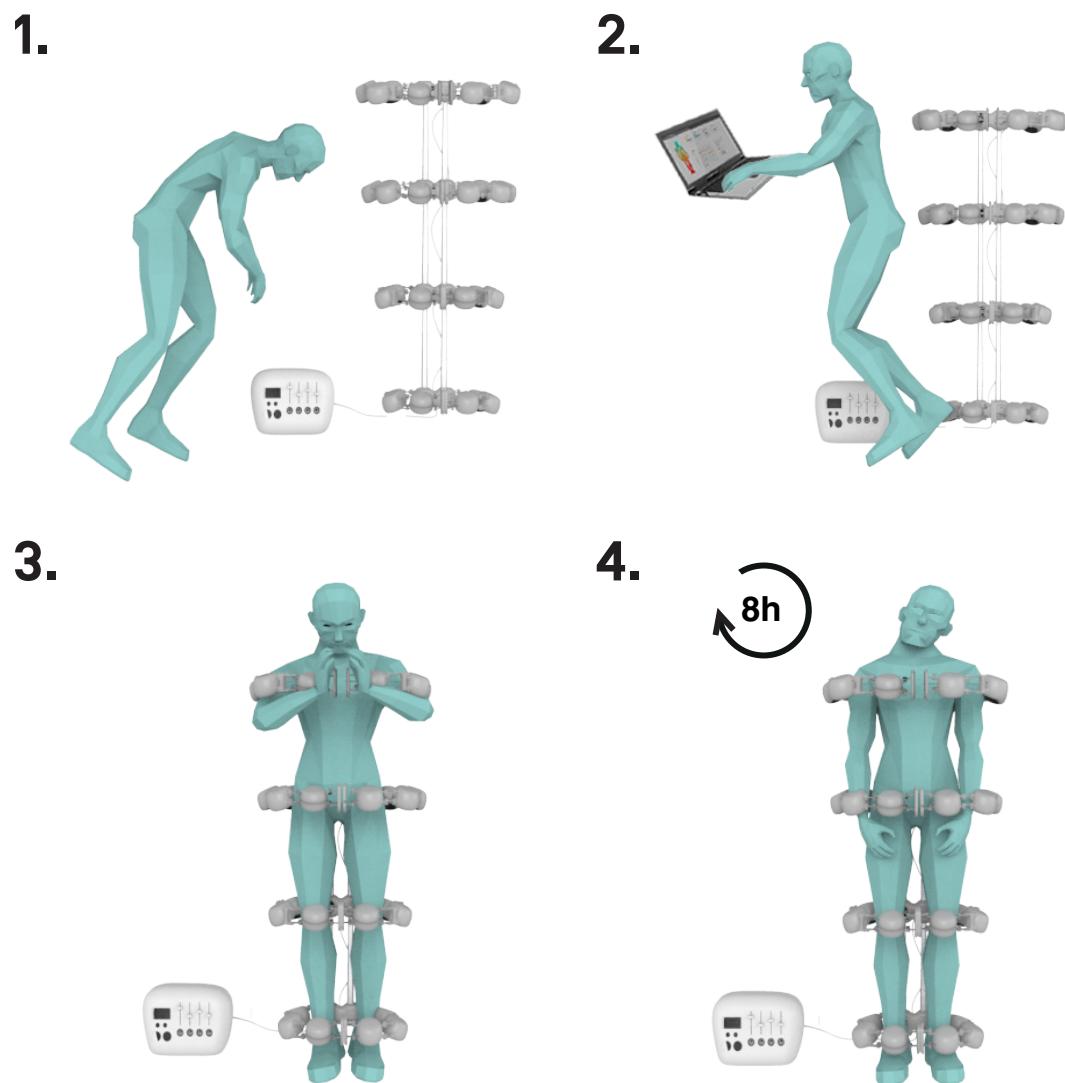


Figura 43: Secuencia de uso

15.2 ESTRUCTURA

VIRGO I está formado por cuatro abrazaderas [1] y seis ejes telescopicos [2]. Estos últimos se introducen o acoplan en los denominados módulos centrales [3] y se encargan de dotar de estabilidad a la estructura y de regular en altura las abrazaderas. En su cara posterior, se encuentra una zona con velcro [4] para fijarlo el dispositivo a la pared que, gracias al ambiente sin gravedad es suficiente para mantenerlo fijo. Los altavoces [5] están protegidos por una carcasa [6] y un elemento fijador [7], ya que es absolutamente necesaria su estanqueidad, y conectados al resto de módulos mediante piezas de unión [7]. *[Ver “Monografía técnica”, Anexo VIII, págs. 254-259]*

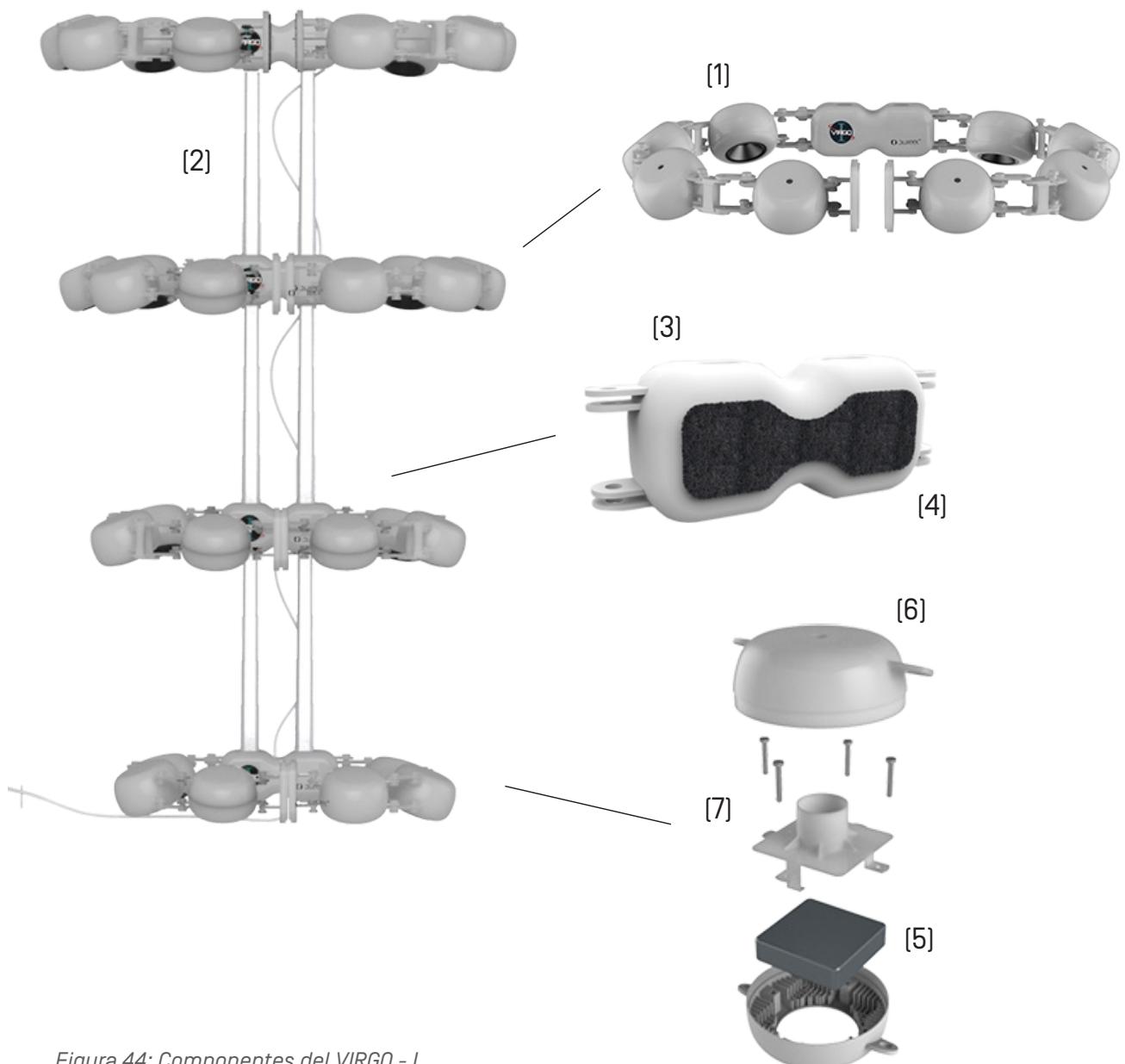
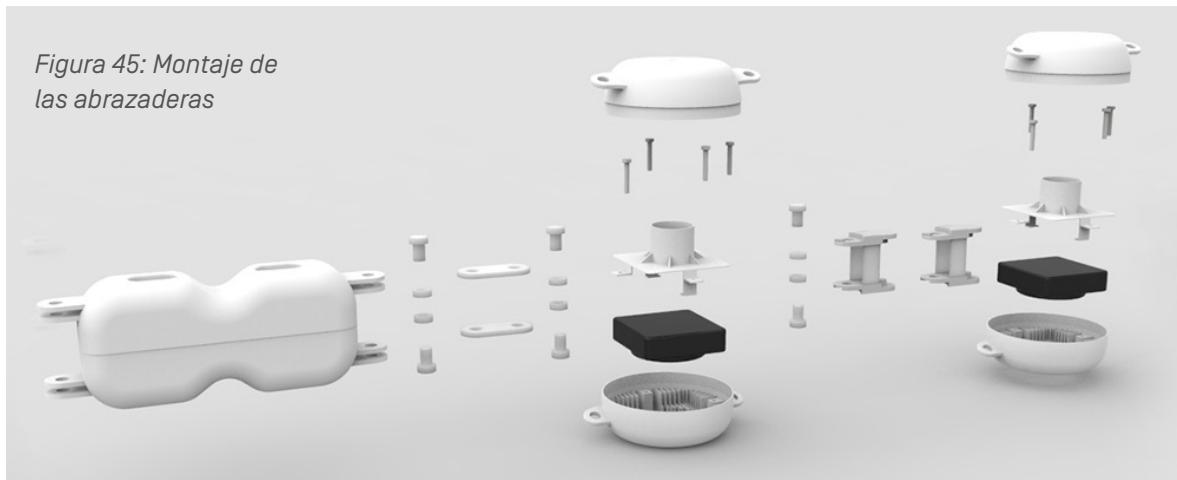


Figura 44: Componentes del VIRGO - I

15.3 MONTAJE Y SUSTITUCIÓN

Las piezas componentes del dispositivo están especialmente diseñadas para poder fabricarse con facilidad en caso de rotura o desgaste. Las piezas de carácter estructural están optimizadas para poder realizarse en la impresora 3D que está previsto enviar a la estación espacial, mientras que las carcasa están realizadas por inyección de PVC, ya que requieren de mayor resistencia para alargar su vida útil y evitar el desgaste por el uso [Figura 45]. [Anexo VIII, "Manual de instrucciones", páginas 288-299]



15.4 DIMENSIONAMIENTO

Las dimensiones estándar del producto se han calculado a partir de tablas ergonométricas [Ver Anexo VIII, págs 243-247], pero cada usuario podrá poner y quitar módulos a fin de conseguir la adaptación del sistema a sus necesidades. Esta regulación viene dada por una serie de ecuaciones matemáticas integradas en el sistema informático [Ver pág 234, Tabla 7], por lo que el usuario sólo deberá introducir sus medidas en el programa. [Ver Anexo VIII, pág 234]. Las medidas estándar son las de la Figura 47.

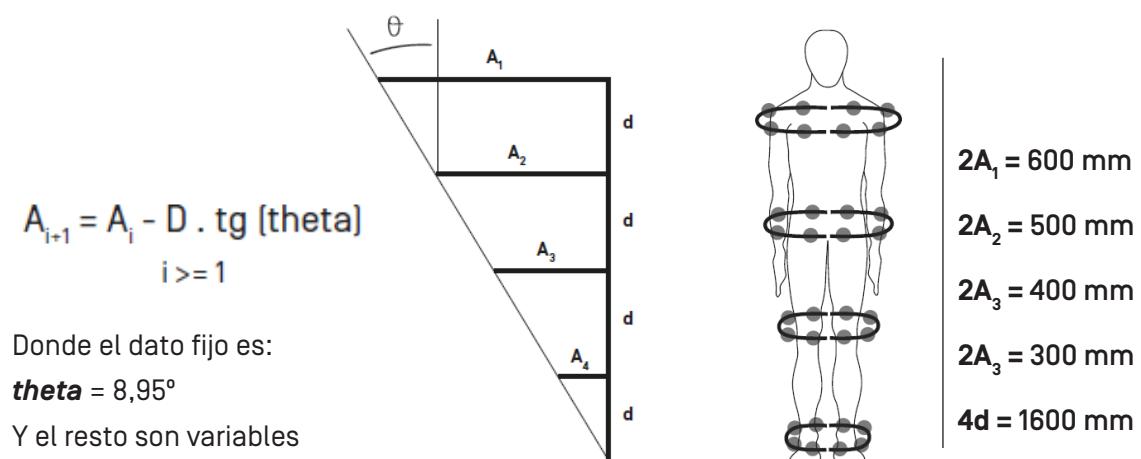


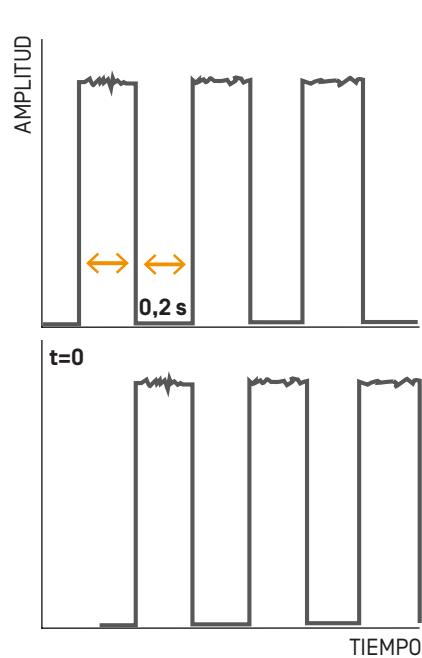
Figura 46: Cálculo de las dimensiones

Figura 47: Dimensiones estándar

15.5 EMISIÓN DE ONDAS

[Ver Anexo VIII, págs 238 - 242]

Los paneles de transductores "A Junior" actúan como emisores de onda, y son el elemento fundamental del dispositivo, debiendo cumplir una serie de criterios para su viabilidad, siendo el más trascendente la propiedad ultracardioide, lo cual significa que son altamente direccionales, aunque con una pequeña dispersión de onda, lo cual es beneficioso ya que, sin ella, las ondas focalizarían sólo en un punto y no habría dispersión horizontal, impidiendo el gradiente de presiones entre secciones y produciéndose sólo en línea recta. En el diagrama polar se puede observar que a menor frecuencia mayor es la direccionalidad y, aunque no estén diseñados para la emisión de infrasonidos por su escasa aplicación, los reproducen sin ningún tipo de problema.



Gráfica 3: Representación de los pulsos de onda emitidos

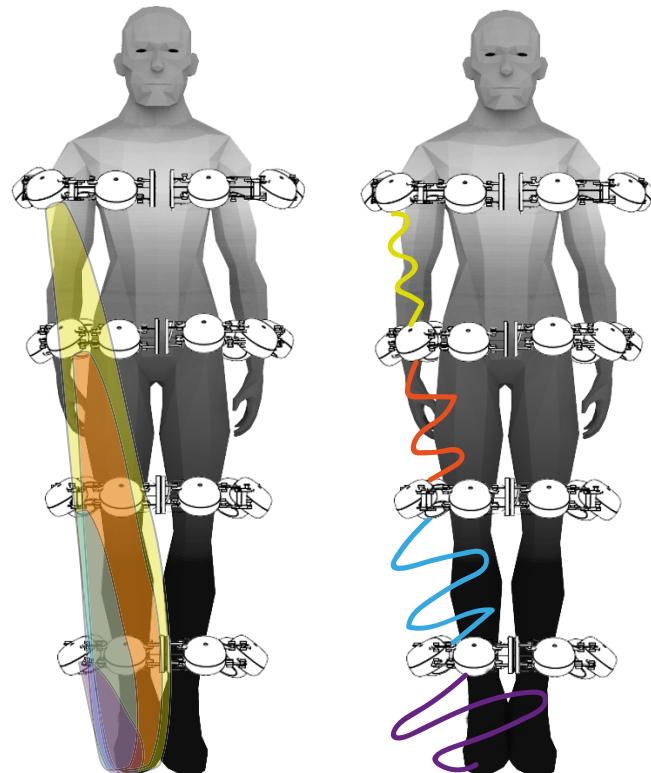


Figura 48: Ilustración de la energía generada por las ondas

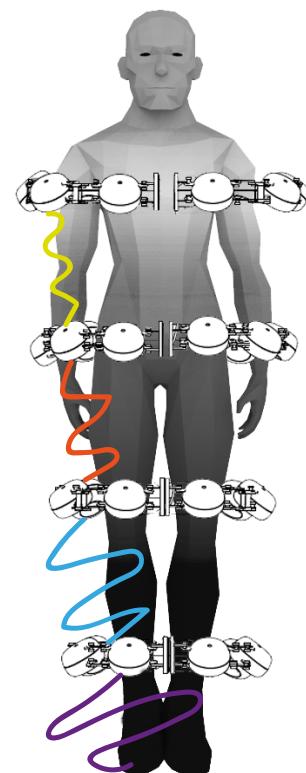


Figura 49: Ilustración de la suma de la amplitud de las ondas

LEYENDA PRESIÓN [mmHg]



100

220

15.6 MONITORIZACIÓN

Para optimizar el funcionamiento del producto se ha implementado un sistema de sensores que se encargan de la monitorización de los niveles de las constantes vitales del sujeto y así permitir regular la emisión de ondas dependiendo de cada necesidad y en el mismo instante. De esta manera, cuando la presión baje de la presión establecida, se aplicará una amplitud mayor para contrarrestar el efecto y conseguir estabilizarlo.

Los sensores se colocan en cabeza y pies tal y como se muestra en la figura, lo cual permite la estimación de la presión recibida.

El programa informático además de informar al usuario sobre la situación actual del sistema, hace posible la programación de diferentes ciclos dependiendo de las necesidades del sujeto y envía la información directamente al generador de ondas para que se regule según los valores preestablecidos deseados.

Este programa estará instalado en las computadoras de cada uno de los tripulantes, ubicadas en sus dormitorios. Una vez instalado, lo primero que deberá hacer el usuario es crear un perfil y establecer sus dimensiones antropométricas para que el sistema le devuelva la estructura de abrazaderas que deberá utilizar para optimizar su rendimiento.

Luego podrá crear un ciclo de uso, específico o utilizar el estándar, también tendrá la posibilidad de registrar varios ciclos y poder reproducirlos en otras ocasiones.

[Anexo VIII, pág. 272-277]



Figura 50: VIRGO-I instalado en un dormitorio de la ISS



Figura 51: Pantalla de monitorización

15.7 PIEZAS, FABRICACIÓN Y PRESUPUESTO

[Ver Anexo X, "Oficina técnica"]

Nº Plano	Descripción	Material	Proceso	Cant.	Precio/ud	Importe
3.01.01.01	Carcasa I	PVC	Inyección	28	2,52	70,56
3.01.01.04	Carcasa II	PVC	Inyección	28	2,142	59,98
3.01.02.01	Carcasa III	PVC	Inyección	4	4,83	19,32
3.01.02.03	Carcasa IV	PVC	Inyección	4	4,662	18,65
3.01.01.04	Fijador	3D Vynil	Impresión 3D	28	0,26	7,4
3.01.03.00	Pieza de unión	3D Vynil	Impresión 3D	28	0,13	3,7
3.01.04.01	Pieza cadena	3D Vynil	Impresión 3D	12	0,28	3,38
3.01.04.02	Tablilla	3D Vynil	Impresión 3D	12	0,021	0,26
3.01.05.00	Pieza de agarre	3D Vynil	Impresión 3D	8	1,21	9,68
3.01.07.01	Pieza macho	3D Vynil	Impresión 3D	24	0,04	1,06
3.01.07.02	Pieza hembra	3D Vynil	Impresión 3D	24	0,02	0,53
3.02.01.01	Perfil I	Alum. 6061	Corte y doblado	6	2,45	12,25
3.02.01.02	Perfil II	Alum. 6061	Corte y doblado	6	2,45	12,25
3.02.01.03	Perfil III	Alum. 6061	Corte y doblado	6	2,45	12,25
3.02.01.04	Perfil IV	Alum. 6061	Corte y doblado	6	2,45	12,25
3.02.01.05	Perfil V	Alum. 6061	Corte y doblado	6	2,45	12,25
3.01.02.02	Velcro I	Velcro	Corte	8	-	21,20
3.01.06.00	Velcro II	Velcro	Corte	8	-	
3.07.00.00	Etiquetado	Adhesivo	Impresión y troquel	1	0,15	0,15
3.09.00.00	Revestimiento	Acolchado	-	4	2	8
3.01.01.03	Altavoces A Junior	-	-	28	550	15.400
3.06.00.00	Generador de ondas	-	-	1	13.250	13.250
3.08.00.00	Filtro P.B. NEE5532	-	-	1	4,53	4,53
3.01.01.02	Tornillo cab. Hex DIN 933 M4x12 mg8.8	-	-	112	0,04	4,48
Presupuesto total para una unidad incluyendo moldes de inyección, pago a operarios y uso de maquinaria:					49.184,66 €	

Tabla 6: Relación de piezas, materiales, presupuesto y proceso de fabricación.

15.8 DISEÑO GRÁFICO

Tras un proceso de diseño [Anexo IX, páginas 263-271] y a partir de las referencias establecidas para el diseño del logotipo [cósmico, retro y espacial], se desarrolló el logotipo de la *Figura 52*.



Figura 52: Logotipo de VIRGO-I



Figura 53: Logotipo estampado en el módulo central del producto

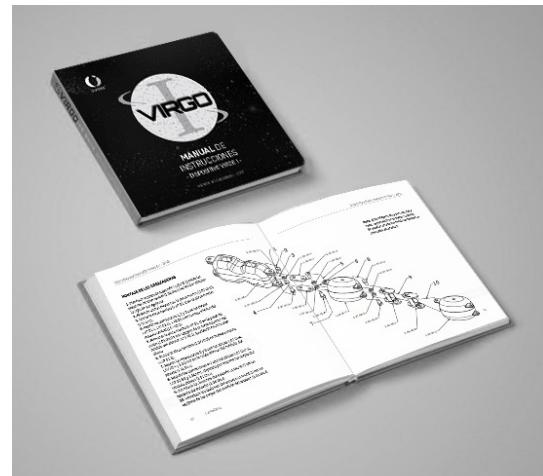


Figura 54: Logotipo impreso en la portada del manual de instrucciones

Con sus diferentes versiones dependiendo de la aplicación:



Figura 55: Versiones del logotipo

15.9 MAQUETAS Y PROTOTIPOS

MAQUETA REVESTIDA

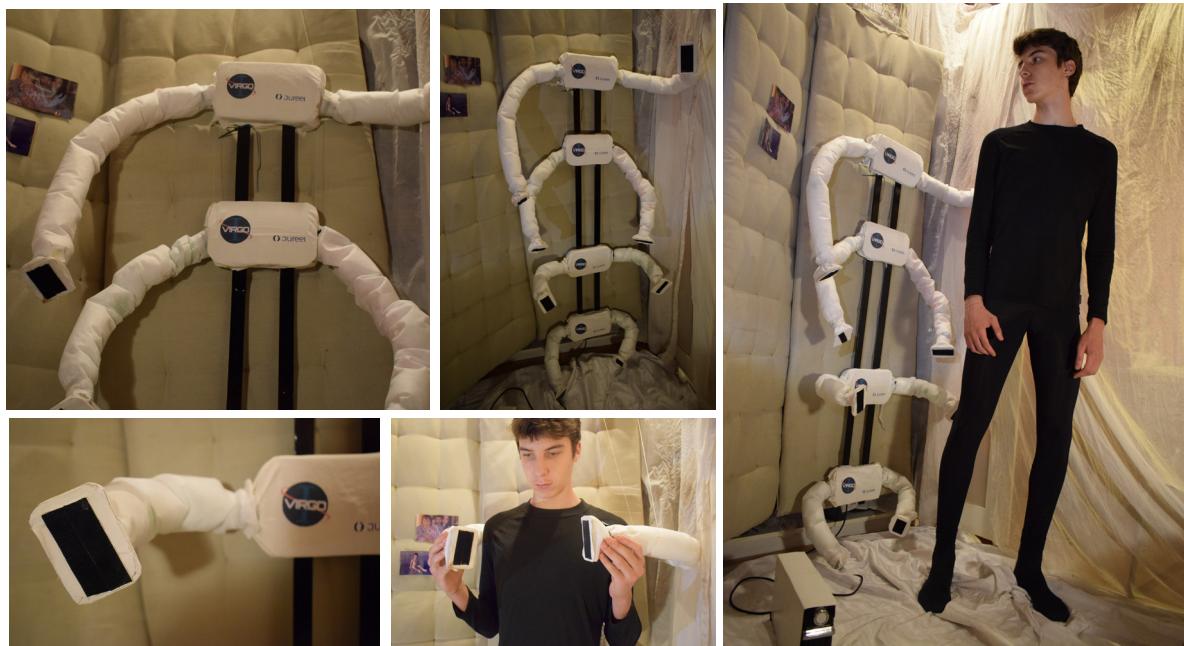


Figura 56: Fotografías de la maqueta revestida

IMPRESIÓN EN 3D DE LAS CARCASAS



Figura 57: Fotografías de la impresión 3D de carcassas

BIBLIOGRAFÍA

[2] **ESA** [2017]. *La Agencia Espacial Europea, Espacio Unido en Europa* [Presentación]. Fecha de consulta: 28/02/2017 Recuperado de: http://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/ESA_Corporate_Presentation_ES.pdf

[3] **ESA** [2016]. *Datos de la ESA* [BlogPost]. Fecha de consulta: 28/02/2017 Recuperado de: http://m.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Datos_de_la_ESA

[4] **National Geographic** [2010]. *Estación Espacial Internacional* [BlogPost]. Fecha de consulta: 28/02/2017 Recuperado de: <http://www.nationalgeographic.es/espacio/estacion-espacial-internacional>

[5] **NASA** [n.d.]. *International Space Station* [BlogPost]. Fecha de consulta: 29/02/2017 Recuperado de: www.nasa.gov/mission_pages/station/overview/index.html

[23] **Antequera, José** [2014]. *Pedro Duque: "No conozco a ningún astronauta que haya visto un OVNI"*. [Entrevista], Revista Gurb. Fecha de consulta: 04/04/2017 Recuperado de: <http://www.gurbrevista.com/entrevista-a-pedro-duque/>

[29] **Gómez Moreno, Miguel Ángel** [2017]. *Pedro Duque nos guía por la Estación Espacial Internacional /ISS*. [Documental] Fecha de consulta: 10/04/2017 Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=_7fZv8JoxWY

[30] **Haltermann, Thomas** [2016]. *Tour por la Estación Espacial Internacional /ISS Parte 1 de 2*. [Documental] Fecha de consulta: 10/04/2017 Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=u0AjciUWJkg&t=5s>

[31] **Cooper, Keiask** [2017]. *Un recorrido detrás de la Estación Espacial Internacional*. [Documental] Youtube. Fecha de consulta: 10/04/2017 Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=8nF4bY-Xi9M>

[32] **Alvárez, Raul** [2015]. *La vida de un astronauta no es sencilla, así se duchan y usan el inodoro en el espacio*. [Artículo] Fecha de consulta: 11/04/2017 Recuperado de: www.xataka.com/espacio/la-vida-de-un-astronauta-no-es-sencilla-asi-se-duchan-y-usan-el-inodoro-en-el-espacio

[33] **La Nueva España** [2015]. *Así es la vida en la Estación Espacial Internacional*. [Artículo] Fecha de consulta: 11/04/2017 Recuperado de: www.lne.es/sociedad-cultura/2015/11/03/vida-estacion-internacional-espacial/1836083.html

[45] **Olmo, M. et Nave, R.** [n.d.]. *Órbita circular* [Blogspot] Fecha de consulta: 25/04/2017 Recuperado de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/orbv.html>

[49] **Martínez González, Eduardo** [n.d.]. *El entrenamiento de los astronautas* [Blogspot] Fecha de consulta: 26/04/2017 Recuperado de: <http://www.cosmonautica.es/18.html>

[50] **Atencia, Javier** [n.d.]. *Cómo ser astronauta* [Blogspot]: El Mundo Digital, Ciencia y tecnología Fecha de consulta: 26/04/2017 Recuperado de: <http://www.mundodigital.net/como-ser-astronauta/>

BIBLIOGRAFÍA

- [74] Tusintoma** [2015]. *Músculos del cuerpo* [Blogpost]
 Fecha de consulta: 01/05/2017
 Recuperado de: <https://tusintoma.com/musculos-del-cuerpo/>
- [75] Muscolino, Joseph E.** [2013]. *Atlas de músculos, huesos y referencias óseas. Fijaciones, Acciones y Palpitaciones.*
 University of New York, New York. Editorial Paidotribo. Capítulo 3. Cómo funcionan los músculos [pág. 87-89]
- [76] Muy Interesante** [2014]. *Músculos del cuerpo* [Blogpost]
 Fecha de consulta: 01/05/2017
 Recuperado de: <http://www.muyinteresante.com.mx/preguntas-y-respuestas/14/04/30/funcionamiento-musculos-corazon-cuerpo-humano/>
- [95] Hermely, Mary** [2009]. *Sistema óseo.* [Monografía].
 Fecha de consulta: 06/05/2017
 Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos55/sistema-oseo/sistema-oseo.shtml>
- [96] Olivares, Ignacio** [n.d.]. *Principales Funciones del Sistema Óseo.* [Monografía].
 Fecha de consulta: 06/05/2017
 Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/52951663/Principales-Funciones-del-Sistema-Oseo>
- [97] Tiposde** [2017]. *Tipos de huesos.* [Blogpost].
 Fecha de consulta: 06/05/2017
 Recuperado de: <http://www.tiposde.org/ciencias-naturales/146-tipos-de-huesos/>
- [99] Salud Medicinas** [2017]. Estructura del hueso. [Blogpost].
 Fecha de consulta: 06/05/2017
 Recuperado de: <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/climaterio/esquemas/estructura-del-hueso.html>
- [102] Macías, Pilar et Santos, Leonor** [2016]. ¿Cómo se regeneran los huesos del cuerpo humano?. [Blogpost].
 Fecha de consulta: 07/05/2017
 Recuperado de: <https://www.fundaciondescubre.es/2016/09/20/como-se-regeneran-los-huesos-del-cuerpo-humano/>
- [103] Fernández-Tresguerres, I., Alobera Gracia, M.A, et Al.** [2006]. Bases fisiológicas de la regeneración ósea II. El proceso de remodelado. [Artículo]. Madrid.
 Fecha de consulta: 07/05/2017
 Recuperado de: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1698-69462006000200012
- [104] García Barreno, Pedro** [n.d.]. Mecanotransducción. Una aproximación tensegridal [Monografía].
 Fecha de consulta: 07/05/2017
 Recuperado de: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/view/811>
- [109] Carrillo Esper, R., Díaz Ponce, J.A. et Al** [2015]. *Efectos fisiológicos en un ambiente de microgravedad* [Artículo].
 Fecha de consulta: 08/05/2017
 Recuperado de: <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2015/un153c.pdf>
- [110] NASA** [2016]. *Effects of prolonged space flight on human skeletal muscle [Biopsy]* [Artículo].
 Fecha de consulta: 08/05/2017
 Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/245.html
- [111] Quiñenao, Carlos Damián** [2015]. *Ejercicio físico, una contramedida en condiciones de micro-gravedad* [Tesis]. Capítulo: *Adaptaciones del músculo esquelético*, pág 23-36
 Fecha de consulta: 10/05/2017
 Recuperado de: <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/843>

BIBLIOGRAFÍA

- [112] Willmore, Jack H. et Costill, David L. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* [5^a Edición] Editorial Paidotribo. Capítulo 11: Ejercicio en ambientes hipobáricos, hiperbáricos y de microgravedad. Pág. 367-376
- [113] Quiñenao, Carlos Damián [2015]. *Ejercicio físico, una contramedida en condiciones de micro-gravedad* [Tesis]. Capítulo: Desmineralización ósea, pág 57-62 Fecha de consulta: 10/05/2017 Recuperado de: <http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/843>
- [114] NASA [2001]. *Huesos espaciales* [Blogpost]. Fecha de consulta: 10/05/2017 Recuperado de: https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2001/ast01oct_1
- [118] Espinosa, Carmen [2016]. *Descubre cómo funciona la circulación de la sangre*. [Blogpost]. Fecha de consulta: 12/05/2017 Recuperado de: <https://www.aboutespanol.com/descubre-como-funciona-la-circulacion-de-la-sangre-1185204>
- [120] Meza Márquez, Jose Martín [2016]. *Medicina Espacial*. Academia Nacional de Medicina de México. México DF, Intersistemas S.A. de C.V. Sección II. *Adaptación fisiológica en el espacio*. Capítulo 11. *Sistema cardiovascular* [pág. 139-153]
- [121] Iglesias Leal, Ramiro [2016]. *Medicina Espacial*. Academia Nacional de Medicina de México. México DF, Intersistemas S.A. de C.V. Sección I. *Medicina y Ciencias Espaciales*. Capítulo 6. *Perfil del hombre cósmico. Perfil anatomo-fisiológico* [pág. 79-80]
- [122] Pérez Calatayud, Ángel Augusto [2016]. *Medicina Espacial*. Academia Nacional de Medicina de México. México DF, Intersistemas S.A. de C.V. Sección II. *Adaptación fisiológica en el espacio*. Capítulo 11. *Sistema neurológico y vestibular* [pág. 153-165]
- [123] Sánchez Zúñiga, Martín et Sánchez Pérez, Herlinda [2016]. *Medicina Espacial*. Academia Nacional de Medicina de México. México DF, Intersistemas S.A. de C.V. Sección II. *Adaptación fisiológica en el espacio*. Capítulo 17. *Adaptación del sistema inmune en el espacio* [pág. 209-221]
- [127] NASA. [2012]. *Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System (CEVIS)*. [Blogpost]. Fecha de consulta: 14/05/2017 Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/CEVIS.html
- [129] Serrá, Xavier [2016]. *¿Qué músculos trabajamos con la bicicleta?* [Blogpost]. Fecha de consulta: 18/05/2017 Recuperado de: <https://www.btwin.com/blog/es/blog-y-actualidad/carretera/consejos-practicando-asi-carretera/que-musculos-trabajamos-con-la-bicicleta/>
- [130] NASA [n.d.]. *The International Space Station Advanced Resistive Exercise Device* [Blogpost]. Fecha de consulta: 20/05/2017 Recuperado de: <https://technology.nasa.gov/patent/MSC-TOPS-59>
- [131] Traviesa, Carlos [2014]. *Sentadilla: Músculos Implicados, Beneficios y Técnica de Ejecución* [Blogpost]. Fecha de consulta: 20/05/2017 Recuperado de: <https://travisport.wordpress.com/2014/02/11/sentadilla/>

BIBLIOGRAFÍA

[132] NASA Johnson. [2013]. *Train Like an Astronaut – ARED* [Video].
Fecha de consulta: 20/05/2017
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=7oBvNxbTF28>

[133] WikiHow. [n.d.]. *Cómo ejercitarte con pesas*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 20/05/2017
Recuperado de: <http://es.wikihow.com/ejercitarte-con-pesas>

[134] Gómez, Thelma. [n.d.]. *Todos los músculos utilizados en el levantamiento de pesas en banco* [Blogpost].
Fecha de consulta: 21/05/2017
Recuperado de: https://muyfitness.com/todos-los-musculos-utilizados-en-el-levantamiento-de-pesas-en-banco_13177082/

[135] NASA [2017]. *Combined Operational Load Bearing External Resistance Treadmill (COLBERT)*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 21/05/2017
Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/765.html

[136] Siceloff, Steven [NASA] [2017]. *Colbert Ready for Serious Exercise*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 21/05/2017
Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/behindscenes/colberttreadmill.html

[137] Salabert, Eva [2017]. *El ejercicio aeróbico*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 21/05/2017
Recuperado de: <http://www.webconsultas.com/ejercicio-y-deporte/vida-activa/tipos-de-deporte/el-ejercicio-aerobico-1889>

[138] Prado, Maira [2009]. *Conociendo los músculos para correr* [Blogpost].
Fecha de consulta: 21/05/2017
Recuperado de: <http://www.soymaratonista.com/conociendo-los-musculos-para-correr-2-de-4/>

[140] RT Question More [2016]. *NASA Launches the future of fitness to ISS... and it's gold & miniature* [Blogpost].
Fecha de consulta: 22/05/2017
Recuperado de: <https://www.rt.com/usa/336792-nasa-launches-fitness-iss/>

[144] Bioevolución [2007]. *Principios e ideas centrales de Lamarck*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 23/05/2017
Recuperado de: <http://biodemendel.blogspot.com.es/2007/05/principios-e-ideas-centrales-de-lamarck.html>

[145] Rosales Gutiérrez, A.O. et Espinoza de los Monteros, Isis. [2016]. *Medicina Espacial*. Academia Nacional de Medicina de México. México DF, Intersistemas S.A. de C.V. Sección III. *Escenarios Especiales de la Medicina Espacial. Capítulo 26. Cambios hematológicos en microgravedad. La fascinante aventura espacial* [pág. 345-351]

[146] RT Question More [2016]. *NASA Launches the future of fitness to ISS... and it's gold & miniature* [Blogpost].
Fecha de consulta: 23/05/2017
Recuperado de: <https://www.rt.com/usa/336792-nasa-launches-fitness-iss/>

[147] Escuela de Ingenierías Agrarias [n.d.]. *Comportamiento de los líquidos en condiciones de ingravidez*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 04/07/2017
Recuperado de: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/conceptosbasicosfluidos/ingravidez/index.htm2/>

BIBLIOGRAFÍA

[150] Colegio Oficial Enfermeros Barcelona [n.d.]. *Sistema cardiovascular: Anatomía*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 08/07/2017

Recuperado de: https://www.infermeravirtual.com/esp/actividades_de_la_vida_diaria/ficha/corazon/sistema_cardiovascular_y_sistema_linfatico

[151] ILCE [n.d.]. *Física del sistema cardiovascular*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 08/07/2017

Recuperado de: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/37/htm/sec_8.htm

[152] MedicinePlus [2016]. *Presión arterial alta*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 09/07/2017

Recuperado de: <https://medlineplus.gov/spanish/highbloodpressure.html>

[154] Universidad de Cantabria [2014].

Circulación capilar. [Blogpost].

Fecha de consulta: 09/07/2017

Recuperado de: <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-humana-2011-g367/material-de-clase/bloque-tematico-1.-fisiologia-del-aparato/tema-7.-circulacion-capilar/tema-7.-circulacion-capilar>

[155] FisicaLab [n.d.]. *Ondas mecánicas*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 04/07/2017

Recuperado de: <https://www.fisicalab.com/apartado/ondas-mecanicas#contenido>

[156] Acústica y sonido [2013]. *Coeficiente de absorción*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 04/07/2017

Recuperado de: <http://acusticaysonido.com/?p=148>

[158] Tiempo. [2008]. *Infrasonidos naturales y fenómenos atmosféricos severos: los tornados silbadores*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 10/07/2017

Recuperado de: <https://www.tiempo.com/ram/2656/infrasonidos-naturales-y-fenomenos-atmosfericos-severos-los-tornados-silbadores/>

[159] Aznar Casanova, J. Antonio [n.d.]. *Las ondas cerebrales*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 10/07/2017

Recuperado de: <http://www.ub.edu/pa1/node/130>

[160] Guzmán Álvarez, Juan José [n.d.]. *La actividad cerebral*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 10/07/2017

Recuperado de: <http://neurofisiologiagranada.com/eeg/eeg-quees.htm>

[161] Velluti, R.A. et Pedemonte, M. [2005].

Fisiología Humana [3ª Edición] Editorial: Mc Graw Hill. Bogotá. *Capítulo 9. Fisiología de la vigila y el sueño* [pág 104-121]

[162] Riveiro, Alejandro [2016]. *Los efectos de dormir en el espacio*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 14/07/2017

Recuperado de: https://muyfitness.com/musculos-desarrolla-correr-lista_9369/

[163] Sonidos Binaurales [n.d.]. *Ondas cerebrales*. [Blogpost].

Fecha de consulta: 14/07/2017

Recuperado de: <http://www.sonidosbinaurales.com/ondas-cerebrales/>

[164] Domínguez Reséndiz, Carlos [2015].

Las ondas binaurales y sus efectos.

[Monografía].

Fecha de consulta: 14/07/2017

Recuperado de: <http://vinculacion.dgire.unam.mx/Congreso-Trabajos-pagina/Trabajos-2015/1-Ciencias%20Biol%C3%B3gica%20de%20la%20Salud/3.Ciencias%20de%20la%20Salud/3.%20CIN201510005.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

[171] Wikillerato [2012]. *Energía e intensidad de las ondas*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 31/07/2017
Recuperado de: http://www.wikillerato.org/Energ%C3%ADa_e_intensidad_de_las_ondas.html

[174] Catedu [n.d.]. *Intensidad sonora*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 31/07/2017
Recuperado de: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3212/html/31_intensidad_sonora.html

[179] UVIGO [n.d.]. *Capítulo 1. Aspectos básicos del sonido y el ruido*. [Blogpost].
Fecha de consulta: 11/08/2017
Recuperado de: http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_uno_b.htm

[181] Carmona Benjumea, Antonio [2001]. *Datos antropométricos*. [Informe].
Fecha de consulta: 12/08/2017
Recuperado de: http://comisionnacional.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Rev_INSHT/2001/14/artFondoTextCompl.pdf

[Figura 4] Medicina, Salud y Curiosidad [2013] Ilustración músculos antigravitatorios. Recuperada de www.medicinasaludycuriosidades.blogspot.com.es/2013/06/sistema-locomotor.html

[Figura 5] Pino, Fernando [n.d.] Ilustración del sistema óseo [Figura]. Recuperada de <http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5685/15-datos-interesantes-que-debes-conocer-sobre-el-esqueleto-humano>

[Figura 6] JAXA [2014] Koichi Wakata practicando ejercicio en la CEVIS [Figura]. Recuperada de <https://www.youtube.com/watch?v=eRyE0ElfLhQ>

[Figura 7] Fuente propia [2017] Ejercicio en la CEVIS [Figura].

[Figura 8] NASA [n.d.] Koichi Wakata utilizando la ARED [Figura]. Recuperada de <https://technology.nasa.gov/patent/MSC-TOPS-59>

[Figura 9] Fuente propia [2017] Ejercicio en la ARED [Figura].

[Figura 10] NASA [2013] Koichi Wakata corriendo en la cinta COLBERT [Figura]. Recuperada de <https://www.nasa.gov/content/astronaut-koichi-wakata-runs-on-colbert>

[Figura 11] Fuente propia [2017] Relación de músculos utilizados en la COLBERT [Figura].

[Figura 102] NASA [2016] Dispositivo MED 2.0 I [Figura]. Recuperada de <https://jscfeatures.jsc.nasa.gov/pages.ashx/374/Compact%20allinone%20exercise%20device%20flying%20to%20station>

FIGURAS

[Figura 1] Fuente propia [2017] Representación de la gravedad a nivel fisiológico [Figura]

[Figura 2] LaVoz [2017] Máquina de ejercicio espacial [Figura]. Recuperada de <http://www.lavoz.com.ar/ciencia/si-las-nubes-ayudan-este-fin-de-semana-puede-verse-desde-cordoba-la-estacion-espacial-intern>

[Figura 3] Fuente propia [2017] Time-line de una jornada en la ISS. [Figura]

FIGURAS

[Figura 13] Fuente propia [2017] Relación de EDP's generales [Figura]

[Figura 14] Fuente propia [2017] Mind-map basado en la creación de gravedad [Figura]

[Figura 15] Fuente propia [2017] Ideas generadas mediante la técnica Brainstorming [Figura]

[Figura 16] Fuente propia [2017] Representación del Concepto 1 [Figura]

[Figura 17] Fuente propia [2017] Funcionamiento del Concepto 1 [Figura]

[Figura 18] Fuente propia [2017] Funcionamiento del Concepto 2 [Figura]

[Figura 19] Fuente propia [2017] Representación del Concepto 3 [Figura]

[Figura 20] Fuente propia [2017] Funcionamiento del Concepto 3 [Figura]

[Figura 21] Fuente propia [2017] Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del concepto [Figura]

[Figura 22] Fuente propia [2017] Esquema de los componentes del problema [Figura]

[Figura 23] Fuente propia [2017] Esquema de la descomposición del problema [Figura]

[Figura 24] Fuente propia [2017] Cálculo de la presión necesaria para simular la gravedad sanguínea [Figura]

[Figura 25] Colegio Oficial Enfermeros Barcelona [n.d.] Partes del corazón [Figura]. Recuperada de: https://www.infermeravirtual.com/esp/actividades_de_la_vida_diaria/ficha/corazon/sistema_cardiovascular_y_sistema_linfatico pág 2, 8

[Figura 26] Fuente propia [2017] Representación del fenómeno producido por una onda mecánica sobre un medio elástico [Figura]

[Figura 27] Fuente propia [2017] Captura de pantalla de las ondas de actividad mental Anexo VIII pág 190 [Figura]

[Figura 28] Fuente propia [2017] Representación de un EEG de la actividad durante un ciclo de sueño [Figura]

[Figura 29] Fuente propia [2017] Alternativa 1 para el diseño del producto [Figura]

[Figura 30] Fuente propia [2017] Figura 30: Alternativa de diseño 2 [Figura]

[Figura 31] Fuente propia [2017] Bocetos [Figura]

[Figura 32] Fuente propia [2017] Estructura y componentes del producto [Figura]

[Figura 33] Indiegogo [2017] Paneles de transductores "A Junior" [Figura] Recuperada de: <https://www.indiegogo.com/projects/a-speaker-the-speaker-that-only-you-can-hear-sound#/>

[Figura 34] Fuente propia [2017] Bisagras [Figura]

[Figura 35] Fuente propia [2017] Esférico [Figura]

[Figura 36] Fuente propia [2017] Cadena de piezas [Figura]

[Figura 37] Fuente propia [2017] Representación de la cadena de piezas [Figura]

FIGURAS

[Figura 38] Fuente propia [2017] Representación de articulaciones [Figura]

[Figura 39] Fuente propia [2017] Sistema Tanka [Figura]

[Figura 40] Fuente propia [2017] Ejes telescopicos [Figura]

[Figura 41] Fuente propia [2017] Representación 3D de los ejes [Figura]

[Figura 42] Fuente propia [2017] Sistema VIRGO-I [Figura]

[Figura 43] Fuente propia [2017] Secuencia de uso [Figura]

[Figura 44] Fuente propia [2017] Componentes del VIRGO-I [Figura]

[Figura 45] Fuente propia [2017] Montaje del VIRGO-I [Figura]

[Figura 46] Fuente propia [2017] Cálculo de las dimensiones [Figura]

[Figura 47] Fuente propia [2017] Dimensiones estándar [Figura]

[Figura 48] Fuente propia [2017] Ilustración de la energía generada por las ondas [Figura]

[Figura 49] Fuente propia [2017] Ilustración de la suma de la amplitud de las ondas [Figura]

[Figura 50] Fuente propia [2017] VIRGO-I instalado en un dormitorio de la ISS [Figura]

[Figura 51] Fuente propia [2017] Pantalla de monitorización [Figura]

[Figura 52] Fuente propia [2017] Logotipo de VIRGO-I [Figura]

[Figura 53] Fuente propia [2017] Logotipo estampado en el módulo central del producto [Figura]

[Figura 54] Fuente propia [2017] Logotipo impreso en la portada del manual de instrucciones [Figura]

[Figura 55] Fuente propia [2017] Versiones del logotipo [Figura]

[Figura 56] Fuente propia [2017] Fotografías de la maqueta revestida [Figura]

[Figura 57] Fuente propia [2017] Fotografías de la impresión 3D de carcasa [Figura]

TABLAS Y GRÁFICAS

[Tabla 1] Contenido de los anexos del proyecto

[Tabla 2] Tabla comparativa diseño terrestre - diseño espacial

[Tabla 3] Relación de características requeridas para la selección

[Tabla 4] Comparativa de las características del sueño terrestre y el sueño espacial

[Tabla 5] EDP's críticas y deseables aplicadas al producto

[Tabla 6] Relación de piezas, materiales, presupuesto y proceso de fabricación.

[Gráfica 1] Variación de la presión en el sistema circulatorio

[Gráfica 2] Relación entre la frecuencia de las ondas y la absorción agua salada [sangre].

[Gráfica 3] Representación de los pulsos de onda emitidos