



**CONCEPTUALIZACIÓN DE UN COMPLEJO DE LABORATORIOS DE FACTORES
HUMANOS AEROSPACIAL PARA EL FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES
CIENTÍFICAS E INVESTIGATIVAS EN LA EXPLORACIÓN ESPACIAL DE LA
FUERZA AÉREA COLOMBIANA**

Jhon Sebastian Amaya Salcedo

Informe de practica industrial para optar al título de Ingeniero Aeroespacial

Asesor(es)

Diego Francisco Hidalgo López, Doctor (PhD)

TE. Cesar Alexis Gómez Duran, Máster (Ms)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Aeroespacial
Carmen de Viboral - Antioquia

2024

Cita	Amaya Salcedo [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] Amaya Salcedo, “Conceptualización de un complejo de laboratorios de factores humanos aeroespacial para el fortalecimiento de capacidades científicas e investigativas en la exploración espacial de la Fuerza Aérea Colombiana”, Practica empresarial, Ingeniería aeroespacial, Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, 2024.



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Álvaro Amaya y Lida Salcedo, quienes con su gran esfuerzo han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración. A mi hermano Santiago, por estar a mi lado durante todo este proceso, compartiendo desafíos y momentos de alegría. A David Ramírez, que ha sido un compañero invaluable en este viaje, brindándome su amistad, apoyo y muchas veces, las palabras que necesitaba para seguir adelante. A la familia Correa Rueda, por acogerme en su hogar y convertirse en una familia para mí con su apoyo y calidez. Y, finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por la perseverancia, el esfuerzo y la determinación que he demostrado en este camino.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su amor incondicional, por creer en mí y por ofrecerme su apoyo constante en cada paso dado. Su comprensión y esfuerzos han sido esenciales para alcanzar este logro. A mis compañeros y amigos, quiero darles las gracias por su ayuda, por las interminables horas de estudio compartidas, por las risas y los momentos difíciles. A Paula Esquea, gracias por haber sido una fuente inagotable de ánimo y fortaleza, por estar a mi lado, por tu paciencia, comprensión y por brindarme el amor que necesitaba para seguir adelante. A la Fuerza Aérea Colombiana, les agradezco por brindarme la oportunidad de trabajar con ustedes y confiar en mis capacidades. A la UdeA y sus profesores, gracias por su dedicación, enseñanza y guía a lo largo de este proceso. Su conocimiento y apoyo han sido clave para mi desarrollo profesional y personal. Finalmente, a todos aquellos que, de una forma u otra, me han inspirado, ayudado o alentado en este proceso, ¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
A. Estado del arte	14
1) Diseño de plantas.....	14
2) Instalaciones para entrenamiento de astronautas:.....	15
3) Entrenamiento de astronautas:.....	18
III. JUSTIFICACIÓN.....	20
A. Beneficios para FAC	20
B. Beneficios para Colombia	20
IV. OBJETIVOS	22
A. Objetivo general	22
B. Objetivos específicos	22
V. MARCO TEÓRICO.....	23
A. Entrenamiento de astronautas.....	23
B. Relevancia del laboratorio de medicina y fisiología espacial.....	24
C. Formulación de proyectos de inversión.....	25
1) Estudio de mercado:	25
2) Estudio técnico	27
3) Estudio económico	30
4) Plan de mercado.....	32
VI. METODOLOGÍA	34
A. Revisión literaria (antecedentes, estado del arte y tendencias)	35

B. Filtro de pertinencia de laboratorios	35
C. Estudio de mercado	35
D. Identificación de requerimientos y restricciones.....	36
E. Estudio técnico.....	36
F. Estudio económico.....	37
G. Plan de mercado	37
VII. DESARROLLO Y RESULTADOS	38
A. Estudio de mercado	38
1) Demanda:.....	38
2) Oferta.....	39
B. Estudio técnico	40
1) Conceptualización de laboratorios:	40
2) Tamaño y disposición de la planta:	60
3) Ubicación:.....	61
4) Área técnica:	62
5) Área administrativa.....	64
C. Estudio económico y financiero	67
D. Plan de mercado	70
1) Análisis de mercado:	70
2) Evaluación de producto:	70
3) Estrategia de colaboración:.....	71
VIII. DISCUSIÓN.....	72
IX. CONCLUSIONES	73
X. REFERENCIAS	74

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: SECCIONES DEL DOCUMENTO DE PROPUESTA PARA UN PROYECTO OFFSET EN COLOMBIA.....	34
TABLA 2: DISTRIBUCIÓN DE RUBROS Y ASIGNACIÓN DE EFECTIVO	67
TABLA 3: RUBRO DE PERSONAL CIENTÍFICO	68
TABLA 4: RUBRO DE SERVICIOS TÉCNICOS	68
TABLA 5: RUBRO DE ADQUISICIÓN DE EQUIPOS.....	68
TABLA 6: RUBRO DE ADECUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivos de soporte de peso corporal. a) RYSEN y b) CAREN.	42
Figura 2: Centrifuga de brazo corto (SAHC) de la empresa AMST.	43
Figura 3: T-6C TEXAN II, aeronave para simulación de fuerzas G y microgravedad.	44
Figura 4: Entrenador de desorientación espacial GYRO IPT II en el CEMAE.	46
Figura 5: Silla de Barany de la empresa AMST.	47
Figura 6: Dispositivo de realidad virtual Meta Quest 3.	48
Figura 7: Equipo CDP/IVR de BERTEC.	49
Figura 8: Gafas de videonistagmografía VisualEyes 525 de Interacoustics.	50
Figura 9: Citómetro de flujo Attune NxT de Thermo Fisher Scientific.	51
Figura 10: Cámara para electroforesis horizontal en gel de Tanon.	52
Figura 11: Analizador de electrolitos BS-120 de Mindray.	53
Figura 12: Termociclador PCR con gradiente TC-1000G de Dlab.	54
Figura 13: Espectrómetro de masas MALDI-TOF de BRUKER.	55
Figura 14: Esquema de disposición general de los laboratorios e instrumentos en el centro de investigación aeroespacial en ciencias. a) planta inferior. b) planta superior.	60

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CEMAE	Centro de Medicina Aeroespacial
ESA	European Space Agency
FAC	Fuerza Aérea Colombiana
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MSc	Magister Scientiae
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia
VNG	Videonistagmografía

RESUMEN

Puesto que, en gran parte de Latinoamérica, y específicamente en Colombia, no existen centros de investigación aeroespacial en ciencias y entrenamiento de astronautas, es indispensable iniciar la propuesta de diseño y funcionamiento de estos en la región que permita fortalecer estas capacidades en el ámbito global. Por lo tanto, el presente proyecto tiene como fin conceptualizar y realizar un proyecto de inversión para la construcción e implementación de un centro de investigación aeroespacial y entrenamiento de astronautas en territorio colombiano. Para ello, se establece la metodología para proyectos de inversión del convenio OFFSET del ministerio de defensa colombiano, la cual se centra en la realización del estudio de mercado, estudio técnico, estudio económico y plan de mercado del proyecto. La FAC podrá desarrollar y fortalecer sus capacidades en tecnologías aeroespaciales, que son esenciales para la defensa nacional y la soberanía del país, al establecer un centro de investigación aeroespacial y entrenamiento de astronautas. Esto colocará a Colombia en una posición destacada en el sector aeroespacial, lo que ayudará a garantizar la seguridad y la independencia estratégica. Por lo tanto, se establecen los estudios del proyecto de inversión identificando los laboratorios de microgravedad, orientación espacial, biología, electrónica y robótica, distribuidos en dos plantas, requiriendo una inversión total de poco más de 58 mil millones de pesos colombianos. Además, se identifican los dispositivos de cada laboratorio, el personal científico y el personal administrativo requerido.

Palabras clave — Centro de investigación aeroespacial, entrenamiento de astronautas, Fuerza Aérea Colombiana, tecnología aeroespacial, proyectos de inversión.

ABSTRACT

Since there are no aerospace science and astronaut training centers in much of Latin America, and specifically in Colombia, it is essential to initiate the proposal for the design and operation of these in the region that will allow strengthening these capabilities at a global level. Therefore, the purpose of this project is to conceptualize and carry out an investment project for the construction and implementation of an aerospace research and astronaut training center in Colombian. To this end, the methodology for investment projects of the OFFSET agreement of the Colombian Ministry of Defense is established, which focuses on carrying out the market study, technical study, economic study and market plan of the project. The FAC will be able to develop and strengthen its capabilities in aerospace technologies, which are essential for national defense and the sovereignty of the country, by establishing an aerospace research and astronaut training center. This will place Colombia in a prominent position in the aerospace sector, which will help guarantee security and strategic independence. Therefore, the investment project studies are established, identifying the microgravity, spatial orientation, biology, electronics and robotics laboratories, distributed over two floors, requiring a total investment of just over 58 billion Colombian pesos. In addition, the devices of each laboratory, the scientific staff and the required administrative staff are identified.

Keywords — Aerospace research center, astronaut training, Colombian Air Force, aerospace technology, investment projects.

I. INTRODUCCIÓN

Desde que se inició la exploración espacial hacia la década de los 50's, la humanidad notó la importancia de alcanzar y estudiar el espacio. No solo por ser un objetivo de poderío internacional, sino por permitir el logro de grandes avances tecnológicos y científicos. Sin embargo, a pesar de que los dispositivos enviados eran capaces de realizar gran variedad de estudios y medidas en el ambiente espacial, era necesaria la presencia humana para llevar a cabo mejores y más complejas labores [1], además del ferviente deseo humano de poder viajar al espacio y colonizar otros mundos [2].

Debido a esto, se empiezan a realizar misiones espaciales tripuladas por seres humanos, conocidos como astronautas o cosmonautas, quienes fueron capaces de adquirir más información del ambiente espacial. Sin embargo, la dificultad de adaptación y el efecto de permanecer en un ambiente de microgravedad durante largos periodos de tiempo dificultó la planeación y éxito de las misiones. Sin mencionar que se enfrentan a menudo problemas médicos como lesiones menores, infecciones, síndrome de adaptación al espacio, quemaduras, enfermedades respiratorias, gingivitis, cefalea, dolor lumbar, mareos, fatiga, y depresión inmunológica debido a la exposición a radiación solar y cósmica [2].

Por lo tanto, las agencias espaciales optaron por diseñar infraestructura y procedimientos que permitieran preparar y entrenar meticulosamente a los astronautas para garantizar la seguridad y el éxito de las misiones. Desde aptitudes físicas hasta entrenamiento en simuladores y la preparación para misiones específicas, los astronautas reciben un entrenamiento exhaustivo en diversos aspectos [3]. Así mismo, se han creado trajes y sistemas de ejercicio diseñados para mitigar los efectos adversos de la microgravedad, como la pérdida de masa muscular y ósea, y para mantener la salud cardiovascular. También se han desarrollado dietas especiales ricas en calorías y proteínas para asegurar una adecuada nutrición. Además, se implementan procedimientos para preservar la estabilidad psicológica y se utiliza monitoreo a través de programas de telemedicina espacial, entre otras estrategias [2].

No obstante, las tecnologías y procedimientos usados en el estudio y acondicionamiento de la fisiología humana en el espacio son avanzados y costosos, por lo que se han limitado a países de primer mundo. En América, son pocas las agencias e institutos que destacan por fuera de las agencias estadounidenses y canadiense, como es el caso de Brasil y Argentina [4]. En el caso

brasileño, se creó uno de los primeros establecimientos académico y de investigación dedicado a las Ciencias de la Vida Espacial en América Latina, llamado “MicroG” mediante el cual se realiza todo tipo de ciencia con relación al ambiente espacial. De esta forma, Brasil ha trabajado junto a diversos colaboradores tanto en el ámbito nacional como internacional, tales como NASA y ESA, intercambiando docencia, investigación e innovación [5].

Colombia, por su parte, no cuenta con un centro de investigación y entrenamiento fisiológico espacial. Sin embargo, la Fuerza Aérea Colombiana dispone del centro de medicina aeroespacial (CEMAE) encargado de asistir al personal relacionado con actividades de vuelo de la Fuerza Aérea Colombiana mediante acciones preventivas, diagnósticas, terapéuticas, educativas y de investigación en medicina aeroespacial, con el fin de lograr condiciones óptimas en el desarrollo de las operaciones [6].

Dentro del plan de desarrollo aéreo y espacial al 2042, la Fuerza Aérea Colombiana se proyecta, al 2030, la adquisición de activos, para el fortalecimiento y autonomía de capacidades espaciales, además de lograr el primer astronauta FAC [7]. Es por ello, que existe la necesidad de diseñar y construir un centro científico y tecnológico espacial a la vanguardia, con laboratorios especializados en áreas de la ciencia como fisiología espacial, ingeniería y ciencia, que permita avanzar en el plan de desarrollo aéreo y espacial de la fuerza aérea, lograr beneficios económico, político, social, tecnológico y científico, además de posicionar a la nación como un líder y referente regional del ámbito espacial. Para el desarrollo de este tipo de proyectos que tengan un impacto en la defensa nacional, es necesario desarrollar un acuerdo Offset.

El Offset, o Convenio de Cooperación Industrial y Social, es un acuerdo derivado de un contrato principal firmado entre el Gobierno y una entidad privada o un gobierno extranjero para la adquisición de bienes destinados a la defensa nacional. En este acuerdo, el contratista se compromete a compensar al Estado colombiano por la compra de dichos bienes o servicios. De esta manera, el contratista se obliga a realizar actividades cuyo valor sea equivalente al 100% del precio del contrato principal [8].

Este tipo de acuerdos proporciona beneficios económicos, comerciales y sociales al Estado colombiano. Los Offset pueden ser directos o indirectos. En los Offset directos, las compensaciones del proveedor están directamente relacionadas con los bienes o servicios adquiridos (por ejemplo, transferencia de tecnología del sistema adquirido, coproducción y/o subcontratación con empresas nacionales). En los Offset indirectos, las compensaciones no están directamente relacionadas con el objeto del contrato principal (como capacitaciones, transferencia de diferentes tipos de tecnología, proyectos en el sector militar o civil, etc.) [8].

Un ejemplo de aplicación del convenio Offset como programa de la Fuerza Aérea Colombiana es el del proyecto “Modernización de los aviones Tucano T-27” presentado por la empresa EMBRAER en el año 2009 [9].

El presente proyecto pretende realizar el formato de propuesta de un proyecto Offset por parte de la institución de la Fuerza Aérea Colombiana con el gobierno de Colombia para la construcción y funcionamiento de un centro de investigación aeroespacial y entrenamiento de astronautas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Plan de Desarrollo de la FAC es un pilar esencial dentro de la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial al 2042, cuyo propósito es asegurar que la FAC cumpla con su misión y concrete su visión, garantizando la protección de los intereses nacionales. Este plan identifica los elementos que sustentan la visión institucional, organizados en tres horizontes temporales, y clasificados conforme a los componentes DOMPI: Doctrina, Organización, Material y Equipo, Personal e Infraestructura.

Dentro de una proyección morfológica, el Plan de Desarrollo integra la estrategia de crecimiento Aéreo y Espacial de la FAC. En lo que respecta al componente de personal, contempla la puesta en órbita del primer astronauta de la FAC en el espacio ultraterrestre, así como el fortalecimiento de convenios de cooperación con agencias espaciales de países aliados, promoviendo la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). En cuanto a la Infraestructura física y tecnológica, se considera la construcción y/o adecuación de instalaciones y redes óptimas, sostenibles y seguras, ubicadas estratégicamente para garantizar la cobertura necesaria en la defensa de los intereses nacionales (EDAES 2042, 2023).

Consecuentemente, es fundamental que la FAC cuente con instalaciones que incluyan laboratorios dedicados a estudios espaciales, así como oficinas administrativas que respalden el desarrollo de estas actividades. Estas capacidades científicas e investigativas se enfocarán en la exploración espacial, contribuyendo significativamente al fortalecimiento del dominio espacial, uno de los tres dominios estratégicos de la FAC.

A. Estado del arte

1) Diseño de plantas

El diseño de plantas es una rama de la ingeniería, cuyos practicantes utilizan ciencia y matemáticas, modelos y simulaciones, dibujos y hojas de cálculo con el objetivo de plasmar un sistema que cumpla con los requerimientos para dar solución a un problema [10].

El proceso de diseño de plantas atraviesa por varias etapas. Generalmente se plantea un diseño conceptual, luego un diseño básico y posteriormente un diseño detallado de la planta y un producto de ingeniería. A estos diseños, a medida que el modelo se hace más complejo y riguroso,

se adicionan distintas componentes: diagrama de flujo del proceso, diagrama de instrumentos y tuberías, diagrama de disposición, lista de equipos, estimación de costos, documentación, cálculos de diseño y simulaciones, entre otros.

2) *Instalaciones para entrenamiento de astronautas:*

a) NASA:

La agencia espacial estadounidense cuenta con el programa Human Research Program (HRP) para la exploración e investigación de la capacidad, operación y comportamiento del ser humano en el espacio, además del entrenamiento para su estadía durante largos periodos de tiempo.

Para investigar y desarrollar procedimientos y tecnologías, además de entrenar a los astronautas para que vivan y trabajen en el entorno ingrávido de la Estación Espacial Internacional, la NASA emplea una serie de técnicas e instalaciones ubicadas en el centro espacial Johnson [11]:

- **Sistema de descarga de gravedad de respuesta activa (ARGOS):** similar en apariencia a una grúa pórtico, que es capaz de simular de forma segura cualquier gravedad reducida, incluida la lunar, marciana y la microgravedad, en un volumen de prueba de más de 340m³.
- **Piso con cojinete de aire de precisión (PABF):** Es una superficie extremadamente lisa y plana que proporciona una simulación bidimensional del entorno ingrávido del espacio mediante objetos flotantes sobre un fino colchón de aire.
- **El Simulador de Gravedad Parcial (POGO):** Consta de servos, cojinetes de aire y cardanes para proporcionar simulaciones precisas de gravedad reducida. Se utiliza para el entrenamiento de astronautas y para evaluar su capacidad para realizar tareas en gravedad parcial y microgravedad simulada.
- **Laboratorio de flotabilidad neutra (NBL):** Es una de las piscinas cubiertas más grandes del mundo y puede admitir múltiples operaciones a gran escala utilizando activos tanto submarinos como superiores simultáneamente. El NBL se utiliza para la planificación de misiones, el desarrollo de procedimientos, la verificación de hardware, el entrenamiento de

astronautas y el refinamiento de operaciones críticas en el tiempo necesarias para garantizar el éxito de la misión.

- **Laboratorio de Realidad Virtual (VRL):** Ofrece capacitación a los astronautas utilizando capacidades modernas de realidad virtual. Esta formación suele centrarse en actividades extra vehiculares (EVA) en naves espaciales operativas. Además de los cascos de realidad virtual, el VRL utiliza robots de cable para proporcionar retroalimentación háptica en escenarios que involucran manipulación masiva.
- **Instalaciones de prueba de vacío (cámaras de altitud):** ofrece una amplia gama de capacidades de prueba de simulación de entornos espaciales: Pruebas calificadas por humanos en un ambiente de vacío, pruebas de desarrollo de trajes espaciales, entrenamiento de la tripulación de vuelo y adaptaciones de emergencia y movilidad de miembros de la tripulación.
- **Laboratorio de Neurociencia:** El Laboratorio de Neurociencia investiga los efectos de los vuelos espaciales en el sistema nervioso humano, con especial énfasis en la función sensoriomotora que involucra cambios en la postura y la marcha, la coordinación ojo-cabeza, la desorientación espacial, el mareo por movimiento espacial y la función vestibular-autonómica. El objetivo central del laboratorio es caracterizar los riesgos para el desempeño de tareas operativas críticas y el desarrollo de contramedidas para mitigar los cambios relacionados con los vuelos espaciales en la función del sistema nervioso asociados con las transiciones del estado g.
- **Human Performance centrifuge:** diseñada para la colocación del sujeto en decúbito supino y proporciona una carga g variable desde 1 g en la cabeza del sujeto hasta un máximo de 5 g en los pies del sujeto. Se ha utilizado para el estudio de Contramedidas para mejorar los efectos de desacondicionamiento y desorientación de los vuelos espaciales Mecanismos de tolerancia ortostática Desplazamientos de fluidos en el cuerpo durante la aceleración [12].

b) ESA:

ESA cuenta con varios programas más generales para la investigación humana del espacio. Entre ellos destaca el programa Human and robotic exploration (HRE), el cual se centra, entre otras cosas, del desempeño humano en el espacio. Sus principales actividades son la selección, entrenamiento y soporte de astronautas, la investigación del comportamiento del ser humano en el espacio, y apoyo constante a la estación espacial internacional.

El centro European astronaut centre (EAC) ubicado en Alemania hace parte del programa HRE. En este lugar, además de realizar la selección, entrenamiento y apoyo médico y operacional constante a los astronautas, también se realizan investigaciones médicas que permita asegurar la salud de los astronautas en el espacio.

El centro europeo de astronautas cuenta con las siguientes instalaciones [13]:

- Varias réplicas del laboratorio europeo Columbus de la ISS.
- Modelos de entrenamiento independientes de los estantes en el Columbus.
- Simuladores y salones de clase, donde destaca un modelo de vehículo de transferencia automatizado (ATV) para entrenamiento en acople con la ISS.
- Gimnasio totalmente equipado.
- Salas de comunicación con los astronautas a bordo de la estación espacial internacional.
- Una piscina de flotabilidad neutra con 10 metros de profundidad.
- estación de investigación en la Antártida, Concordia, la cual estudia el clima espacial y el impacto de la radiación en el cuerpo humano.
- Centrifuga humana de brazo corto (SAHC) con un radio de aproximadamente 8 metros y una capacidad de aceleración de 6g.

c) Centro de Entrenamiento de Cosmonautas Yuri Gagarin

El Centro de Entrenamiento de Cosmonautas Yuri Gagarin, conocido como Roscosmos, es la principal institución para la formación de cosmonautas en Rusia. Su programa de formación es extenso e incluye una variedad de cursos teóricos y entrenamientos prácticos diseñados para preparar a los cosmonautas para todas las facetas de las misiones espaciales.

El entrenamiento práctico en Roscosmos se realiza a través de simuladores avanzados, como los simuladores de la Soyuz y de los módulos de la ISS. Estos simuladores permiten a los cosmonautas practicar procedimientos de acoplamiento, manejo de emergencias, y operaciones

rutinarias en la ISS, lo que asegura que estén preparados para cualquier situación que puedan enfrentar en el espacio.

Además, el centro utiliza piscinas profundas para el entrenamiento en condiciones de ingravidez, donde los cosmonautas practican actividades extra vehiculares o paseos espaciales. También se realizan vuelos parabólicos en aviones IL-76 para experimentar breves períodos de ingravidez, replicando las condiciones que enfrentarán en el espacio.

Roscosmos cuenta con maquetas a tamaño real de sus principales naves espaciales, como los vehículos Soyuz y Buran, y módulos del Programa Salyut, Mir y la ISS. Estas maquetas permiten a los cosmonautas familiarizarse con el entorno de trabajo que encontrarán en el espacio.

El entrenamiento en el Módulo Zarya, una piscina de flotabilidad neutra de 23 metros de diámetro y 12 metros de profundidad es crucial para simular las condiciones de ingravidez. Además, se realiza entrenamiento en rotación centrífuga para preparar a los cosmonautas para las cargas G durante la inserción y descenso de la nave espacial, así como para condiciones de microgravedad, baja presión de la cabina, y otras variables ambientales.

d) Agencia De Exploración Aeroespacial De Japón (JAXA):

El entrenamiento básico en JAXA incluye el uso de simuladores avanzados, entrenamientos en condiciones de ingravidez y cámaras hiperbáricas.

El entrenamiento físico incluye un total de 400 horas, durante las cuales se enseñan técnicas de supervivencia en lugares remotos tanto en tierra como en el mar, y operaciones básicas para actividades fuera de la ISS (entrenamiento EVA). JAXA utiliza una piscina de 16 metros de diámetro y 10,5 metros de profundidad para simular condiciones de ingravidez y permitir a los astronautas practicar actividades extra vehiculares.

Además, los astronautas de JAXA reciben entrenamiento en una cámara hiperbárica para prepararse para despresurización o entornos de baja presión. El programa de JAXA abarca un total de 1.600 horas de instrucción, proporcionando una formación exhaustiva y completa para asegurar la preparación y seguridad de los astronautas en sus misiones espaciales.

3) Entrenamiento de astronautas:

El entrenamiento de los astronautas se realiza de una manera similar en todas las agencias, centros e institutos. En general, se utilizan 3 fases de entrenamiento [14] [15] [16]:

- Entrenamiento básico: Se enseña fundamentos de vuelo espacial, se enseña en detalle todos los sistemas de la estación espacial y de los vehículos de transporte tanto de entes públicos

como privados, se da un entrenamiento completo en supervivencia y se enseñan habilidades especiales como idioma ruso, operación robótica y de naves espaciales como rendezvous y docking.

- Entrenamiento previo a misión: En este se continúa entrenando al astronauta en diferentes centros espaciales del ámbito internacional hasta que sea asignado a una misión.
- Entrenamiento específico: Luego de ser asignado a una misión, se inicia un entrenamiento enfocado en las tareas que el astronauta desempeñará en esa misión y en compañía de sus compañeros de tripulación, tanto como sea posible. Solo podrán volar luego de ser aprobados por los 5 socios internacionales (NASA, ESA, Roscosmos, JAXA y CSA).

III. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo aeroespacial es de gran importancia para el avance científico y tecnológico de la humanidad y tiene un gran impacto en la economía y sociedad el mundo. Debido a esto, el proyecto de conceptualización de un laboratorio para la investigación aeroespacial y entrenamiento de astronautas trae varios beneficios para la FAC y Colombia.

A. Beneficios para FAC

El desarrollo de proyectos de investigación científica en áreas clave como medicina, neuropsicología, biología, ingeniería espacial, robótica e inteligencia artificial será crucial para el avance del conocimiento y la tecnología. Estos proyectos no solo fortalecerán el programa espacial de la FAC, sino que también comenzarán con una sólida formación de astronautas y se extenderán hacia el desarrollo de capacidades avanzadas en el ámbito espacial.

Asimismo, la cooperación tanto a nivel nacional como internacional con actores clave en el sector espacial, incluyendo instituciones educativas, empresas privadas y públicas, y el sector de defensa, promoverá el intercambio de conocimientos y recursos. La colaboración reforzará la capacidad de la FAC para entrenar a sus astronautas bajo estándares globales, facilitando su integración en el ámbito espacial internacional.

B. Beneficios para Colombia

El proyecto ofrece numerosos beneficios para Colombia, destacándose en primer lugar el impulso al avance científico y tecnológico del país a través del desarrollo de capacidades científicas y la optimización de laboratorios de última generación. Esto posicionará a Colombia como un referente en investigación avanzada en el ámbito espacial fortaleciendo la imagen global y abriendo la puerta a colaboraciones estratégicas con instituciones de renombre en investigación espacial, promoviendo el intercambio de conocimientos y la creación de alianzas beneficiosas.

Adicionalmente, el proyecto impactará positivamente en la calidad de vida de los ciudadanos mediante la aplicación práctica de los conocimientos obtenidos en fisiología espacial y bioquímica, contribuyendo a importantes avances en los campos de la medicina y la biotecnología. La transferencia de tecnologías desarrolladas para el espacio beneficiará, además, a diversas industrias y sectores productivos, abriendo nuevas oportunidades de mercado para la industria

colombiana, mejorando su competitividad global y permitiéndole acceder a nuevos mercados internacionales.

Finalmente, el proyecto será clave para el desarrollo del talento humano en el país mediante programas de formación avanzada en investigación y tecnología espacial, elevando el nivel de competencias y conocimientos del personal de la FAC. La ampliación de capacidades científicas y de investigación en el sector espacial generará nuevas oportunidades laborales y atraerá talento especializado al país. Estos beneficios constituyen una inversión estratégica que potenciará la presencia de Colombia en el espacio, contribuirá al progreso científico y tecnológico, y consolidará al país como un referente en el ámbito internacional.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Formular y conceptualizar la futura implementación de un complejo de laboratorios de factores humanos orientado al estudio de la fisiología espacial y entrenamiento de astronautas en Colombia.

B. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos técnicos y operacionales de la implementación de un complejo de laboratorios de factores humanos aeroespacial.
- Plantear los conceptos de infraestructura y operaciones de los laboratorios del complejo de factores humanos aeroespacial.
- Justificar la implementación del complejo de factores humanos espacial en el contexto actual colombiano.

V. MARCO TEÓRICO

A. Entrenamiento de astronautas

El término "astronauta" proviene del griego y significa "navegante de las estrellas". Este término se aplica a todas las personas que han sido enviadas como miembros de la tripulación en naves espaciales de la NASA con destino a la órbita terrestre o más allá. Además, "astronauta" es el título dado a aquellos seleccionados para formar parte del cuerpo de astronautas de la NASA, quienes hacen de la navegación espacial su carrera profesional [17].

A pesar de que en algunas agencias espaciales se utilizan otros términos, como "cosmonauta" en Rusia o "Taikonauta" en china, su función principal en la actualidad es la de investigar, desde estudios físicos, químicos, hasta médicos. Sin embargo, la tarea de ser astronauta no es nada fácil puesto que existen múltiples riesgos en el ambiente espacial para vuelos tripulados [18]:

- Radiación espacial: Los rayos cósmicos de alta energía y las tormentas solares generan partículas ionizadas que pueden dañar el cuerpo humano y las naves espaciales por fuera de la protección del campo magnético y la atmosfera.
- Aislamiento y confinamiento: Encierro prolongado en la nave espacial conlleva a problemas psicológicos y físicos como pérdida de sueño y ciclo circadiano alterado.
- Distanciamiento de la tierra: Lejanía a las comodidades del ser humano como comunicaciones, medicina, alimentación, etc.
- Microgravedad: Tiempos prolongados en un entorno de microgravedad provoca mareo, pérdida de musculatura, problemas de visión, entre otros.
- Condiciones Ambientales: Ambiente muy hostil para la vida: vacío, temperaturas extremas, presión nula, entre otros.

Debido a esto, es fundamental realizar una preparación física y un entrenamiento en todos los aspectos para que los astronautas realicen investigaciones científicas y mantenimiento en el ambiente espacial de la forma más eficiente posible.

B. Relevancia del laboratorio de medicina y fisiología espacial

El laboratorio es un espacio equipado con los medios necesarios para llevar a cabo investigaciones, experimentos y trabajos de naturaleza científica o técnica [19]. Dependiendo que rama de la ciencia se estudie, existe una gran variedad de laboratorios, tales como laboratorios de física, laboratorios de química, laboratorios de bioseguridad, laboratorios clínicos, entre otros.

La medicina y la fisiología espaciales son dos ramas importantes dentro de las ciencias de la vida en el espacio. La medicina espacial se centra en abordar problemas médicos que surgen durante las misiones espaciales, como los cambios adaptativos al ambiente del espacio, la ingravidez, la radiación y la falta de un ciclo día/noche de 24 horas. Además, considera cambios no patológicos que pueden volverse desadaptativos al retornar a la Tierra, como la pérdida de masa muscular y la desmineralización ósea. Por otro lado, la fisiología espacial se dedica a estudiar las respuestas del cuerpo al espacio, especialmente a la ingravidez, la reducción de la actividad física y el estrés, proporcionando así la base de conocimientos necesaria para desarrollar una medicina espacial eficaz [20].

Por lo tanto, un laboratorio de medicina y fisiología espacial está dedicado al estudio de los efectos del espacio en el cuerpo humano. En este se investiga como la microgravedad, la radiación espacial y otros factores del ambiente espacial alteran la salud, fisiología y el rendimiento humano. Mediante estos se puede garantizar la seguridad y bienestar de astronautas durante misiones espaciales de larga duración desarrollando contramedidas y métodos de preparación y entrenamiento físico y psicológico [21].

Sin embargo, un laboratorio no solo se compone de infraestructura y equipos, ya que solo con estos no alcanza ningún objetivo planteado. Es importante para ello que el laboratorio sea gestionado apropiadamente por un centro de investigación: Un Centro de Investigación se define comúnmente como un grupo de investigadores enfocados en un área significativa de investigación, contando con una masa crítica de personal académico, actividad investigadora y financiación externa. Su existencia aporta beneficios claros, como crecimiento, amplitud, potencial de financiamiento, impacto y visibilidad tanto interna como externa. Actúa como un buque insignia

para los investigadores y la investigación de la institución, funcionando como un centro de excelencia [22].

Los Centros de Investigación suelen ser interdepartamentales y multidisciplinarios en sus actividades y en la naturaleza de su investigación, aunque para fines administrativos y financieros están basados en un único Departamento. También pueden incluir miembros o afiliados de fuera de la institución [22].

C. Formulación de proyectos de inversión

Un proyecto de inversión es una propuesta económica destinada a abordar una necesidad mediante la utilización de un conjunto de recursos disponibles, como los humanos, materiales, tecnológicos, entre otros. Es un documento escrito que incluye una serie de estudios (generalmente de mercado, técnico y económico) que permiten a diferentes usuarios evaluar el costo-beneficio de la inversión, determinar su viabilidad, factibilidad y prever los posibles rendimientos [23].

1) Estudio de mercado:

El estudio de mercado es el conjunto de análisis, métodos y técnicas que facilitan la obtención de información tanto del macroentorno como del microentorno en el que operan los agentes económicos relacionados con un proyecto de inversión. La investigación de mercados forma parte integral del estudio de mercado [24].

Los principales conceptos para desarrollar un estudio de mercado son [24]:

a) Mercado:

Es el espacio donde se reúnen distintos actores, tanto compradores como vendedores, para intercambiar bienes y/o servicios, ya sea en un entorno físico o en una plataforma virtual.

b) Oferta:

Es la cantidad de bienes y servicios disponibles en el mercado, expresada en unidades físicas como toneladas, kilos, litros, galones, unidades, entre otros. Proviene de los productores o comerciantes que los ponen a disposición.

c) Demanda:

Es el volumen de bienes y servicios que los consumidores buscan adquirir en el mercado. Proviene de personas, tanto físicas como jurídicas.

d) Macroentorno:

Está compuesto por el entorno económico, político-legal, sociocultural, tecnológico y ambiental. Estas son variables que impactan el proyecto, ya sea de manera positiva o negativa, y sobre las cuales el proyecto generalmente no tiene control.

Por otra parte, los objetivos de realizar un estudio de mercado en un proyecto es poder cuantificar la oferta y demanda actual del mercado, cuantificar la demanda del proyecto y realizar un análisis de los submercados del proyecto.

e) Cuantificación de oferta y demanda del mercado

Para cuantificar la demanda y oferta del mercado, es necesario analizar las principales variables que pueden influir en el comportamiento de ambos aspectos del producto o servicio del proyecto, tanto a nivel local como internacional. Entre estas variables explicativas suelen estar el precio, la cantidad y el ingreso disponible, entre otras.

f) Cuantificación de la Demanda del Proyecto

Para cuantificar la demanda de un proyecto, es necesario determinar qué parte de la demanda total en el mercado podrá ser satisfecha por el proyecto.

g) Análisis de los Submercados del Proyecto

Los submercados del proyecto forman parte del microentorno e incluyen:

- *Mercado de Proveedores:* Estos son los proveedores que suministran insumos y materiales al proyecto, y también a los competidores de este.
- *Mercado de Competidores:* Incluye a los actores que actualmente producen u ofrecen productos o servicios similares al del proyecto, así como a aquellos que, aunque no están activos en la misma área, podrían fácilmente adaptarse debido a su actividad similar.
- *Mercado de Distribuidores:* Comprende los canales de comercialización de los productos del proyecto, como mayoristas, minoristas, cadenas de distribución y detallistas, que pueden estar trabajando con la competencia.
- *Mercado de Consumidores:* Está constituido por los clientes que demandan el producto o servicio del proyecto, así como los de la competencia.

- *Mercado Externo:* Este análisis se realiza según la relevancia para el proyecto, en relación con los mercados anteriormente descritos.

Por último, para alcanzar los objetivos del estudio de mercado es necesaria mucha información:

h) Fuentes de información

La idea es centrarse en trabajar con información que sea cuantitativamente relevante, evitando desviarse hacia datos que no aporten valor significativo. Se clasifica en fuentes primarias y secundarias:

- *Fuentes primarias:* Son aquellas obtenidas directamente por los investigadores del propio proyecto. Las técnicas comunes para recolectar esta información incluyen el focus group, las entrevistas en profundidad y las encuestas. Esta información es nueva, generada específicamente para abordar el problema o aprovechar la oportunidad de negocio en cuestión. Los proyectistas deben participar en su recolección, que puede llevar tiempo y tener un costo elevado.
- *Fuentes secundarias:* Son aquellas elaboradas por terceros. Es fundamental verificar la fuente de la información para asegurarse de que los datos sean confiables. Estas publicaciones, que ya están disponibles al momento de realizar el estudio, suelen ser de fácil acceso, obtenerse rápidamente y tener un costo bajo.

2) Estudio técnico

El Estudio Técnico de un proyecto de inversión abarca los aspectos técnicos y operativos necesarios para utilizar de manera eficiente los recursos disponibles en la producción del bien o servicio deseado. Incluye la determinación del tamaño óptimo de las instalaciones, su localización, y la organización requerida.

La importancia de este estudio radica en su capacidad para valorar económicamente las variables técnicas del proyecto, lo que permite una estimación precisa de los recursos necesarios. Además, proporciona información valiosa para el estudio económico-financiero. Su principal objetivo es demostrar la viabilidad técnica del proyecto y justificar la opción técnica que mejor se ajuste a los criterios de optimización [25].

El estudio técnico de un proyecto de inversión debe incluir los siguientes elementos [26]:

a) Ingeniería Básica:

Incluye detalles sobre el producto, como sus especificaciones y el proceso de manufacturación. La ingeniería del proyecto ofrece una solución a las necesidades detectadas en ámbitos empresariales, sociales, o individuales:

- *Descripción del Producto:* Debe detallar las especificaciones físicas del bien o servicio, incluyendo la identificación de materias primas e insumos necesarios, así como los procesos tecnológicos para su fabricación. Para servicios, también se debe describir minuciosamente en qué consiste el servicio.
- *Descripción del Proceso:* Describe la secuencia de operaciones que transforman el bien en un producto terminado. Puede incluir tiempos y requerimientos, y se recomienda el uso de diagramas de flujo para ilustrar la transformación de los materiales hasta su presentación final.

b) Determinación del Tamaño de la Planta:

En este aspecto del estudio técnico, se cuantifica la capacidad de producción y todos los requisitos necesarios para el desarrollo del bien. Para ello, es esencial considerar la demanda del mercado y determinar la proporción adecuada para satisfacer dicha demanda.

- *Identificación de la Demanda:* Basado en el estudio de mercado, se debe mostrar la demanda real, potencial y proyectada. Esto ayuda a ajustar el tamaño del proyecto para satisfacer adecuadamente la demanda, evitando desajustes entre la capacidad de producción y la demanda.
- *Identificación de Insumos y Suministros:* Es esencial conocer el abasto de materias primas en cantidad y calidad necesarias, los proveedores, precios y cantidades, respaldado por cotizaciones.
- *Identificación de Maquinaria y Equipo:* Determina la maquinaria y equipo necesarios, considerando elementos como dimensiones, capacidad, costo de mantenimiento, consumo de energía y la infraestructura requerida.

- *Tamaño del Proyecto y Financiamiento:* Se debe equilibrar el monto necesario para el desarrollo del proyecto con la capacidad de financiamiento. Considera fuentes internas y externas de financiamiento y evalúa el retorno económico del proyecto.

c) Localización de la Planta:

En este se identifica el lugar óptimo para la implementación del proyecto, considerando diversos factores clave que respaldarán la decisión sobre la ubicación específica de la planta. La selección de la localización del proyecto se define en dos ámbitos:

- *Macrolocalización:* Selección de la región o zona más adecuada para el proyecto.
- *Microlocalización:* Determinación del lugar específico para la instalación.

Los métodos recomendados para determinar la ubicación de la planta incluyen:

- *Método Cualitativo por Puntos:* Asignación de puntuaciones a criterios relevantes para comparar sitios y seleccionar el mejor.
- *Método Cuantitativo de Vogel:* Análisis de costos de transporte y de materias primas para determinar la mejor localización.
- *Método de Brown y Gibson:* Combinación de factores cuantitativos y subjetivos con valores ponderados para la selección del lugar.

Estos elementos proporcionan una base sólida para evaluar la viabilidad técnica del proyecto y asegurar que todos los aspectos operativos y logísticos estén debidamente planificados.

d) Distribución en la Planta

Una adecuada distribución del equipo en la planta implica organizar las máquinas, materiales y servicios complementarios de manera que se satisfagan de la mejor forma las necesidades del proceso productivo. Esto asegura costos reducidos, alta productividad y condiciones óptimas de seguridad y bienestar para los trabajadores.

Para lograrlo, es crucial considerar todos los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto, tales como maquinaria, equipo, personal, materia prima, almacenamiento, entre otros. Además, es importante identificar los espacios y recorridos que garanticen que los materiales y el personal estén bien organizados y seguros.

Existen métodos para lograr una distribución óptima de la planta, como la Planeación Sistémica Simplificada de Distribución (PSSD), que ofrece un conjunto de elementos para mejorar la distribución en la planta.

e) Análisis de la Inversión

El análisis de costos que concluye el estudio técnico implica la determinación y distribución de los costos asociados a la inversión, que incluyen:

- *Costos de Inversión Fija:* Gastos en activos permanentes como maquinaria, equipo e infraestructura.
- *Costos Diferidos:* Gastos que se amortizan a lo largo del tiempo, como ciertos permisos o contratos.
- *Capital de Trabajo:* Recursos necesarios para las operaciones diarias del proyecto, incluyendo inventarios y gastos operativos.

Este análisis proporciona una visión integral de los costos totales involucrados en la inversión, facilitando la planificación financiera y la evaluación de viabilidad del proyecto.

3) Estudio económico

El estudio económico-financiero constituye la tercera fase de los proyectos de inversión, en la cual se presenta de manera sistemática y ordenada la información monetaria derivada de la investigación y análisis realizados en la etapa anterior, es decir, el Estudio Técnico. Este estudio es fundamental para evaluar la rentabilidad económica del proyecto.

En particular, abarca la estimación del monto de los recursos económicos necesarios para llevar a cabo el proyecto antes de su puesta en marcha, así como la determinación del costo total requerido durante su fase operativa [27].

Para realizar un estudio económico es importante tener en cuenta 3 términos importantes: Inversión, costos e ingresos:

a) Inversión

La inversión comprende la adquisición de todos los activos esenciales para iniciar las operaciones de la empresa o planta. Se clasifica en 3: inversión fija, inversión diferida y capital de trabajo [28]:

- *Inversión fija:* La inversión fija del proyecto incluye la inversión en activos fijos tangibles, como terrenos y obras físicas, así como la adquisición de mobiliario, equipo y otros elementos necesarios para comenzar la operación.
- *Inversión diferida:* Este tipo de inversión se refiere a la inversión en activos intangibles, que abarca aquellos servicios o derechos adquiridos que son necesarios para poner en marcha el proyecto, tales como licencias, permisos y contratos de servicios de energía y agua.
- *Capital de trabajo:* La inversión en capital de trabajo abarca los recursos necesarios para la operación regular del proyecto, cuyo propósito es financiar el desfase entre los egresos y la generación de ingresos de la empresa, o financiar la primera producción antes de recibir ingresos. En este contexto, el capital de trabajo necesario para iniciar el proyecto se compone principalmente de tres elementos: materia prima, insumos y mano de obra.
- *Calendario de inversiones:* El calendario de inversiones muestra todas las inversiones del proyecto antes de su puesta en marcha, indicando el momento exacto en que se realizan. Generalmente, se presenta en un diagrama de Gantt, con el objetivo de visualizar el progreso de las inversiones, reflejando la relación entre tiempo y costo.

b) Costos

Este apartado tiene como objetivo presentar el monto total anual de costos y gastos que implicaría la operación normal del proyecto durante el horizonte de planeación. Esto se logra a través de la clasificación y valoración de cada una de las partidas que componen los costos y gastos del proyecto. Se clasifican en dos:

- Costos fijos: Son aquellos que se obtienen, aunque no haya producción de productos o servicios, es decir, no dependen del volumen de negocio y tienen un valor determinado. Son ejemplos el alquiler de locales e instalaciones y gastos de personal.
- Costos variables: aquellos que provienen de la actividad de la empresa. Es decir, si no hay actividad no hay coste variable. Generalmente provienen de la materia prima y la mano de obra.

c) Ingresos

Corresponde al monto monetario que obtiene la empresa por ofrecer sus productos o servicios. Se pueden diferenciar tres tipos de ingresos:

- Ingresos de explotación: aquellos que se obtienen de venta de productos o servicios.
- Ingresos financieros: provienen de la inversión monetaria de la empresa en cuentas remuneradas, acciones, valores de renta fija, bonos, prestamos, u otra clase de inversión.
- Ingresos extraordinarios: aquellos que no provienen de la actividad normal de la empresa y que no son regulares o periódicos.

4) Plan de mercado

La estrategia comercial por implementar para el proyecto consiste en una serie de herramientas y tácticas que son utilizadas para obtener la respuesta deseada del mercado objetivo. Estas se resumen en las siguientes variables [24]:

a) Producto

El producto o servicio es lo que se ofrece a los consumidores, ya sean finales o intermedios. Este posee una serie de atributos tangibles e intangibles, como la marca, el empaque, la calidad y los servicios asociados. Los productos se clasifican según su duración en tres categorías: duraderos (como televisores), no duraderos (como refrescos) y servicios (como la educación). El producto o servicio que el proyecto pretende lanzar al mercado debe estar bien definido, especificando características internas como externas.

b) Precio

Es fundamental especificar claramente los precios que el producto o servicio tendrá en el mercado, tales como el precio para el canal de comercialización, el precio al consumidor final, el precio FOB, entre otros. Los factores que influyen en la determinación del precio pueden ser internos, como los objetivos de precio y los costos, o externos, como la demanda, la competencia,

y factores ambientales. También se pueden establecer estrategias de descuento, que pueden incluir descuentos por volumen, por pronto pago, y/o promocionales.

Los precios suelen fijarse según la oferta y demanda del mercado que puede ser mediante encuestas, o también puede usarse el método de mark-up, que consiste en añadir un porcentaje de ganancia al costo total.

c) Plaza

Mediante la plaza se determinará cómo se llevará el producto al consumidor, lo cual puede facilitarse mediante personas o empresas que participan en la entrega del producto, conocidos como intermediarios. Los intermediarios pueden ser comerciantes, que compran y revenden el producto, o agentes, que no compran, pero ganan una comisión por facilitar la venta.

d) Mezcla promocional

Se evalúa cuál es la combinación de medios promocionales más adecuada. Entre ellos destacan:

- *Publicidad*: es una comunicación masiva y no personal, financiada por un patrocinador identificado.
- *Venta personal*: consiste en la presentación directa del producto por parte de un representante de la empresa al comprador potencial.
- *Promoción de ventas*: ofrece incentivos a corto plazo para estimular la compra o venta del producto.
- *Publicidad no pagada*: aparición de producto o servicio en medios de comunicación sin costo directo.

VI. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se dio a través de un convenio de cooperación industrial y social o convenio Offset ante el Estado Colombiano, por lo tanto, se siguieron los lineamientos que este presenta. La primera etapa del desarrollo de este tipo de proyectos consiste en el diligenciamiento de un documento guía que describa detalladamente el proyecto. Las secciones que contiene este documento se observan en la TABLA 1.

TABLA 1

SECCIONES DEL DOCUMENTO DE PROPUESTA PARA UN PROYECTO OFFSET EN COLOMBIA.

Sección	Descripción
Marco general	Elaborar una breve descripción de aspectos generales relacionados con el proyecto presentado.
Definición del negocio o la actividad	Descripción del proyecto: Nombre, objetivos, justificación, beneficios, socios y entidades
Estudio de mercado	Análisis de la demanda a cubrir, la oferta en el mercado, los principales competidores y nicho de mercado
Estudio técnico	Señalar y definir los aspectos técnicos del proyecto como ubicación, equipos, personal, logística, administración, aspectos legales, implementación.
Estudio económico	Describir la inversión del proyecto, sostenibilidad, financiación y créditos del programa Offset
Plan de Mercado	Señalar como se realizará la promoción del producto, estrategias de mercado, política de servicio y publicidad.
Otros aspectos	Definir los derechos y obligaciones de las partes y la supervisión del proyecto.
Conclusiones	Análisis de oportunidades, riesgos, puntos fuertes, rentabilidad, seguridad.
Anexos	Información complementaria del proyecto.

Se llevaron a cabo revisiones periódicas de avances dos veces por semana con el asesor y mentores de la Fuerza Aérea Colombiana y una revisión por semana con el asesor interno de la Universidad de Antioquia. Se hicieron, además, 3 entregas bimestrales a la institución de la Fuerza Aérea, con el propósito de realizar y revisar continuamente la generación textual y redacción por parte del estudiante.

Para la propuesta del proyecto Offset se siguió una metodología en cascada siguiendo el orden de los ítems de la TABLA 1 iniciando por definir el proyecto, sus objetivos y justificación,

y terminando con el plan de mercado, rentabilidad y aspectos políticos. Se realizó la respectiva investigación en línea de cada sección manteniendo el orden propuesto y teniendo en cuenta la normativa, los antecedentes y la actualidad tanto nacional e internacional. Se invirtió 4 horas diarias durante 5 días cada semana durante la realización del proyecto para un total de 20 horas semanales, que se distribuyeron en las siguientes labores:

A. Revisión literaria (antecedentes, estado del arte y tendencias)

La revisión literaria pretende buscar y recopilar la información existente en torno al tema de desarrollo, composición y gestión de complejos de laboratorios espaciales y entrenamiento de astronautas, enfocado en la infraestructura, tecnología, investigaciones previas y actuales, y economía manejada. Esto con el fin de visualizar que tecnologías e investigaciones se utilizaron en el pasado, porqué se siguen o dejaron de aplicar hoy en día y de qué forma han cambiado, y que interés existe en el futuro acerca de nuevas tecnologías, estudios e instalaciones.

Se utilizarán bases de datos académicas como ScienceDirect, Scopus y Google Scholar, además de las páginas principales de agencias internacionales como NASA, ESA y JAXA y de instituciones privadas como la universidad Brandeis y Embry-Riddle. En un principio se realizó una búsqueda sin filtros de la información más relevante para obtener una visión global de que tipo de agencias, investigaciones, tecnologías y países han sido y son más relevantes.

B. Filtro de pertinencia de laboratorios

Un filtro de pertinencia permite restringir la búsqueda de información a la más relevante y eficiente para lograr los objetivos del proyecto de investigación. De esta forma se puede obtener la información necesaria para realizar los estudios lo más pronto posible.

El filtro que se utilizará se centrará en obtener la información de las instituciones internacionales y privadas más relevantes, además de buscar en las bases de datos los artículos y revistas con mayor impacto a través de títulos, autores y referencias. De esta forma, es posible extraer la información más relevante respecto a los complejos espaciales y de entrenamiento de astronautas, la cual es necesaria para efectuar los estudios de inversión pertinentes.

C. Estudio de mercado

El estudio de mercado se describe en el marco teórico (véase más atrás). Este permite obtener una respuesta aproximada del público y del mercado objetivo para un proyecto. El objetivo

del estudio de mercado es conocer el comportamiento del mercado para poder identificar en el siguiente paso los requerimientos, necesidades, entre otros.

En la realización del estudio de mercado, se iniciará observando los países y tipos de agencias que dominan o se involucran en el tema de la investigación espacial y entrenamiento de astronautas a nivel global y regional. Posteriormente, se identificará instalaciones, dispositivos, investigaciones y presupuesto de cada institución, con el fin de conocer el estado del mercado internacional y regional.

D. Identificación de requerimientos y restricciones

Luego del estudio de mercado, es posible visualizar los requerimientos que necesita un complejo de investigación espacial y entrenamiento de astronautas para funcionar como tal y participar del mercado regional y/o internacional. Además, se determinarán los estándares utilizados en la selección de laboratorios, instalaciones, dispositivos y distribución del presupuesto.

Por otra parte, observando los estándares se permitirá asociar con la obtención de certificaciones, la realización de prácticas recomendadas en cada tipo de laboratorio y de dispositivos y la guía y práctica de protocolos.

E. Estudio técnico

El estudio técnico se describe en el marco teórico (véase más atrás). Este permite obtener una respuesta aproximada de la viabilidad técnica del proyecto. El objetivo del estudio técnico es conocer el concepto técnico óptimo del complejo de laboratorios para alcanzar los objetivos propuestos y de esta forma dar paso al estudio económico o financiero.

En la realización del estudio técnico, se iniciará comparando y fijando los dispositivos óptimos en cada laboratorio del complejo, realizando una descripción detallada del dispositivo, justificando su importancia para el laboratorio, los objetivos que se desean cumplir y personal científico necesario, además de mencionar las opciones en el mercado y argumentar la selección final.

Posteriormente se diseñará un esquema de disposición interna del complejo que permita visualizar la distribución de los laboratorios y de los dispositivos que los conforman. Por último, se determinará que programas y estrategias del área técnica son necesarios para mantener activo el complejo de laboratorios y que personal del área administrativa es necesario para la gestión de este.

F. Estudio económico

El estudio económico se describe en el marco teórico (véase más atrás). Con el estudio económico es posible evidenciar la viabilidad del proyecto de inversión. El objetivo del estudio económico o financiero es conocer la totalidad de recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, tanto para la puesta en marcha como para su operación.

El estudio económico se dividió en varios rubros:

- Adquisición de dispositivos: costos de compra de la totalidad de los dispositivos.
- Servicios técnicos: instalación, mantenimiento y uso especializado de los dispositivos.
- Personal científico: costo anual del personal científico de cada laboratorio.
- Materiales e insumo: materiales necesarios para el funcionamiento de los dispositivos y los laboratorios.
- Software: programas informáticos que requieran ciertos dispositivos u objetivos de los laboratorios y que tengan un costo para su uso.
- Viajes: si se requieren para conocer estado de dispositivos y su traslado.
- Adecuaciones de infraestructura: costo de construcción del complejo.

G. Plan de mercado

El plan de mercado se describe en el marco teórico (véase más atrás). Este permite definir las estrategias para lograr los objetivos propuestos respecto al impacto del proyecto en el mercado. El objetivo del estudio de mercado es definir las estrategias y tácticas para alcanzar los objetivos de mercado del proyecto.

Se aplicará un análisis de mercado y evaluación del proyecto a través de un análisis DOFA, identificando riesgos y problemas en el concepto inicial del complejo. De esta forma, se definirán estrategias de colaboración que permitan mitigar las amenazas y combatir las debilidades del proyecto.

VII. DESARROLLO Y RESULTADOS

Luego de definir la descripción, justificación y objetivos del proyecto, se realizaron los estudios del proyecto en el orden que dispone la estructura OFFSET. A continuación, se relatan los resultados de cada estudio.

A. Estudio de mercado

1) Demanda:

Existe una creciente necesidad de continuar la investigación en factores humanos, fisiología y neuropsicología, enfocada en el ámbito aéreo y espacial dentro de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Este interés surge en respuesta al avance global en temas espaciales y al establecimiento de cuatro centros de investigación estratégicamente ubicados en Colombia para fomentar este desarrollo. El Centro de Investigación Aeroespacial en Ciencias (CIAEC) lidera la investigación en factores humanos, ingeniería para ambientes extremos y misiones análogas, dentro del Programa Espacial de la FAC. Este centro ha llevado a cabo proyectos pioneros que han contribuido al diseño de la hoja de ruta espacial de la FAC, promoviendo la consolidación del primer astronauta FAC en la Proyección Morfológica de la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial 2042 (EDAES 2042), y fortaleciendo la capacidad de la FAC en la planificación y ejecución de misiones análogas simuladas [7].

Colombia está avanzando en el sector espacial, apoyada por varios ministerios que respaldan la investigación espacial. Un ejemplo es la participación de la ministra de Ciencia, Tecnología e Innovación en la Semana Europea del Espacio 2023, donde se estrecharon lazos de cooperación geopolítica con Europa en esta materia. Asimismo, universidades y organizaciones, como la Fundación Cydonia, investigan aspectos como el primer hábitat de misiones análogas de exploración espacial en Colombia (HAdEES-C), destinado a realizar misiones de aislamiento y confinamiento, medición de variables fisiológicas y robótica de exploración. El fortalecimiento de la infraestructura a través de la FAC contribuirá al avance de proyectos espaciales y a la consecución de los objetivos establecidos en la EDAES 2042.

A nivel mundial, la industria espacial recibe importantes inversiones. Por ejemplo, para 2024, la NASA destinó 153.5 millones de dólares a la investigación en factores humanos, mientras que la Agencia Espacial Europea (ESA) asignó 873.8 millones de euros, equivalente al 11.2 % de su presupuesto, a su programa "Human and Space Exploration", que se centra en el rendimiento

humano en el espacio. Las principales actividades de este programa incluyen la selección, formación y apoyo a astronautas, así como el estudio del comportamiento humano en el espacio.

En Latinoamérica, aunque la demanda es baja, existe un creciente interés en la preparación y entrenamiento de astronautas. Ejemplos incluyen el astronauta ecuatoriano Ronnie Nader, formado en el programa ASA/T de Roscosmos, y la creación de un hábitat en Brasil para simular condiciones marcianas y entrenar aspirantes a astronautas en Rio Grande del Norte.

Colombia está consolidando una cultura espacial, impulsada por la investigación científica. En este contexto, algunos aliados estratégicos para futuras alianzas y proyectos conjuntos incluyen:

- Universidad Nacional de Colombia: Especialidad en Medicina Aeroespacial y maestría en fisiología, orientada al estudio e investigación científica en factores humanos en el ámbito espacial.
- Fundación Universidad Sanitas: Programas de medicina y eventos científicos enfocados en la salud espacial.
- Fundación Cydonia: Operadores del hábitat análogo HAdEES-C, dedicados a la investigación en aislamiento y confinamiento.
- Observatorio Astronómico Nacional de Colombia: Fundador de AstroCO, primer observatorio astronómico en América, actualmente liderando un proyecto para llevar un rover de exploración al lado oscuro de la luna, específicamente al cráter Julio Garavito.
- Comunidad de Astrónomos de Colombia (AstroCO): Nodo asociado a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que une a astrónomos, astrofísicos y cosmólogos de todo el país.
- Instituciones de Educación Superior: Instituciones con programas y líneas de investigación en fisiología humana, medicina aeroespacial, ciencia de materiales, y ciencias del espacio.

2) Oferta

La Dirección de Medicina Aeroespacial de la FAC cuenta con laboratorios especializados para investigar factores humanos, entre los cuales destacan el desorientador espacial y la cámara de altitud. Además, varias universidades en Colombia disponen de laboratorios básicos orientados al estudio del cuerpo humano en entornos espaciales.

La Fundación Cydonia, a través de su hábitat HAdEES-C, ofrece servicios para la realización de misiones análogas simuladas, incluyendo aislamiento y confinamiento. Estas instalaciones permiten a los interesados en la investigación espacial y en los vuelos espaciales llevar a cabo estudios en condiciones controladas, abordando aspectos como el comportamiento humano en aislamiento, robótica de exploración y experimentos con cultivos.

En el contexto latinoamericano, Brasil se destaca con su hábitat en Rio Grande del Norte, que simula condiciones marcianas para el entrenamiento de candidatos a astronautas. Asimismo, la Universidad PUCRS en Brasil ha creado el primer centro académico y de investigación en Ciencias de la Vida Espacial en América Latina, conocido como MicroG.

A nivel internacional, diversas organizaciones privadas ofrecen servicios de investigación aeroespacial y formación de astronautas. Entre ellas, destacan:

- Blue Abyss en el Reino Unido, el primer centro comercial para el entrenamiento en investigación espacial.
- El Centro de Entrenamiento de Astronautas Análogos en Polonia, especializado en simulaciones espaciales.
- El futuro Centro de Entrenamiento de Virgin Galactic en Nuevo México, dedicado a la formación de astronautas.

Estas instalaciones están equipadas con tecnología avanzada, como piscinas de flotabilidad, centrífugas, cámaras hipobáricas y desorientadores.

B. Estudio técnico

1) Conceptualización de laboratorios:

Con base en el análisis obtenido al realizar el estudio de mercado, se optó por incluir 5 laboratorios: laboratorio de microgravedad, laboratorio de orientación espacial, laboratorio de biología, laboratorio de electrónica y laboratorio de robótica.

a) Laboratorio de microgravedad:

Descripción:

El Laboratorio de Microgravedad del Centro de Investigación Aeroespacial en Ciencias de la FAC será una instalación dedicada tanto a la investigación científica como al entrenamiento en condiciones de microgravedad y gravedad parcial. Permitirá estudios biomédicos sobre la respuesta del cuerpo humano en microgravedad, incluyendo salud ósea, atrofia muscular y cambios

cardiovasculares, así como investigaciones en ciencias físicas y materiales, como física de fluidos y ciencia de materiales. Además, será clave para entrenar astronautas, simulando condiciones espaciales y desarrollando técnicas de supervivencia, lo que mejorará la seguridad y eficacia en misiones espaciales [29].

Objetivos:

- Investigar el efecto de largas exposiciones a la microgravedad y gravedad parcial en la masa ósea, masa muscular, sistema cardiovascular y en las funciones neurológicas del cuerpo humano.
- Familiarizar a los astronautas frente a las condiciones que enfrentarán en misiones espaciales prolongadas, adaptándose a los efectos de la microgravedad y gravedad parcial en el cuerpo humano.
- Simular actividades extra vehiculares (EVA) y actividades ordinarias en un entorno controlado.
- Diseñar y comprobar medidas de mitigación para los efectos de la microgravedad en la salud humana, incluyendo protocolos de ejercicio físico, terapias nutricionales, y tecnologías como trajes espaciales y dispositivos de estimulación neuromuscular.
- Permitir el desarrollo de programas de colaboración internacional en la investigación fisiológica y entrenamiento con entornos de microgravedad y gravedad parcial.

Justificación

El laboratorio de microgravedad de la FAC mejorará las capacidades operacionales y de investigación aeroespacial en Colombia, ofreciendo un entorno controlado para entrenar a personal y astronautas en condiciones de microgravedad. Esto permitirá desarrollar técnicas cruciales para misiones espaciales y de defensa, posicionando al país a la vanguardia de operaciones aeroespaciales. Además, la investigación en este laboratorio impulsará avances tecnológicos en áreas como materiales compuestos, sistemas de soporte vital, y reciclaje, con aplicaciones tanto en misiones espaciales como en industrias en la Tierra, incluyendo la automotriz, la construcción y el sector médico.

La creación de este laboratorio representa una inversión estratégica para Colombia, fortaleciendo su liderazgo regional en tecnología aeroespacial y fomentando el desarrollo de nuevas industrias. Además, atraerá talento científico y tecnológico, impulsando la innovación y el

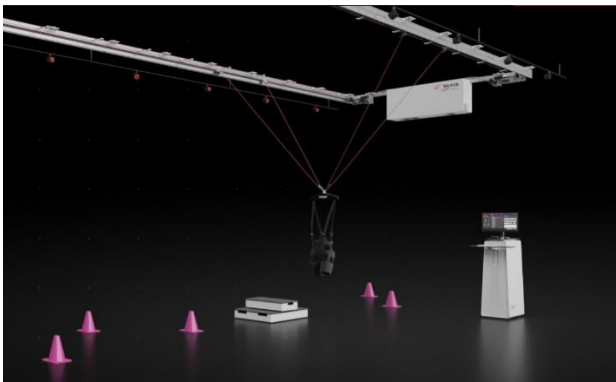
crecimiento económico del país. Con estas capacidades, Colombia estará mejor preparada para participar en futuras misiones espaciales y aprovechar las oportunidades emergentes en la exploración y explotación de recursos en el espacio, consolidándose como un actor competitivo en el ámbito aeroespacial global.

Dispositivos

- Sistema de soporte de peso corporal:

Sistema compuesto de arneses para soportar el peso corporal y así permitir la simulación de gravedad parcial o microgravedad. El objetivo de este equipo es proporcionar un entorno de gravedad reducida simulado dentro de una zona interior para que los astronautas se muevan y/o el equipo se mueva como si estuvieran en un campo de gravedad diferente. De este modo, el personal es entrenado para realizar acciones en un ambiente espacial o extraterrestre simulado, y se estudia el efecto fisiológico en el cuerpo humano de la permanencia prolongada dentro de estos ambientes.

De este tipo de sistema se seleccionaron dos dispositivos: RYSEN 3D (Figura 1.a) [30] que consiste en un dispositivo de movimiento libre que permite estudiar el sistema vestibular y propioceptivo a través de la locomoción; y el CAREN (Figura 1.b) [31], que consiste en un dispositivo de movimiento restringido donde se estudian los sistemas humanos a través de estímulos externos. Ambos dispositivos pertenecen a la empresa MOTTEK. Se escogieron estos 2 sistemas porque la empresa MOTTEK medical es líder en el mercado de soportes verticales para la investigación científica y tratamiento médico.



a)



b)

Figura 1: Dispositivos de soporte de peso corporal. a) RYSEN y b) CAREN.

- Centrífuga humana:

Las centrífugas humanas son dispositivos que permiten simular aceleraciones mayores a la aceleración gravitacional mediante la rotación de un brazo robótico impulsado generalmente por un motor eléctrico.

Se usan para entrenar la adaptabilidad del corazón y las funciones vestibulares para superar el sobrepeso por la aceleración de la gravedad del lanzamiento de cohetes y prevenir el G-LOC y/o A-LOC. Como proyecto de experiencia científica popular, el equipo se utiliza en escenarios donde la gente común y corriente puede experimentar o desafiar el entrenamiento de los astronautas.

Se seleccionó la centrífuga humana de brazo corto (SAHC) [32] puesto que tiene un tamaño que cumple con los requerimientos del edificio. Además, está en un rango intermedio y útil de valores de aceleración, pero contando con alta tecnología y un precio asequible. Este cuenta con un radio de 4 metros y una aceleración centrípeta máxima de 6g. El dispositivo se observa en la Figura 2.

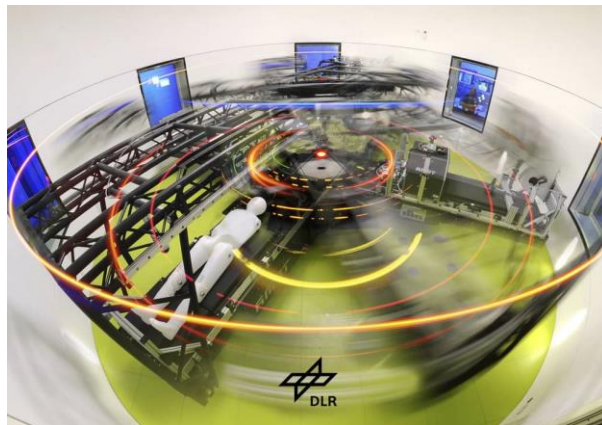


Figura 2: Centrífuga de brazo corto (SAHC) de la empresa AMST.

- Sistema de vuelo parabólico:

Permiten simular periodos cortos de caída libre alternados con fases de alta gravedad, brindando una experiencia única y auténtica de ingravidez sin necesidad de salir de la atmósfera terrestre. Esta capacidad resulta esencial para explorar y mitigar los efectos fisiológicos y neurovestibulares asociados con los vuelos espaciales humanos, así como para investigar factores humanos, locomoción y procedimientos médicos en un entorno de microgravedad.

En el marco del proyecto destinado a investigar la respuesta del sistema nervioso autónomo durante transiciones a hipergravedad en pilotos y astronautas análogos de la FAC [33] se seleccionó la aeronave T-6C Texan II (Figura 3). Esta aeronave de ala baja, diseñado con rasgos

aerodinámicos avanzados, ofrece una alta capacidad de maniobra tanto a bajas como a altas velocidades, logrando rangos fuerzas G entre -3.5 y 7.



Figura 3: T-6C TEXAN II, aeronave para simulación de fuerzas G y microgravedad.

b) Laboratorio de orientación espacial:

Descripción

Un laboratorio de desorientación espacial se enfoca en explicar y solucionar problemas prácticos en las áreas de aeronáutica, astronáutica y en poblaciones clínicas. Los temas que se tratan incluyen la adaptación sensomotora, el mareo por movimiento, la percepción de la orientación corporal humana, y los efectos de los diferentes entornos de fuerza en el control del movimiento, la postura y el equilibrio [34]. Estos laboratorios están diseñados para impulsar la creación de un modelo predictivo de la orientación vestibular humana, así como del control neural de la postura y el movimiento [35].

Además, se suelen utilizar para entrenamiento y capacitación de personal, permitiendo que el personal pueda experimentar entornos con condiciones que se pueden presentar en el espacio o en vuelo. De esta forma, se prepara al personal para ejecutar sus labores y seguir protocolos en respuesta a condiciones extremas para el cuerpo humano.

Objetivos:

- Realizar experimentos que examinen cómo reaccionan los sistemas humanos de la orientación y el equilibrio ante estímulos externos del ambiente espacial
- Investigar contramedidas mecánicas y/o tecnológicas para evitar la desorientación en ciertas condiciones del ambiente espacial.

- Acondicionar al personal de la institución para afrontar entornos de desorientación espacial.

Justificación:

El establecimiento de un laboratorio de desorientación espacial en la FAC potenciará las capacidades científicas y tecnológicas de la institución, proporcionando un entorno especializado para investigar y desarrollar soluciones que mitiguen los efectos de la desorientación espacial. Esto es crucial para la seguridad y el rendimiento en misiones aéreas y espaciales, beneficiando tanto a pilotos como a astronautas. La investigación generará avances en neurociencia, el sistema sensoriomotor y el vestibular, con aplicaciones clínicas en el tratamiento de trastornos del equilibrio y la orientación, como el vértigo [36].

Los síntomas de la desorientación espacial, como mareos, vértigo y dificultades para concentrarse afectan el rendimiento y la salud de los astronautas y pilotos. Por ello, es esencial un entrenamiento especializado. A nivel internacional, laboratorios como los de la NASA ya trabajan en esta área, adaptando a los astronautas y pilotos a las condiciones extremas del vuelo espacial.

Para Colombia, la creación de este laboratorio impulsará las ciencias aeroespaciales y médicas, fomentará la innovación y consolidará al país como líder regional. A pesar de contar con centros avanzados de investigación, estos no abordan específicamente la desorientación espacial, por lo que el laboratorio en la FAC fortalecerá las capacidades científicas y tecnológicas del país.

Dispositivos:

- Entrenadores de desorientación espacial

Es un dispositivo único que puede orientar estática y dinámicamente a una persona en el espacio con gran precisión. La silla del sujeto está montada en un cardán de 2 ejes en una configuración de cabeceo, balanceo o guiñada, lo que permite inclinar al sujeto sobre cualquier eje virtual. Las pruebas con un desorientador permiten determinar rigurosamente qué movimientos de la cabeza, si los hay, ayudan a los astronautas a recuperar rápidamente su sentido del equilibrio. Los astronautas podrían adoptar protocolos específicos para ayudarlos a adaptarse rápidamente a los cambios gravitacionales durante el vuelo espacial [37].

Los entrenadores de desorientación espacial permiten a astronautas, pilotos y personal de seguridad practicar situaciones simuladas en un entorno seguro. Este entrenamiento mejora la toma de decisiones bajo estrés, ayuda a mantener la calma en momentos cruciales y reduce la posibilidad de errores. Además, facilita la investigación sobre el sistema vestibular y la respuesta del cuerpo

ante la falta de algunos sentidos. También se utilizan para desarrollar protocolos de emergencia y diseñar maniobras, contribuyendo al éxito de las misiones.

El GYRO IPT II (Figura 4) [38] Combina un hexápodo tradicional con un plato giratorio y modelos de movimiento de desorientación espacial especiales. Este es fabricado por la empresa ETC y se encuentra en posesión del centro de medicina aeroespacial CEMAE de la FAC. Para su uso por parte del CIAEC sería trasladado al laboratorio de orientación espacial.



Figura 4: Entrenador de desorientación espacial GYRO IPT II en el CEMAE.

- Silla de Barany:

La silla de Barany es un método utilizado para evaluar el sistema de equilibrio humano, eliminando referencias de orientación, excepto el sistema vestibular, mediante el uso de antifaces y auriculares con cancelación de ruido. Durante la rotación, los participantes ajustan un mango para indicar la dirección del giro. Practicar con esta silla ayuda al sistema de equilibrio a adaptarse a ambientes sin gravedad y aceleraciones inusuales, lo que facilita la adaptación de los astronautas en el espacio. Mientras giran, los participantes también realizan operaciones matemáticas, demostrando su capacidad cognitiva bajo estas condiciones [39].

Dentro de las sillas giratorias que hay en el mercado destaca la silla de Barany de la empresa AMST (Figura 5) [40], la cual tiene una buena relación entre la calidad y el precio de su producto. Esta alcanza una velocidad de hasta $180^\circ/s$ frente a otros dispositivos como la silla orión de interacoustics que logra una velocidad de $350^\circ/s$ pero triplica su valor.



Figura 5: Silla de Barany de la empresa AMST.

- Equipo de realidad virtual:

La realidad virtual (RV) emplea modelos y simulaciones por computadora para permitir a una persona interactuar con un entorno tridimensional (3-D) artificial o con otro tipo de entorno sensorial. Las aplicaciones de RV sumergen al usuario en un entorno generado por computadora que imita la realidad mediante dispositivos interactivos, como gafas, cascos, guantes o trajes corporales, que envían y reciben información [41] [42].

La realidad virtual se ha utilizado ampliamente para estudiar y mitigar el mareo por movimiento espacial (SMS) y la desorientación espacial (SD) en humanos [43]. El entrenamiento previo al vuelo con dispositivos de realidad virtual puede replicar aspectos de la microgravedad y ser una contramedida efectiva contra SMS y SD. Exponer a los sujetos a orientaciones virtuales similares a las del espacio antes del vuelo podría reducir la incidencia o gravedad de estos síntomas.

Además, la realidad virtual evalúa las funciones perceptivas y psicomotoras de los astronautas en el espacio y es utilizada para entrenar en habilidades críticas para la seguridad, como maniobras en la superficie lunar o manejo del estrés. Ofrece una alternativa más económica y segura que la simulación física de entornos espaciales, ya que minimiza riesgos y permite personalizar escenarios de entrenamiento o investigación. En los últimos años, se ha convertido en una opción rentable frente a la posturografía dinámica por su bajo costo, portabilidad y capacidad de inmersión.

Dentro de las opciones de dispositivos de realidad virtual se consideraron principalmente las gafas Meta quest 3 y las gafas Valve Index [44]. A pesar de que las Valve Index presentan una

mayor capacidad de inmersión gracias al hardware que tiene, se escogen las gafas Meta Quest 3 (Figura 6) debido a la mayor calidad visual y tecnológica con un menor precio.



Figura 6: Dispositivo de realidad virtual Meta Quest 3.

- Posturografo dinámico computarizado (CDP):

La posturografía dinámica evalúa cuantitativamente la capacidad de una persona para mantener el equilibrio al alterar el entorno visual y la plataforma en la que está de pie. Los pacientes, usando un arnés, son sometidos a seis escenarios que desafían los sistemas visual, vestibular y somatosensorial, lo que permite medir su control postural. La plataforma de fuerza registra los movimientos del centro de masa mientras se modifican señales visuales y somatosensoriales [45].

La prueba puede realizarse con los ojos abiertos o cerrados y con la plataforma o el entorno visual fijos o en balanceo, eliminando referencias precisas que normalmente ayudan a mantener el equilibrio. También se puede evaluar cualitativamente, pidiendo al paciente que se mantenga firme sobre superficies planas o almohadillas de espuma para aislar el sistema vestibular del sistema visual y somatosensorial.

Se seleccionó el sistema CDP/IVR™ (Figura 7) [46] de la empresa BERTEC dado que esta presenta una pantalla de realidad virtual que abarca todo el campo visual, un diseño más ergonómico y una plataforma y sistema de arneses avanzado.



Figura 7: Equipo CDP/IVR de BERTEC.

- Gafas de videonistagmografía:

Son unas gafas sin lentes que contienen dos cámaras de video capaces de registrar los movimientos oculares en la oscuridad mediante un sistema de infrarrojos y mostrarlos en un monitor. Además, es capaz de proyectar estímulos luminosos para la prueba de videonistagmografía (VNG) [47].

Uno de los principales objetivos de la VNG es detectar y medir la presencia de nistagmo, un movimiento ocular rítmico, repetitivo e involuntario. Estos movimientos oculares pueden ser de lado a lado (nistagmo horizontal), de arriba a abajo (nistagmo vertical) o en círculos (nistagmo torsional) [48].

Se seleccionó el equipo VisualEyes 525 [49] de la empresa interacoustics debido a que es uno de los equipos más avanzados en el mercado para la prueba de videonistagmografía que permite una gran cantidad de pruebas secundarias y ejercicios oculares.



Figura 8: Gafas de videonistagmografía VisualEyes 525 de Interacoustics.

c) Laboratorio de biología:

Descripción:

Este es el laboratorio dedicado al trabajo con material biológico, abarcando desde el nivel celular hasta órganos y sistemas, mediante análisis experimentales. El objetivo es identificar la estructura de los seres vivos y los compuestos que los forman. Además, se realizan mediciones y observaciones para obtener conclusiones de los experimentos.

Objetivos:

- Participar en simulaciones integradas que combinen el uso de sistemas de cultivo hidropónico y tecnologías de telemedicina para gestionar la salud y la nutrición de los astronautas en misiones de larga duración.
- Llevar a cabo investigaciones para evaluar cómo las condiciones espaciales afectan la salud humana a nivel celular y fisiológico, utilizando datos recolectados mediante telemedicina avanzada y sistemas biológicos monitorizados continuamente.
- Trabajar en colaboración con expertos en biología, medicina, ingeniería y telemedicina para desarrollar estrategias integradas de monitoreo, diagnóstico y tratamiento que mejoren la salud de los astronautas y optimicen la sostenibilidad de las misiones.

Justificación:

El establecimiento de un laboratorio de biología en la FAC fortalecerá significativamente las capacidades científicas y de investigación de Colombia, permitiendo desarrollar técnicas esenciales para asegurar la salud y eficiencia en misiones espaciales. Este laboratorio impulsará avances en áreas como la medicina regenerativa, biotecnología, microbiología y fisiología humana, con aplicaciones tanto en el espacio como en la Tierra, mejorando la salud de la población con innovaciones terapéuticas.

A nivel internacional, laboratorios como el de la NASA en el Ames Research Center investigan cómo los sistemas biológicos responden a condiciones espaciales, proporcionando contramedidas para proteger la salud de los astronautas. La creación de un laboratorio de biología espacial en Colombia posicionará al país como líder regional en ciencia aeroespacial y biotecnología, atrayendo talento, fomentando la innovación y contribuyendo al desarrollo económico.

Dispositivos:

Con base en los dispositivos que se incluyen en laboratorios clínicos y de ciencias biológicas, se seleccionaron los siguientes equipos:

- Citómetro de flujo:

La citometría de flujo es un método rápido, objetivo y cuantitativo para analizar células, núcleos, cromosomas, mitocondrias y otras partículas en suspensión. Esta tecnología se basa en un principio sencillo: hacer pasar células o partículas en suspensión, alineadas una por una, frente a un haz de luz. La información obtenida es principalmente del fenotipo, complejidad y tamaño de las estructuras microscópicas [50]. Es un equipo que destaca por su alta tecnología, sencillez y velocidad para identificar microorganismos dentro de una muestra.

Se seleccionó un citómetro de 2 láseres y 9 canales de la empresa ThermoFisher [51] (Figura 9) debido a que cumple con todas las funciones necesarias y a que cuenta con un distribuidor colombiano que facilita el proceso de adquisición, mantenimiento, apoyo logístico y manejo del dispositivo a un precio, calidad y volumen de producto por encima de otras opciones en el mercado global.



Figura 9: Citómetro de flujo Attune NxT de Thermo Fisher Scientific.

- Unidad de electroforesis:

La técnica de electroforesis se utiliza para separar moléculas de ADN, ARN o proteínas utilizando una corriente eléctrica que mueve estas moléculas a través de un gel de agarosa o poliacrilamida u otro tipo de matriz, según su peso molecular, haciendo que cada una se mueva a una velocidad y quede en distinta posición del gel, pudiéndose identificar claramente [52].

A pesar de que existen varias opciones en el mercado dependiendo del tipo de gel y mecanismo de electroforesis, la cámara de electroforesis horizontal o en gel de agarosa es el método más utilizado para analizar fragmentos de ADN generados por enzimas de restricción, PRC, etc. Por lo tanto, se selecciona la cámara de electroforesis de la empresa Tanon [53] (Figura 10) debido a que cuenta con un distribuidor colombiano y debido a su volumen reducido permitiendo igualmente realizar un proceso fácil, rápido y confiable.

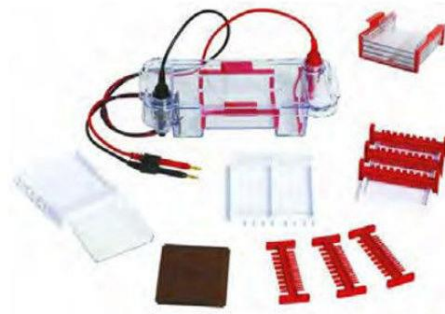


Figura 10: Cámara para electroforesis horizontal en gel de Tanon.

- Analizador automatizado:

Un analizador automático es un robot de laboratorio clínico diseñado para analizar diferentes sustancias químicas y otras características en un número de muestras biológicas, con una asistencia humana mínima. Estos sistemas están diseñados para realizar pruebas bioquímicas y hematológicas de manera rápida y precisa. Pueden medir parámetros como la glucosa, los lípidos, los electrolitos y los conteos celulares, lo que proporciona información crucial para el diagnóstico y el seguimiento de la salud [54].

Puesto que el fin del analizador automatizado es poder realizar un análisis bioquímico a los fluidos determinando parámetros como la glucosa, los lípidos y los electrolitos, se selecciona el analizador de electrolitos como el dispositivo de análisis bioquímico del laboratorio. De este tipo, se comercializa el analizador químico de la marca Mindray y de referencia Bs-120 [55] (Figura

11), el cual destaca por su autonomía, su capacidad de hacer hasta 300 test por hora, refrigeración de 24 horas, robustez y flexibilidad en los análisis.



Figura 11: Analizador de electrolitos BS-120 de Mindray.

- Máquina de PCR:

Un termociclador, también conocido como máquina de PCR o reciclador térmico de PCR es un aparato usado en biología molecular que permite realizar los ciclos de temperaturas necesarios para una reacción en cadena de la polimerasa de amplificación de ADN o para reacciones de secuencia con el método de Sanger. De esta forma permite amplificar segmentos de ADN para su posterior uso y análisis [56]. Este equipo es de suma importancia en investigación científica ya que se puede aplicar para la detección de bacterias, virus, genotipado, diagnóstico genético, secuenciación y otros tipos de análisis.

Entre los diferentes tipos de termocicladores destacan los termocicladores de gradiente debido a la capacidad de control de gradientes de temperatura, pudiendo realizar procesos o técnicas de amplificación de una manera óptima. Es por esto, que se selecciona el Termociclador PCR Con Gradiente TC-1000G [57] (Figura 12) de la empresa Dlab, gracias a que este es uno de los dispositivos de más alta tecnología que se maneja en el mercado con un control preciso y uniforme de la temperatura y de los ciclos de calentamiento y enfriamiento. Cuenta, además, con un distribuidor colombiano con sede en la ciudad de Bogotá.



Figura 12: Termociclador PCR con gradiente TC-1000G de Dlab.

- Espectrómetro de masas:

La espectrometría de masas es una técnica microanalítica utilizada para identificar compuestos no conocidos, medir la cantidad de compuestos ya identificados, y analizar la estructura y propiedades químicas de diversas moléculas. La espectrometría de masas es una técnica muy utilizada para analizar una variedad de sustancias, como semiconductores, biosensores, polímeros, fármacos, contaminantes, perfumes y otros analitos que puedan vaporizarse e ionizarse sin descomponerse. Esta técnica destaca por ser rápida y proporcionar resultados tanto cualitativos como cuantitativos en diversos tipos de moléculas.

El espectrómetro de masas de tiempo de vuelo acoplado a MALDI (MALDI-TOF MS) se utiliza para secuenciar proteínas, mapear biomoléculas en tejidos, identificar microorganismos y analizar miles de ensayos bioquímicos en un solo día. Se selecciona este tipo de espectrómetro de masas puesto que destaca por su capacidad de procesamiento rápido, gran escala y rango de estudio de compuestos biológicos. Se seleccionó el sistema biotyper microflex LT/SH MALDI-MS de la empresa BRUKER, por su accesibilidad y reconocimiento en el mercado.



Figura 13: Espectrómetro de masas MALDI-TOF de BRUKER.

d) Laboratorio de electrónica:

Descripción

El sub-laboratorio de Electrónica del Laboratorio Multipropósito está diseñado para apoyar el desarrollo e implementación de proyectos tecnológicos avanzados en áreas como la ingeniería mecánica, mecatrónica, electrónica y biomédica. Su objetivo principal es proporcionar un entorno de investigación y desarrollo que facilite la capacitación y preparación de astronautas colombianos para misiones espaciales. En este sub-laboratorio, se desarrollarán dispositivos innovadores y se llevarán a cabo proyectos como la creación de trajes espaciales análogos, misiones simuladas en Marte y la Luna, y entrenamientos para astronautas análogos. Además, se evaluará la ventaja fisiológica de la altura intermedia para aplicaciones aeronáuticas y espaciales, y se diseñarán dispositivos de simulación de microgravedad y gravedad artificial. Este entorno fomentará la innovación y la colaboración interdisciplinaria, posicionando a Colombia como un líder en la exploración espacial y la tecnología aeroespacial.

Objetivos:

- Crear y desarrollar dispositivos electrónicos avanzados, como sensores, actuadores y sistemas de comunicación, que sean cruciales para misiones espaciales y aplicaciones de defensa aeroespacial.
- Promover la innovación y el trabajo colaborativo entre diferentes disciplinas tecnológicas y científicas para desarrollar soluciones novedosas en electrónica y

sistemas aeroespaciales, fortaleciendo la capacidad tecnológica y de defensa del país.

- Realizar simulaciones y pruebas rigurosas de dispositivos y sistemas en condiciones controladas que emulen entornos espaciales y de defensa, asegurando su funcionalidad y fiabilidad en misiones reales.
- Proporcionar un entorno educativo y práctico donde los ingenieros y técnicos puedan adquirir habilidades avanzadas en el diseño, desarrollo y prueba de sistemas electrónicos, preparándolos para contribuir eficazmente en misiones de la FAC y proyectos espaciales.

Justificación:

La creación de un sub-laboratorio de Electrónica en el Laboratorio Multipropósito de la FAC es crucial para posicionar a Colombia en la vanguardia de la tecnología aeroespacial y de defensa en la región andina. Países como Brasil y Chile han desarrollado centros similares con éxito, impulsando innovaciones en comunicación, control y simulación, clave para capacidades espaciales y de defensa. Este sub-laboratorio permitirá a Colombia desarrollar sistemas avanzados como satélites y tecnologías de navegación, esenciales para misiones espaciales y aplicaciones militares.

A nivel mundial, laboratorios de electrónica avanzada, como los de la NASA y el CNES en Francia, han sido fundamentales en la creación de tecnologías espaciales y sistemas de defensa precisos. El sub-laboratorio de Colombia llenará una brecha tecnológica, fomentando la innovación y colaboraciones interdisciplinarias, beneficiando tanto a las Fuerzas Armadas como al país. Esta inversión estratégica elevará el perfil tecnológico de Colombia, consolidándola como un líder en la exploración espacial y la defensa en América Latina.

Dispositivos:

- Osciloscopio:

El osciloscopio es un instrumento de medición esencial para la visualización y análisis de señales eléctricas. La capacidad de analizar señales en tiempo real es crucial para validar el rendimiento de sistemas de comunicación, control y simulación, que son vitales en misiones de la FAC y en la preparación de astronautas colombianos.

Con una banda de frecuencia de 100 MHz y una velocidad de muestreo de 1 GS/s, el osciloscopio digital Tektronix TDS1012B ofrece una alta precisión y una resolución adecuada para

capturar y analizar fenómenos eléctricos en circuitos y dispositivos electrónicos. Además cuenta con buena durabilidad, simplicidad y soporte.

- **Generador de funciones:**

Es un instrumento versátil utilizado para generar señales de forma precisa. El generador de funciones es esencial para la validación de circuitos y sistemas que se desarrollen. Permite simular condiciones de operación reales y evaluar el rendimiento de los sistemas diseñados para misiones espaciales y aplicaciones de defensa.

El generador de funciones Tektronix AFG 3022B es un instrumento con un rango de frecuencia de 1 μ Hz a 25 MHz y múltiples formas de onda disponibles, este generador es ideal para pruebas de componentes electrónicos y circuitos. Su versatilidad, soporte y capacidades, le permiten destacar frente a otros generadores de funciones del mercado.

- **Fuente de alimentación:**

Permite la alimentación precisa y estable de los dispositivos electrónicos desarrollados para aplicaciones aeroespaciales y de defensa. Su capacidad de monitoreo en tiempo real y la opción de programación automática facilitan la evaluación y validación de sistemas críticos, asegurando que estos operen dentro de los parámetros especificados, lo cual es crucial en misiones militares y aeroespaciales.

La Rigol DP832A es una fuente de alimentación programable de alta precisión con tres canales de salida, que ofrece una capacidad total de hasta 195 W. Esta fuente permite ajustar y monitorizar de manera precisa el voltaje y la corriente, con una resolución de hasta 1 mV/1 mA, lo que la hace ideal para la alimentación controlada y segura de dispositivos electrónicos y para realizar pruebas de estabilidad en circuitos bajo diferentes condiciones de carga.

- **Multímetro:**

El multímetro es un dispositivo diseñado para mediciones de voltaje, corriente, resistencia, capacitancia, frecuencia y temperatura. Es fundamental para la calibración y prueba de equipos electrónicos destinados a misiones críticas en defensa y aeroespaciales. Su capacidad de medición precisa garantiza que los sistemas electrónicos cumplan con los estándares requeridos para operar en condiciones extremas.

El Rigol DM3058E es un multímetro de banco de alta precisión ofrece una exactitud excepcional en las mediciones con una resolución de 5.5 dígitos, siendo ideal para aplicaciones que requieren un control riguroso de los parámetros eléctricos. Además, cuenta con funciones

avanzadas como registros de datos y conectividad remota, lo que facilita su integración en sistemas de prueba automatizados.

- **Impresora 3D:**

Es un dispositivo que permite la creación rápida y precisa de prototipos de dispositivos y componentes electrónicos. Esto es crucial en el desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas para aplicaciones aeroespaciales, donde la capacidad de iterar rápidamente en el diseño y producción de piezas puede ser un factor decisivo.

La UltiMaker S5 Pro Bundle es una impresora 3D de alta gama que ofrece un volumen de construcción grande, precisión y fiabilidad para la fabricación de prototipos y piezas funcionales. Esta impresora incluye una serie de características avanzadas como el Air Manager, que controla el ambiente de impresión para mejorar la calidad de las piezas, y el Material Station, que permite el cambio automático de materiales, además de soportar una amplia gama de filamentos.

e) Laboratorio de robótica:

Descripción:

El Laboratorio de Robótica del Centro de Investigación Aeroespacial en Ciencias de la FAC se propone como una instalación avanzada dedicada al desarrollo, análisis y aplicación de sistemas robóticos tanto en entornos terrestres como aeroespaciales. Este laboratorio está diseñado para fomentar la innovación en la creación de robots y automatismos que puedan operar en condiciones extremas, desde la hostilidad del espacio exterior hasta los climas gélidos de la Antártida.

El propósito principal de este laboratorio es proporcionar un entorno especializado donde científicos e ingenieros puedan diseñar, construir y probar robots de última generación. Estos robots estarán destinados a misiones científicas y militares, lo que incluye la exploración de terrenos inaccesibles para el ser humano, la realización de experimentos en ambientes controlados y la automatización de procesos complejos.

Objetivos:

- Desarrollar robots y sistemas autónomos capaces de operar en ambientes hostiles, tales como el espacio exterior, regiones polares o zonas de conflicto.
- Diseñar e implementar sistemas de automatización que mejoren la eficiencia operativa en misiones científicas y militares, reduciendo el riesgo para el personal humano.

- Realizar investigaciones avanzadas en la interacción hombre-robot, enfocándose en el desarrollo de interfaces intuitivas que faciliten el control y la operación de robots en entornos dinámicos.
- Probar y validar nuevos materiales y tecnologías de fabricación aditiva para la construcción de componentes robóticos resistentes y ligeros. \item Fomentar la cooperación internacional en proyectos de investigación robótica, posicionando a Colombia como un líder regional en tecnología aeroespacial y de defensa.

Justificación:

La implementación de un Laboratorio de Robótica en la FAC marcará un avance significativo para Colombia en áreas científicas y militares. La robótica ofrece mejoras en eficiencia, seguridad y alcance, especialmente en entornos peligrosos o inaccesibles, como la Antártida o selvas remotas. Los robots desarrollados podrán realizar tareas y recolección de datos en áreas de alto riesgo, y en el contexto colombiano, se usarán en misiones de rescate, vigilancia y exploración en condiciones adversas.

En defensa, la robótica modernizará las fuerzas armadas mediante sistemas autónomos para vigilancia y apoyo logístico, reduciendo el riesgo para el personal militar. Además, fortalecerá la competitividad de Colombia en el mercado global de tecnologías avanzadas. Al establecer este laboratorio, Colombia atraerá talento, fomentará la innovación y desarrollará tecnologías con aplicaciones en la ciencia, defensa y la automatización industrial, mejorando la eficiencia y seguridad en diversas operaciones.

Dispositivos:

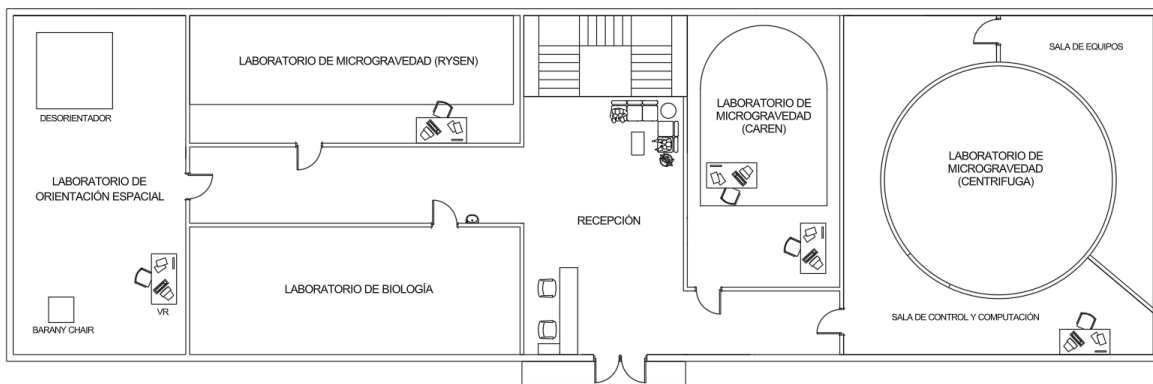
- Computador: Uso de software de automatización y aplicaciones de inteligencia artificial.
- Maquina laser: permite cortar láminas de material para se utilizadas en la construcción de dispositivos complejos.
- Soldadura de punto y arco: permite ensamblar estructuras metálicas de forma rápida y fácil para el diseño de estructuras.
- Servos de alto torque: control de movimiento de sistemas robóticos.
- Sensores: dispositivos que permiten medir variables del entorno. Para aplicaciones aeroespaciales, las variables medibles se centran en posición, orientación y visión.

Entre los sensores seleccionados se encuentran cámaras térmicas, unidades de medición inercial, sensores de navegación y mapeo, entre otros.

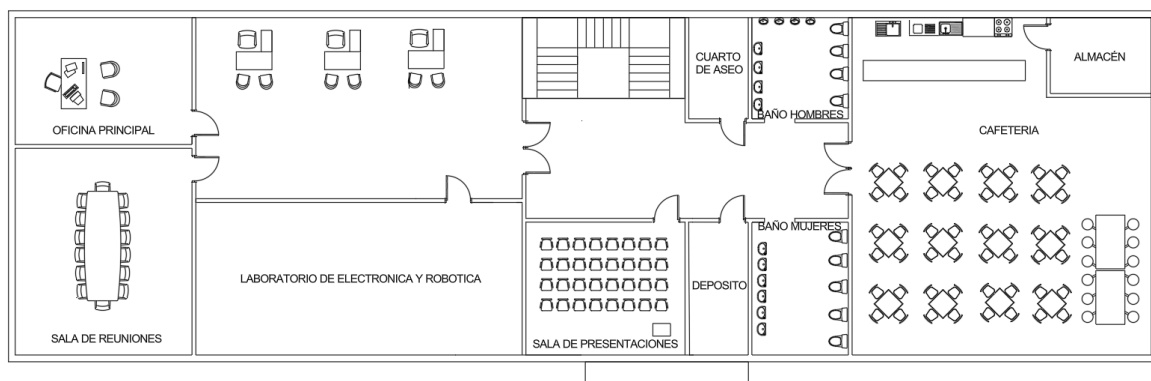
- Módulos de comunicación: equipos electrónicos que permiten enviar y/o recibir señales con información y de esta forma controlar y automatizar dispositivos. Entre estos se encuentran radios de comunicación como ICOM IC-M73, TYT TH9800D y antenas de alta ganancia.
- Insumos: Material para la impresora 3D (filamento PETG, PLA), baterías de litio, material de construcción, entre otros.

2) Tamaño y disposición de la planta:

Para incrementar las capacidades del centro en el ámbito espacial, FAC proyectó un área de construcción para infraestructura de 600 m², la cual estará dividida en oficinas administrativas, laboratorios de microgravedad, biología, electrónica, robótica y orientación espacial.



a)



b)

Figura 14: Esquema de disposición general de los laboratorios e instrumentos en el centro de investigación aeroespacial en ciencias. a) planta inferior. b) planta superior.

La primera planta incluye, de izquierda a derecha:

- Laboratorio de orientación espacial
- Laboratorio de biología.
- Laboratorio de microgravedad (RYSEN).
- Laboratorio de microgravedad (CAREN).
- Laboratorio de microgravedad (centrifuga).

Por otra parte, la planta superior incluye el laboratorio de electrónica y las zonas administrativas. De izquierda a derecha incluye:

- Sala de reuniones.
- Oficina principal.
- Laboratorio de electrónica y robótica.
- Sala de presentaciones.
- Deposito.
- Cuarto de aseo.
- Baño de mujeres.
- Baño de hombres.
- Cafetería.
- Almacén.

Tomando como restricciones las medidas proporcionadas por la institución, se dispusieron la mayoría de los laboratorios en la planta inferior para fines de seguridad en caso de existir un colapso o accidente. Debido al tamaño que requería la centrifuga humana, se inició el diseño del plano desde la centrifuga y los dispositivos del laboratorio de microgravedad y finalizando con el laboratorio de biología y electrónica. Por su parte, el laboratorio de electrónica se ubicó en la segunda planta debido a la falta de espacio en la primera planta y a que el riesgo de accidente es menor respecto al laboratorio de biología.

Los dispositivos de la centrifuga y el desorientador se ubicaron lo mas lejos posible uno del otro para evitar vibraciones mecánicas o una cadena de incidentes.

3) Ubicación:

Las actividades del proyecto se llevarán a cabo en Colombia, específicamente en la ciudad de Bogotá en el Comando Aéreo de Transporte Militar, en la dirección Av. calle 26 \#128-00.

La ubicación del complejo es un requisito determinado por la FAC puesto que la zona es administrada por la institución. Sin embargo, esta ubicación es un punto clave y estratégico para la

construcción de laboratorios aeroespaciales: su cercanía al aeropuerto y centralidad dentro de la capital facilitan el transporte e instalación de dispositivos que generalmente provienen de otras ciudades o países. Además facilita la conexión con personal interno y externo a la institución.

4) Área técnica:

Con el fin de garantizar la transferencia de conocimiento en el uso y el mantenimiento de los laboratorios y equipos requeridos para el entrenamiento y formación de astronautas FAC se propusieron los siguientes programas:

a) Desarrollo de programas de entrenamiento:

- Currículo y planes de estudio: Creación de un currículo que cubra las áreas de interés para el entrenamiento de astronautas con el fin de ofrecer módulos de entrenamiento específicos para distintas áreas, permitiendo a los participantes especializarse en disciplinas críticas para las misiones espaciales.
- Metodologías de entrenamiento: Implementación de metodologías avanzadas de entrenamiento, combinando instrucción teórica con prácticas intensivas en simuladores, vuelos parabólicos, y experimentos en laboratorios.
- Evaluación y certificación: Establecimiento de un sistema de evaluación continua que asegure que los participantes cumplan con los estándares internacionales para la certificación como astronautas o especialistas en misiones espaciales.

b) Investigación internacional:

- Colaboración internacional: Establecimiento de alianzas con agencias espaciales como NASA, ESA, y centros de investigación internacionales para compartir conocimientos, acceder a tecnologías avanzadas, y participar en proyectos conjuntos.
- Proyectos de investigación: Identificación de áreas clave de investigación, como la fisiología humana en microgravedad, la telemedicina en entornos remotos, y la biotecnología espacial, con el fin de contribuir al conocimiento global y desarrollar nuevas capacidades y contramedidas.

c) Planificación y control del proyecto:

- Cronograma de implementación: Desarrollo de un cronograma detallado que incluya las fases de diseño, construcción, instalación de equipos, y puesta en marcha, con hitos clave para el seguimiento del progreso.
- Control de calidad: Implementación de un sistema de control de calidad riguroso para asegurar que todas las instalaciones y equipos cumplan con los estándares internacionales.

d) Selección y capacitación del personal:

- Contratación de expertos: Reclutamiento de personal especializado en áreas clave, incluyendo ingenieros aeroespaciales, médicos aeroespaciales, biólogos, y técnicos en electrónica y robótica.
- Programas de capacitación: Desarrollo de programas de capacitación continua para el personal técnico y administrativo, enfocados en las últimas tecnologías y métodos de entrenamiento espacial.
- Plan de carrera: Establecimiento de un plan de carrera para el personal involucrado, con oportunidades de desarrollo profesional y acceso a formación avanzada en colaboración con instituciones internacionales.

e) Presupuesto y financiación:

- Asignación de recursos: Definición de un presupuesto detallado para cada fase del proyecto, desde la construcción hasta la operación continua del centro, asegurando la correcta asignación de recursos.
- Esquemas de financiación: Identificación de fuentes de financiamiento, incluyendo fondos del proyecto OFFSET, inversiones públicas y privadas, y posibles colaboraciones internacionales.
- Monitoreo de gastos: Implementación de sistemas de monitoreo financiero para asegurar la transparencia en el uso de los fondos y la eficiencia en la gestión de recursos.
- Auditorías regulares: Realización de auditorías internas y externas para garantizar el cumplimiento de las normativas financieras y asegurar la sostenibilidad del proyecto.

f) Gestión de suministros:

- Adquisición de equipos: Desarrollo de un plan para la adquisición de equipos y materiales necesarios para la operación del centro, garantizando la calidad y disponibilidad en tiempo.
- Almacenamiento y mantenimiento: Establecimiento de sistemas de almacenamiento y mantenimiento preventivo para asegurar la longevidad y el buen funcionamiento de todos los equipos y tecnologías.

g) Regulación normativa:

- Cumplimiento de estándares internacionales: Asegurar que todas las operaciones del centro cumplan con los estándares internacionales en cuanto a seguridad, salud, y medio ambiente, así como con las normativas nacionales.
- Licencias y permisos: Gestión de todas las licencias y permisos necesarios para la construcción y operación del centro de entrenamiento espacial.

h) Gestión de riesgos y seguridad:

- Planes de Contingencia: Desarrollo de planes de contingencia y protocolos de emergencia para abordar posibles riesgos técnicos, ambientales o de seguridad durante la operación del centro.
- Seguridad operacional: Implementación de medidas de seguridad rigurosas para proteger a los astronautas en entrenamiento, al personal, y a las instalaciones.

5) Área administrativa

El proyecto será liderado por el señor TE. César Alexis Gómez Durán, quien cumplirá el rol de Gerente Supervisor de la FAC y velará por el cumplimiento de las actividades propuestas para el proyecto.

Asimismo, el equipo administrativo estará compuesto por individuos con experiencia y formación académica en sus respectivas áreas, asegurando que el centro de entrenamiento espacial funcione de manera eficiente y eficaz. La estructura organizacional propuesta permitirá una coordinación efectiva entre las diferentes áreas del centro, asegurando que todos los aspectos técnicos, administrativos, legales y operacionales se manejen con el más alto nivel de profesionalismo y cumplimiento normativo.

La estructura organizacional estará compuesta mínimamente por:

a) Director del Centro de Entrenamiento Espacial:

- Formación: Ingeniería Aeroespacial o Ciencias de la Administración con especialización en gestión de proyectos tecnológicos o aeroespaciales.
- Responsabilidades: Liderar y supervisar todas las operaciones del centro, asegurando la alineación con los objetivos estratégicos de la FAC y la normativa del proyecto OFFSET. Este individuo debe tener experiencia en gestión de proyectos de gran escala y conocimientos en tecnología espacial.

b) Subdirector de operaciones técnicas:

- Formación: Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería Electrónica, o Ingeniería de Sistemas.
- Responsabilidades: Supervisar la implementación y el mantenimiento de las instalaciones técnicas, incluyendo simuladores, laboratorios y equipos de entrenamiento. Coordinar el desarrollo de programas de entrenamiento técnico y la gestión de tecnologías avanzadas.

c) Gerente de investigación y desarrollo (I+D):

- Formación: Médico aeroespacial o especialista en un campo relacionado con la investigación aeroespacial.
- Responsabilidades: Liderar los proyectos de investigación en el centro, gestionar colaboraciones con universidades y agencias espaciales internacionales, y supervisar el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos científicos aplicados al espacio.

d) Coordinador de entrenamiento y capacitación:

- Formación: Ciencias de la Educación con énfasis en entrenamiento Aeroespacial.
- Responsabilidades: Diseñar y coordinar los programas de formación para astronautas y personal técnico, asegurando que cumplan con los estándares internacionales y se adapten a las necesidades de las misiones espaciales.

e) Gerente de recursos humanos:

- Formación: Psicología organizacional, Administración de empresas con especialización en Gestión de recursos humanos, o Derecho laboral.
- Responsabilidades: Reclutamiento, selección y capacitación del personal. Gestionar el desarrollo profesional y las políticas de retención de talento, así como manejar las relaciones laborales y la cultura organizacional dentro del centro.

f) Gerente financiero:

- Formación: Contaduría pública, Economía, o Administración de empresas con especialización en Finanzas.
- Responsabilidades: Gestionar el presupuesto del centro, supervisar el control financiero y asegurar el cumplimiento de las normativas financieras. Elaborar informes financieros y coordinar la asignación de recursos bajo el esquema OFFSET.

g) Coordinador de logística y suministros:

- Formación: Ingeniería Industrial, Logística, o Administración de la cadena de suministro.
- Responsabilidades: Planificar y gestionar la adquisición, almacenamiento, y distribución de equipos y suministros. Asegurar que todos los materiales estén disponibles y en condiciones óptimas para las operaciones del centro.

h) Oficial de seguridad y gestión de riesgos:

- Formación: Ingeniería en Seguridad Industrial, Administración de riesgos, o Ciencias militares con especialización en Gestión de emergencias.
- Responsabilidades: Desarrollar e implementar protocolos de seguridad para el centro, incluyendo la gestión de riesgos operacionales y la respuesta a emergencias. Asegurar el cumplimiento de las normativas de seguridad y salud ocupacional.

i) Coordinador de cumplimiento normativo y legal:

- Formación: Derecho con especialización en Derecho aeronáutico, Derecho espacial, o Derecho internacional.
- Responsabilidades: Asegurar que el centro cumpla con todas las regulaciones locales e internacionales aplicables, gestionar licencias y permisos, y asesorar en cuestiones legales relacionadas con la operación del centro y las colaboraciones internacionales.

j) Coordinador de relaciones internacionales y colaboraciones:

- Formación: Relaciones internacionales o Ciencias políticas.

- Responsabilidades: Gestionar las relaciones con agencias espaciales, universidades y otros centros de investigación internacionales. Facilitar colaboraciones y proyectos conjuntos, y representar al centro en conferencias y foros internacionales.

k) Oficial de comunicación y relaciones pública:

- Formación: Comunicación social, Periodismo con especialización en Comunicación científica.
- Responsabilidades: Gestionar la comunicación interna y externa del centro, incluyendo la divulgación científica, las relaciones con los medios y la promoción de los logros y proyectos del centro. Desarrollar estrategias de comunicación para atraer nuevas colaboraciones y apoyo público.

l) Asistente administrativo:

- Formación: Administración de empresas, Secretaría ejecutiva, o un campo relacionado.
- Responsabilidades: Proveer soporte administrativo a los directivos del centro, gestionar la correspondencia, coordinar reuniones y eventos, y mantener los registros y archivos administrativos.

C. Estudio económico y financiero

El estudio económico tiene como objetivo proporcionar una visión detallada de los recursos financieros requeridos para la implementación y desarrollo del proyecto. Este análisis abarca una variedad de rubros, desde la adquisición de equipos especializados hasta la capacitación del personal involucrado, asegurando un enfoque integral que considera todas las necesidades operativas y de infraestructura.

TABLA 2
DISTRIBUCIÓN DE RUBROS Y ASIGNACIÓN DE EFECTIVO

No.	Rubro	Efectivo (COP)*
1	Personal Científico	\$1,347,466,920.00
2	Servicios Técnicos	\$10,000,000.00
4	Adquisición de Equipos	\$44,560,200,863.00
5	Materiales e Insumos	\$173,717,001.00
6	Adecuación de Infraestructura	\$12,000,000,000.00
7	Software	\$31,800,000.00
10	Viajes	\$40,000,000.00

16	Capacitaciones	\$120,000,000.00
Total	VR Financiado y VR Contrapartida Específica	\$58,283,184,784.00

* A la fecha de Sep, 2024.

TABLA 3
RUBRO DE PERSONAL CIENTÍFICO

Nombre Laboratorio y Rol	Personal	Valor Total (COP)
Lab. Microgravedad - Bioingeniero	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Microgravedad - Médico aeroespacial (Centrifuga)	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Microgravedad - Médico aeroespacial (CAREN)	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Microgravedad - Médico aeroespacial (RYSEN)	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Orientación Espacial - Audiólogo	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Orientación Espacial - Ingeniero Biomédico	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Orientación Espacial - Médico Aeroespacial	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Biología - Microbiólogo	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Biología - Asistente de Laboratorio	Profesional	\$44,123,160.00
Lab. Electrónica - Ingeniero Electrónico	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Electrónica - Técnico Electrónico	Profesional	\$44,123,160.00
Lab. Robótica - Ingeniero en Robótica	Maestría	\$114,474,600.00
Lab. Robótica - Ingeniero Mecatrónico Especializado en Control y Automatización	Maestría	\$114,474,600.00
Total		\$1,347,466,920.00

TABLA 4
RUBRO DE SERVICIOS TÉCNICOS

Descripción	Valor Total
Mantenimiento y calibración de equipos	\$5,000,000.00
Servicios externos de prueba y validación de componentes	\$5,000,000.00
Total	\$10,000,000.00

TABLA 5
RUBRO DE ADQUISICIÓN DE EQUIPOS

Item	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	RYSEN	1	\$3,083,650,000	\$3,083,650,000
2	CAREN	1	\$8,279,150,000	\$8,279,150,000
3	Short Human Centrifuge	1	\$30,000,000,000	\$30,000,000,000
4	Silla de Barany	1	\$412,500,000	\$412,500,000
5	Meta quest 3 (VR)	1	\$2,449,900	\$2,449,900
6	PC Monster ultra (intel core i5, RAM 64gb, NVIDIA RTX 4070)	1	\$6,256,000	\$6,256,000
7	CDP/IVR	1	\$1,180,480,000	\$1,180,480,000

8	Visual Eyes 525	1	\$185,000,000	\$185,000,000
9	Citómetro de Flujo Attune™ NxT	1	\$545,632,000.00	\$545,632,000.00
10	Contador de Colonias (Indulab)	1	\$2,601,300.00	\$2,601,300.00
11	Analizador Químico (BS-120)	1	\$60,778,456.00	\$60,778,456.00
12	Sistema de electroforesis en gel	1	\$9,579,500.00	\$9,579,500.00
13	Máquina de PCR (TC-1000G)	1	\$75,429,816.00	\$75,429,816.00
14	Cromatógrafo UHPLC	1	\$100,000,000.00	\$100,000,000.00
15	Espectrometría de Masas Q-TOF Agilent	1	\$375,000,000.00	\$375,000,000.00
16	Centrífuga	2	\$2,376,150.00	\$4,752,300.00
17	Incubadora	2	\$13,250,744.00	\$26,501,488.00
18	Cabina de flujo laminar	1	\$39,004,822.00	\$39,004,822.00
19	Autoclave	1	\$3,400,000.00	\$3,400,000.00
20	Microscopio	2	\$3,586,500.00	\$7,173,000.00
21	Refrigerador	1	\$30,987,899.00	\$30,987,899.00
22	Vidriería y reactivos	1	\$8,000,000.00	\$8,000,000.00
23	Osciloscopio Tektronix TDS1012B	1	\$1,403,827.00	\$1,403,827.00
24	Generador de Funciones Tektronix AFG 3022B	1	\$4,899,400.00	\$4,899,400.00
25	Computador	1	\$6,256,000.00	\$6,256,000.00
26	Fuente de Alimentación Programable Rigol DP832A	1	\$3,200,000.00	\$3,200,000.00
27	Multímetro de Banco Rigol DM3058E	1	\$2,563,260.00	\$2,563,260.00
28	Chasis Modular PXI-1036	1	\$4,833,834.00	\$4,833,834.00
29	Impresora 3D UltiMaker S5 Pro Bundle	1	\$19,193,403.00	\$19,193,403.00
30	Indigo TI14 Intel Core i9-14900K RTX 4090 24GB Ram 32GB M.2 1TB	1	\$21,235,000.00	\$21,235,000.00
31	Impresora 3D	1	\$20,134,234.00	\$20,134,234.00
32	Máquina láser	1	\$6,795,200.00	\$6,795,200.00
33	Soldadura punto y arco	1	\$1,061,750.00	\$1,061,750.00
34	Potensic ATOM SE - Dron GPS con cámara EIS 4K	1	\$1,065,890.00	\$1,065,890.00
35	AW07A HF+VHF+UHF	1	\$1,032,763.00	\$1,032,763.00
36	Garmin GPSMAP 67i	1	\$2,505,862.00	\$2,505,862.00
37	Antena De Diamante X30a	1	\$764,390.00	\$764,390.00
38	Perfil Estructural Extrusion Aluminio 2020 V Slot 1 Metro	1	\$767,590.00	\$767,590.00
39	Hexapod AI Robotic Explorer Vision Arm con Raspberry Pi 4B	1	\$8,732,823.00	\$8,732,823.00
40	BMXEAE0300 - M340	1	\$4,600,723.00	\$4,600,723.00
41	Siemens 300	1	\$10,618,652.00	\$10,618,652.00
42	TSX3722001 Schneider Electric	1	\$1,507,523.00	\$1,507,523.00
43	Variador de Velocidad Siemens SINAMICS G120X, 60 Hp, 440 V AC, 86 AMP	1	\$22,510,852.00	\$22,510,852.00
44	Fuente de alimentación	1	\$2,200,000.00	\$2,200,000.00
Total		47		\$44,560,200,863.0

TABLA 6

RUBRO DE ADECUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1 m2 de construcción en CATAM	600	\$20,000,000.00	\$12,000,000,000.00
Valor parcial			\$12,000,000,000.00

D. Plan de mercado

Se realiza un análisis DOFA para el análisis de mercado y evaluación del producto.

1) Análisis de mercado:

a) Fortalezas:

- **Desarrollo de Laboratorios de Vanguardia:** Los laboratorios especializados permitirán la capacitación en temas espaciales y el estudio de factores humanos en entornos extremos, como el espacio.
- **Programas de Investigación en Fisiología Espacial:** Estos programas abordarán la salud humana en el espacio, un área crítica para misiones espaciales de larga duración.
- **Personal Altamente Capacitado:** El personal de la FAC cuenta con una formación sólida en áreas aeroespaciales, lo que permite el impulso de proyectos de investigación de alto nivel.
- **Colaboraciones Estratégicas:** La FAC tiene el potencial de establecer alianzas con instituciones líderes en investigación espacial, tanto a nivel nacional como internacional.

b) Oportunidades:

- **Impulso de Proyectos de Investigación en Ingenierías Espaciales:** Contribuir al diseño y desarrollo de tecnologías innovadoras que puedan ser aplicadas en misiones espaciales.
- **Programas de Formación Avanzada:** Ofrecer programas de formación para mejorar las habilidades del personal en investigación y operaciones espaciales.
- **Alianzas Nacionales e Internacionales:** La colaboración con otras fuerzas militares y universidades permitirá compartir conocimientos, recursos y capacidades, fortaleciendo la investigación y el desarrollo tecnológico.

2) Evaluación de producto:

a) Debilidades:

- **Limitaciones Presupuestarias:** La falta de recursos suficientes puede dificultar la adquisición y mantenimiento de tecnología de punta en los laboratorios.

- **Poca Experiencia en Gestión de Programas de Investigación Espacial:** Es necesario desarrollar capacidades y adquirir experiencia en la gestión de proyectos complejos en el ámbito espacial.
- **Resistencia Interna a Cambios:** La introducción de nuevas tecnologías e inversiones puede enfrentar oposición dentro de la organización.

b) Amenazas:

- **Competencia Global:** La investigación espacial es un campo altamente competitivo, lo que exigirá un esfuerzo adicional para que la FAC se convierta en un referente a nivel nacional e internacional.
- **Riesgos en la Formación y Entrenamiento de Astronautas:** Los programas de entrenamiento presentan riesgos inherentes, tanto tecnológicos como humanos.
- **Cambios en Políticas Gubernamentales:** La continuidad del programa podría verse afectada por cambios en las prioridades gubernamentales.

3) Estrategia de colaboración:

Para mitigar las debilidades y amenazas identificadas, se propone una estrategia de colaboración con fuerzas militares internacionales y universidades líderes en investigación espacial. Esta estrategia se centrará en:

- **Compartir Recursos y Conocimientos:** Aprovechar la experiencia y capacidades de las instituciones colaboradoras para compensar la falta de experiencia interna y superar las limitaciones presupuestarias.
- **Desarrollo de Proyectos Conjuntos:** Crear proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en conjunto, beneficiándose del acceso a tecnologías avanzadas y la experiencia de los socios internacionales.
- **Entrenamiento y Formación:** Facilitar el intercambio de personal y la participación en programas de formación avanzados en otras instituciones, mejorando las capacidades técnicas y operacionales de la FAC.

VIII. DISCUSIÓN

Se propuso un diseño integral del complejo aeroespacial seleccionando 5 de los laboratorios aeroespaciales que más destacaban y eran más frecuentes en los institutos de investigación espacial y entrenamiento de astronautas. Los laboratorios de microgravedad y orientación junto a sus dispositivos fueron los que más predominaban en el estudio de mercado debido a la importancia de estos para la comprensión de la fisiología humana en el espacio y entrenamiento de astronautas.

Por otra parte, los laboratorios de electrónica y robótica fueron unidos en un único espacio debido a que comparten la misma base tecnológica y se complementan entre sí. Además, debido a que son los laboratorios que cuentan con el menor riesgo de accidentes y complejidad, se decidió dejarlos en la planta superior del complejo.

La elección del dispositivo de la centrifuga humana fue la más crítica debido a que cambio completamente la distribución de los laboratorios y los dispositivos en el complejo, además de afectar en gran medida el estudio financiero. La selección de los dispositivos RYSEN y CAREN tuvieron un impacto menor pero similar al de la centrifuga en la realización del presupuesto y disposición interna de la planta.

La elección de todos los equipos se hizo enfocada en las dimensiones y en la tecnología, con el fin de cumplir con el requerimiento de espacio y el objetivo de conceptualizar laboratorios con tecnología de última generación.

IX. CONCLUSIONES

Se evidenció que el formato OFFSET presenta los ítems clave de la formulación de proyectos de inversión permitiendo obtener estudios de mercado, técnico, financiero y un plan de mercadeo inicial, necesarios para un diseño final y robusto del proyecto de implementación de un complejo de laboratorios orientado a la investigación de la fisiología espacial y entrenamiento de astronautas en Colombia.

Durante la búsqueda bibliográfica, se pudo observar que la implementación de los laboratorios de microgravedad, orientación espacial, biología y electrónica junto con dispositivos de alta tecnología y personal capacitado, permitió cumplir los estándares y requerimientos internacionales necesarios de un complejo de laboratorios de investigación espacial y entrenamiento de astronautas.

Además, se evidenció la importancia de la implementación de un complejo de laboratorios de factores humanos aeroespacial en el fortalecimiento de capacidades científicas e investigativas de la FAC y los beneficios que este ofrece para Colombia. Esto mediante el estudio del impacto que han tenido y tienen, los laboratorios de investigación aeroespacial y de entrenamiento de astronautas para los avances científicos, la economía y reputación de instituciones y naciones que intervienen en estos. Asimismo, estudiando específicamente el EDAES de la FAC y sus objetivos para el progreso espacial colombiano.

Por último, en el marco del estudio técnico, se observó que, para la implementación de los laboratorios, dispositivos, personal científico y administrativo del complejo aeroespacial es necesario proporcionar una inversión de 58 mil millones de pesos colombianos. Lo cual garantiza una distribución de dos plantas que cumple con la restricción espacial del comando aéreo; permitiendo que la disposición de los laboratorios de microgravedad, orientación espacial y biología se ubiquen en el primer piso, minimizando posibles accidentes y favoreciendo los planes de respuesta ante emergencias.

X. REFERENCIAS

- [1] J. Seibert, «The benefits fo space exploration and its importance,» 14 March 2024. [En línea]. Available: <https://spaceimpulse.com/2024/03/14/the-benefits-of-space-exploration-and-its-importance/>.
- [2] R. C. Esper, J. A. Díaz-Ponce y L. P. San Juan, *Medicina espacial*, 1st ed., Mexico D.F.: Intersistemas, 2016.
- [3] National Aeronautics and Space Administration, «Training for space,» 2015. [En línea]. Available: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/10/160410main_space_training_fact_sheet.pdf?emrc=6cb004.
- [4] V. Valdivia, «Desarrollo Espacial en América del Sur: una historia de fracasos y llegadas tarde,» *IEEE/ Documento de Opinión*, pp. 1-22, 2016.
- [5] PUCRS, «MicroG,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.pucrs.br/en/microg/introduction/>.
- [6] Dirección General de Sanidad Militar, «Centro de Medicina Aeroespacial CEMAE Centro certificador, de entrenamiento en fisiología de vuelo y docencia e investigación,» 26 August 2011. [En línea]. Available: <https://www.sanidadfuerzasmilitares.mil.co/comunicaciones/galeria-imagenes/centro-medicina-aeroespacial-cemae-centro>.
- [7] Fuerza Aérea Colombiana, «Estrategia para el desarrollo aereo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana EDAES 2042,» 25 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/2021-04/edaes.pdf>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].
- [8] M. R. Vargas, «Los Convenios Offset en Colombia,» 17 Frebruary 2016. [En línea]. Available: <https://www.asuntoslegales.com.co/actualidad/los-convenios-offset-en-colombia-2350686>.
- [9] Y. Giha, «La Política de Cooperación Industrial y Social - Offset -,» [En línea]. Available: <https://slideplayer.com/slide/13434029/>.

-
- [10] S. T. Moran, *An Applied Guide to Process and Plant Design and the Epistemology of Engineering*, Reino Unido: University of Nottingham, 2018.
- [11] National Aeronautics and Space Administration, «Crew & operations training,» 2 February 2024. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/reference/jsc-crew-operations-training/>.
- [12] National Aeronautics and Space Administration, « Human Performance Centrifuge,» 13 December 2023. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/ames/space-biosciences/human-performance-centrifuge-1-98-meter-radius-centrifuge/>.
- [13] The European Space Agency, «EAC facilities,» 3 February 2015. [En línea]. Available: https://www.esa.int/About_Us/EAC/EAC_facilities.
- [14] National Aeronautics and Space Administration, «Astronaut Selection and Training,» 2017. [En línea]. Available: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2017/05/606877main_fs-2011-11-057-jsc-astro_trng.pdf.
- [15] The European Space Agency, «Training for space,» 2 February 2021. [En línea]. Available: https://www.esa.int/About_Us/Careers_at_ESA/ESA_Astronaut_Selection/Training_for_space2.
- [16] Japan Aerospace Exploration Agency, «Astronauts,» 2023. [En línea]. Available: https://global.jaxa.jp/projects/iss_human/astro/.
- [17] National Aeronautics and Space Administration, «Astronauts,» 11 July 2024. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/humans-in-space/astronauts/>.
- [18] National Aeronautics and Space Administration, «5 Hazards of Human Spaceflight,» 10 January 2024. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/hrp/hazard-hostile-closed-environments/>.
- [19] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es>. [Último acceso: 22 July 2024].
- [20] G. Clément y S. Wood, *Primer on the Autonomic Nervous System*, 3rd ed., 2012.
- [21] A. E. Nicogossian, C. L. Huntoon y S. L. Pool, *Space Physiology and Medicine: From Evidence to Practice*, Philadelphia: Lea & Febiger, 1994.

-
- [22] Leeds Trinity University, «Criteria for the formation of a research centre,» 17 June 2021. [En línea]. Available: <https://www.leedstrinity.ac.uk/media/site-assets/documents/key-documents/word/criteria-for-the-formation-of-a-research-centre.docx>.
- [23] B. C. Robles Pérez, «Formulación de proyectos,» 2017. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/35359/secme-22701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [24] Universidad San Ignacio de Loyola, «El Estudio de Mercado del Proyecto,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fd355af4-81b8->.
- [25] Universidad Nacional Autónoma de México, «Estudio técnico,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap2a.pdf>.
- [26] E. López Parra, N. Gonzáles Navarro, S. Osobampo, A. Cano y R. Gálvez Chang, «Estudio técnico... Elemento indispensable en la evaluación de proyectos de inversión,» [En línea]. Available: <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/documents/no56/estudiotecnico.pdf>.
- [27] Universidad Nacional Autónoma de México, «Estudio Económico-financiero,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap3.pd>.
- [28] A. Pérez y J. Segundo, «El análisis económico y financiero que has de realizar en el inicio de un proyecto,» 5 February 2018. [En línea]. Available: <https://emprendedores.uca.es/wp-content/uploads/2018/02/5-analisis-econ%C3%B3mico-financiero.pdf>.
- [29] C. Richter, B. Braunstein, A. Winnard, M. Nasser y T. Weber, «Human Biomechanical and Cardiopulmonary Responses to Partial Gravity – A Systematic Review,» *Frontiers in Physiology*, vol. 8, nº 583, 2017.
- [30] MOTEK MEDICAL, «RYSEN Next-Generation 3D Bodyweight Support,» 13 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.motekmedical.com/solution/rysen/>.
- [31] MOTEK MEDICAL, «CAREN The World's Most Advanced Biomechanics Lab,» 11 Julio 2011. [En línea]. Available: <https://www.motekmedical.com/solution/caren/>.
- [32] AMST, «Training and Simulation Products - Aerospace Medicine - AMST,» 16 January 2017. [En línea]. Available: <https://www.amst.co.at/aerospace-medicine/training-simulation-products/short-arm-human-centrifuge/>.

-
- [33] G. R. Parada, «Respuesta del sistema nervioso autónomo durante transición a hipergravedad en pilotos y astronautas análogos de la FAC,» 2020.
- [34] D. Vega, «Desorientación espacial,» A21, 30 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://a21.com.mx/index.php/aeronautica/2016/11/30/desorientacion-espacial>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [35] Brandeis University, «Ashton Graybiel Spatial Orientation Laboratory,» 24 10 2012. [En línea]. Available: <https://www.brandeis.edu/graybiel/>. [Último acceso: 17 September 2024].
- [36] Sky Aviation Holdings, «Spatial Disorientation in Aviation,» 25 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://skyaviationholdings.com/spatial-disorientation-aviation/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [37] L. Kowalczyk, M. Kluch, M. Mikuliszy y M. Gąsik, «Spatial Disorientation Experiments and Training in Polish Air Force Institute of Aviation Medicine,» de *Spatial Disorientation in Military Vehicles: Causes, Consequences and Cures*, La Coruña, 2002.
- [38] ETC Air Crew Training, «Gyro IPT II,» 6 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.etcaircrewtraining.com/assets/datasheets/GYRO-IPT-II-spatial-disorientation-simulator.pdf>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [39] NASA, «Bárány Chair,» 31 Marzo 2015. [En línea]. Available: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/03/hunch-larc_featured_article.pdf. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [40] AMST, «Barany Chair,» AMST, 16 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.amst.co.at/aerospace-medicine/training-simulation-products/barany-chair/> },. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [41] H. Lowood, «Virtual Reality,» britannica, 13 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [42] A. Trukhanov, «How VR Contributes to Space Exploration and Astronauts Training,» pale blue, 31 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://pale.blue/2021/03/31/how-vr-contributes-to-space-exploration-and-astronauts-training/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].

- [43] K. Stroud, D. Harn y D. Klaus, «Preflight Virtual Reality Training as a Countermeasure for Space Motion Sickness and Disorientation,» *Aviation, space, and environmental medicine*, vol. 76, n° 1, pp. 352-356, 2005.
- [44] PC Gamer, «Best VR Headset,» 9 Julio 2024. [En línea]. Available: <https://www.pcgamer.com/best-vr-headset/#section-the-best-vr-headset>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [45] Myhealthtoolkit, «Dynamic Posturography - CAM 20102,» 15 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://member.myhealthtoolkitfl.com/web/public/brands/medicalpolicy/external-policies/dynamic-posturography/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [46] Bertec, «Bertec® CDP/IVR™,» 1 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.midwestsi.com/wp-content/uploads/2019/11/BERCDPIVR.pdf>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [47] C. Laria, «¿Qué es la videonistagmografía?,» 24 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.clinicabaviera.com/blog/videonistagmografia/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [48] Aurora Health Care, «Videonystagmography (VNG) Testing,» 27 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.aurorahealthcare.org/services/audiology-and-hearing-services/videonystagmography>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [49] Interacoustics, «VisualEyes™,» 20 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.interacoustics.com/balance-testing-equipment/visualeyes>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [50] L. Barrera, E. Drago, J. Pérez, T. Sainz, A. Zamora, F. Gómez y F. Mendoza, «Citometría De Flujo: Vínculo Entre La Investigación Básica Y La Aplicación Clínica,» *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias*, vol. 17, n° 1, pp. 42-55, 2004.
- [51] EquiposyLaboratorio, «CITÓMETRO DE FLUJO THERMO FISHER SCIENTIFIC - A24862,» 30 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.equipsylaboratorio.com/portal/productos/citometro-de-flujo-thermo-fisher-scientific-a24862>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].

-
- [52] Scharlab, «ELECTROFORESIS,» 31 Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.scharlab.com/in/es/equipos/electroforesis>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].
- [53] Onelab, «Cámara para electroforesis horizontal en gel. Tanon,» 11 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.onelab.com.co/camara-para-electroforesis-horizontal-en-gel-tanon>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].
- [54] Laboratorios centro ginecológico, «Que es un analizador automático,» 21 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://labocegi.com/que-es-un-analizador-automatico/>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].
- [55] Instrumentalia, «Analizador químico Mindray Bs-120,» 17 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://instrumentalia.com.co/laboratorios/65939-analizador-qu%C3%ADmico-mindray-bs-120.html>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [56] EquiposyLaboratorio, «Que es y como funciona un termociclador,» 31 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-es-y-como-funciona-un-termociclador>. [Último acceso: 16 Septiembre 2024].
- [57] NORQUIMICOS, «TC1000-G TERMOCICLADORES PCR CON GRADIENTE DLAB,» 28 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://norquimicos.com.co/tienda/equipos-de-laboratorio/control-termico/tc1000-g-termocicladores-pcr-con-gradiente-dlab/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2024].
- [58] Fuerza Aerea Colombiana, «Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la fuerza aérea colombiana 2042,» April 2011. [En línea]. Available: <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/2021-04/edaes.pdf>.