

Globo sonda atmosférico educativo

Proyecto Final

Versión 1.0

10/28/2023

Información del proyecto

<i>Autor / Autores</i>	
<i>Nombre Completo del integrante</i>	<i>Peralta Marcos</i>
<i>Legajo</i>	<i>41337</i>
<i>e-mail</i>	<i>marcos.peralta.96@gmail.com</i>

<i>Tutor</i>	<i>Ing. Gustavo Mercado</i>
<i>Director</i>	<i>Ing. Gustavo Mercado</i>
<i>Jurado</i>	<i>Ing. Gustavo Mercado</i>
<i>Año Académico</i>	<i>2023</i>
<i>Responsable de la cátedra</i>	<i>Esp. Ing. Antonio Álvarez</i>

<i>Empresa / Cliente / Laboratorio</i>	<i>The Mars Society Argentina</i>
<i>Patrocinador (Sponsor)</i>	<i>CEGA S.A. y R-Link S.A.</i>



1 RESUMEN DEL PROYECTO

1.1 RESUMEN

En los niveles de educación primaria, media y superior la motivación es un aspecto clave para empujar a los estudiantes para adentrarse en los campos STEAM. Sobre este tema la ONG "The Mars Society Argentina" ve una carencia de proyectos para motivar en este sentido.

Este proyecto tiene como objetivo cubrir una pequeña porción del trabajo necesario para incentivar a los estudiantes. Para cumplir con esta premisa se propone el desarrollo de una carga útil de globo atmosférico con capacidad para llevar experimentos estudiantiles a una altura de 30KM.

Esta carga útil se desarrolló respetando los estándares dimensionales de Cubesats y se pensó para facilitar la integración de proyectos CANSAT estudiantiles. Los sistemas desarrollados cumplen la función de proveer a dichos proyectos de energía, posicionamiento GPS, enlace de comunicaciones, mecanismo de terminación de vuelo, y protecciones ambientales. Lo desarrollado se probó mediante un vuelo de 100km que alcanzó una altura de 15km de alto; permitiendo validar el desarrollo, el interés institucional y de estudiantes.

La financiación será asegurada por la ONG "The Mars Society Argentina".

1.2 SUMMARY

In primary, secondary, and high education levels inspiration is a key aspect for pushing students into studying concepts in STEAM fields. On this topic the NGO "The Mars Society Argentina" sees a lack of projects to inspire students in STEAM careers.

This project has the objective of filling a small amount of the work needed to inspire students. To fulfill this premise, we propose the development of high-altitude balloon payload with the capability to carry experiments from students to an altitude of 30Km twice a year.

This payload was developed respecting the dimensional standards of Cubesats and was designed to facilitate the integration of student CANSAT projects. The developed systems serve the function of providing these projects with energy, GPS positioning, communication link, flight termination mechanism, and environmental protections. The developed components were tested through a 100km flight that reached an altitude of 15km, allowing validation of institutional and student interest.

Funding will be secured by de NGO "The Mars Society Argentina".

2 PALABRAS CLAVES

Globo, vuelo, plataforma, comunicaciones, helio, GPS, seguimiento, telemetría, telecomando.



3 ÍNDICE

1	RESUMEN DEL PROYECTO.....	2
1.1	RESUMEN.....	2
1.2	SUMMARY.....	2
2	PALABRAS CLAVES.....	2
3	ÍNDICE.....	3
4	INTRODUCCIÓN.....	6
4.1	IDEA Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	6
4.1.1	Objetivo general.....	8
4.1.2	Objetivo particular.....	8
4.2	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	9
4.2.1	Antecedentes del proyecto.....	9
4.2.2	Estado actual.....	9
4.2.3	Necesidad del negocio y definición del problema.....	9
4.2.4	Beneficios del proyecto.....	10
4.3	ALCANCE.....	11
4.3.1	Alcance.....	11
4.3.2	Límites o fuera de alcance.....	11
4.3.3	Soluciones y entregables principales.....	11
4.4	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	12
4.4.1	Cronograma.....	12
4.4.2	Hitos.....	12
4.5	Suposiciones, Restricciones y Riesgo.....	13
4.5.1	Suposiciones.....	13
4.5.2	Restricciones.....	13
4.5.3	Riesgos.....	13
5	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	13
5.1	DESARROLLO TÉCNICO.....	13
5.1.1	INTRODUCCIÓN.....	15
5.1.2	MARCO TEÓRICO.....	16
5.1.2.1	GLOBOS ATMOSFÉRICOS.....	16
5.1.2.2	ENLACES DE COMUNICACIONES INALÁMBRICOS.....	18
5.1.2.3	ATENUACIÓN.....	19
5.1.2.4	ABSORCIÓN.....	19
5.1.2.5	REFRACCIÓN.....	20
5.1.2.6	REFLEXIÓN.....	20
5.1.2.7	DIFRACCIÓN.....	21



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

5.1.2.8	INTERFERENCIA	22
5.1.2.9	ANTENAS	23
5.1.2.9.1	FUNCIONAMIENTO DE UNA ANTENA	23
5.1.2.9.2	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LAS ANTENAS.....	26
5.1.2.9.3	PRESUPUESTO DE POTENCIA	28
5.1.2.10	GLOBOS ATMOSFÉRICOS.....	30
5.1.2.10.1	GLOBOS	30
5.1.2.10.2	GASES.....	31
5.1.2.10.3	PARACARÍADAS	32
5.1.2.10.4	SOGAS.....	32
5.1.2.10.5	CARGA ÚTIL.....	32
5.1.2.10.6	CANSATS	32
5.1.3	ESTADO ACTUAL	34
5.1.3.1	CONDICIONES DE CONTORNO (CONSIDERACIONES).....	34
5.1.4	DESARROLLO DE SOLUCIÓN.....	36
5.1.4.1	SISTEMA MECÁNICO	37
5.1.4.2	SISTEMA DE CONTROL, INTERFAZ Y ENERGÍA	43
5.1.4.2.1	PLACA DE CONTROL	45
5.1.4.2.2	PLACA DE BATERÍAS	54
5.1.4.2.3	ALGORITMOS DE CONTROL	56
5.1.4.3	COMUNICACIONES Y SEGUIMIENTO DEL GLOBO	58
5.1.4.3.1	STANDARD APRS	58
5.1.4.3.2	RECEPTOR APRS.....	59
5.1.4.3.3	TRANSMISOR DE APRS.....	61
5.1.4.3.4	COMUNICACIÓN EN 900MHZ	62
5.1.5	PUESTA EN MARCHA	63
5.1.6	RESULTADOS, MEDICIONES Y VERIFICACIÓN.....	67
5.1.6.1	ASCENSO.....	67
5.1.6.2	DATOS OBTENIDOS DEL VUELO.....	68
5.1.7	CONCLUSIONES	70
5.1.8	PROXIMOS PASOS	70
5.1.9	ALCANCE SOCIAL.....	70
5.1.10	AGRADECIMIENTOS.....	71
5.1.11	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN	71
5.1.12	ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	72
5.2	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	74
5.2.1	FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	74
5.2.1.1	CAPITAL DE TRABAJO.....	74
5.2.1.2	$VAN = 0$	75
5.2.1.3	$VAN > 0$	76
5.2.2	APROXIMACIÓN AL VALOR ACTUAL NETO	77
5.2.3	TASA INTERNA DE RETORNO.....	78
5.2.4	PAYBAK O PLAZO DE RECUPERACIÓN	78



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

5.2.5	PRODUCTOS Y SERVICIOS DE OTROS FABRICANTES	79
	HTTPS://WWW.STRATOFLIGHTS.COM/EN/SHOP/WEATHER-BALLOON-KIT/	79
	HTTPS://THE-ROCKETMAN.COM/HAB-KIT-COMPLETE-PACKAGE/	79
6	CONCLUSIONES Y ANEXOS	79
7	BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80



4 INTRODUCCIÓN

4.1 IDEA Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Un globo atmosférico puede llevar, según su tamaño y otros parámetros, una carga de hasta cientos de kilogramos. Estas cargas, comúnmente denominadas “payloads” o “cargas útiles” se diseñan, fabrican y lanzan con propósitos específicos.

En este proyecto se plantea el diseño, fabricación y prueba de una carga útil de propósito general. Su principal objetivo es facilitar el diseño de misiones experimentales proveyendo una “plataforma de soporte” con todo lo necesario para realizar un vuelo exitoso que permita poner a prueba o validar un experimento.

La “plataforma de soporte” cumpliría la función de proveer a cualquier experimento de:

- *Energía,*
- *Telemetría y tele-comando,*
- *Posicionamiento GPS en tiempo real,*
- *Mecanismo de terminación de vuelo y*
- *Sujeciones mecánicas*

Con esta “plataforma de soporte” se busca facilitar el acceso a la experimentación y juego de estudiantes de secundaria y universidades para que experimentalmente puedan poner a prueba conceptos aprendidos.

La denominación plataforma surge del hecho en que estos sistemas serán genéricos para cualquier tipo de experimento. Por lo tanto, se estará diseñando una “plataforma de soporte” para “payloads” o cargas útiles.

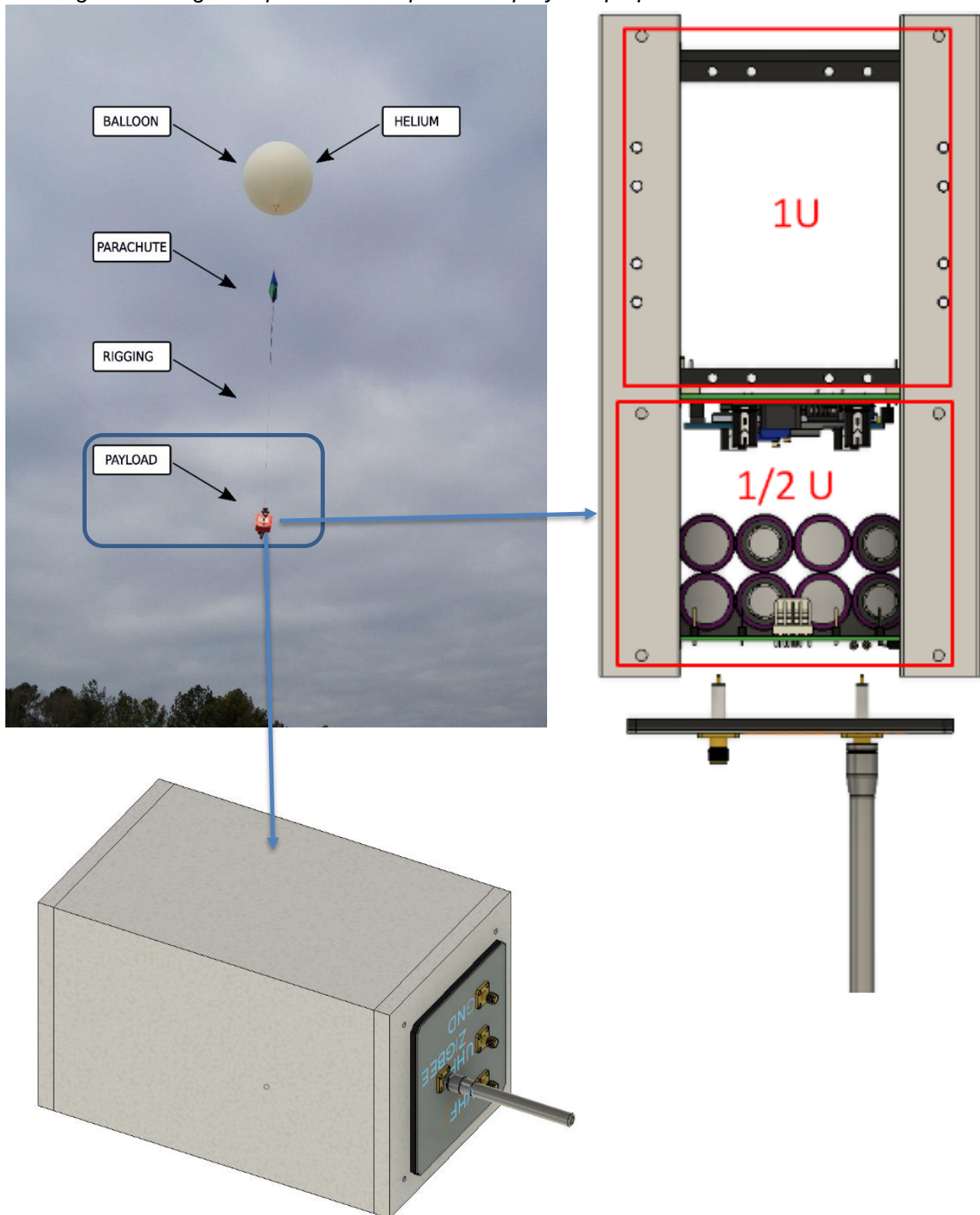
Esto busca liberar a los diseñadores de experimentos, estudiantes de diversas edades, de la carga cognitiva que implica el pensar en toda la logística e ingeniería que conlleva el lanzamiento de un experimento atmosférico.

La plataforma de soporte será diseñada para proveer un volumen experimental de 1U, siguiendo el estándar de dimensiones de CubeSats estándares. Dejando un volumen de 1/2U para la electrónica de soporte que se diseñará en el presente proyecto.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

En la siguiente imagen se plantea un esquema del proyecto propuesto:





4.1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de la ONG “The Mars Society Argentina” es la concientización, divulgación y realización de actividades aeroespaciales en la provincia de Mendoza con la participación de estudiantes de diversas edades y áreas del aprendizaje.

Con el presente proyecto la ONG busca incentivar a los estudiantes a sumergirse en el mundo de la ciencia e ingeniería. En este marco, el proyecto presentado tiene como objetivo general; el desarrollo de una plataforma que facilite y estandarice la creación de experiencias tecnológicas estudiantiles que puedan ser lanzadas a la estratósfera.

4.1.2 OBJETIVO PARTICULAR

Particularmente se busca crear un prototipo que permita validar procesos y tecnologías para asegurar la calidad de la plataforma presentada a estudiantes.

Esto se logrará adoptando en primer lugar, tecnologías, metodologías y procesos desarrollados por otros proyectos de lanzamiento de globos amateurs en otras partes del mundo. Tomando como base dichos desarrollos, se adaptarán a las condiciones y restricciones de diseño impuestas por la misión de vuelo.

Además, se estudiarán y adoptarán tecnologías que no hayan sido públicamente probadas para resolver problemas propios del proyecto aquí presentado.



4.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

4.2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Esta iniciativa, si bien no es única en el mundo o el país, tiene la particularidad de querer mantenerlo en el tiempo y crear una plataforma estándar. Es decir, que el lanzamiento del globo no sea un evento de una única vez, si no que se convierta en un evento anual o bianual para estudiantes durante varios años.

Dado que actualmente no hay iniciativas similares, y que previamente, TMSA no ha lanzado sondas, se plantea este proyecto como un prototipo de aprendizaje para validar procesos, desarrollos propios y procedimientos de proyecto.

4.2.2 ESTADO ACTUAL

En la actualidad, en Mendoza, no es posible lanzar fácilmente experimentos a la atmósfera mediante globos atmosféricos. Esto requiere el desarrollo de la misión completa, lo que resulta costoso en tiempo, recursos y personas. Dificultando la realización de experiencias similares para equipos de estudiantes o personas amateurs.

4.2.3 NECESIDAD DEL NEGOCIO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se busca proveer de una plataforma que permita a instituciones, equipos y personas crear proyectos que se vean beneficiados al ser lanzados atmosféricamente. Permitiendo validar ideas y desarrollos tecnológicos; generando de esta forma, conocimiento y experiencia de manera local.

Por lo anterior el problema se puede definir como:

“El desarrollo de una controladora de vuelo para globos atmosféricos, y de una plataforma mecánica para la integración de proyectos de terceros”.

Para esto la controladora de vuelo debe poseer:

- *Geoposicionamiento,*
- *Baterías y BMS,*
- *Enlace de comunicación. Unidireccional y bidireccional,*
- *Microcontrolador,*
- *Mecanismo de terminación de vuelo e*
- *Interfaz para integración de terceros.*

La plataforma mecánica debe ser: liviana, resistente, barata y fácil de fabricar.



4.2.4 BENEFICIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del proyecto se pueden separar en 2 grupos principales que se relacionan entre sí.

- *PATROCINADORES: colaboran de alguna manera con el desarrollo del proyecto.*
- *STAKEHOLDERS: se ven beneficiados de alguna forma con el éxito del proyecto o se ven perjudicados si el proyecto fracasa.*

En este sentido podemos identificar a los interesados en:

- *Organización: TMSA → porque es quien idea el proyecto.*
- *Patrocinadores: CEGA, R-LINK, Godoy Cruz → porque colaboran con ayuda económica, técnica, logística o legal.*
- *Stakeholders: TMSA, CEGA, R-LINK, Godoy Cruz → porque si sale mal daña su imagen ya que es un evento público y publicitado en redes*

Los patrocinadores y stakeholders se ven beneficiados con la publicidad que la organización TMSA realizará en redes sociales del evento. Haciendo del lanzamiento un evento de difusión científica.

Además, la agrupación realizará una serie de charlas donde promocionará la iniciativa, incluyendo en éstas a sus patrocinadores.



4.3 ALCANCE

4.3.1 ALCANCE

Durante el proyecto se realizarán las tareas correspondientes a las distintas etapas de un desarrollo de ingeniería. Siendo: investigación, diseño, simulación, fabricación, pruebas, integración, validación, lanzamiento y documentación. Las etapas de diseño, simulación, fabricación, pruebas, integración y validación se realizarán siguiendo una metodología rápida conocida como “DevOps” adaptada para desarrollo de hardware, ya que esta metodología nace de la industria del software. En esta metodología, los diseños se iteran rápidamente, apoyándose de las herramientas de CAD y fabricación 3D, posibilitando cambios rápidos en el HW a medida que el proyecto se desarrolla.

Se realizará un prototipo para lanzar, se entrega el circuito esquemático, la simulación de los circuitos, el diseño 3D de las partes electrónicas y mecánicas y el prototipo con el cual se pueden experimentar.

4.3.2 LÍMITES O FUERA DE ALCANCE

No se realizará un producto comercial. Si bien el proyecto está pensado para llevar experimentos de terceros, en esta primera misión sólo se pondrán a prueba los sistemas necesarios para llevar a cabo una misión exitosa; es decir que no se diseñarán experimentos para lanzar ni se aceptarán experimentos de terceros.

Se realizará un único prototipo para lanzar, iterando sobre el diseño del mismo de ser necesario.

4.3.3 SOLUCIONES Y ENTREGABLES PRINCIPALES

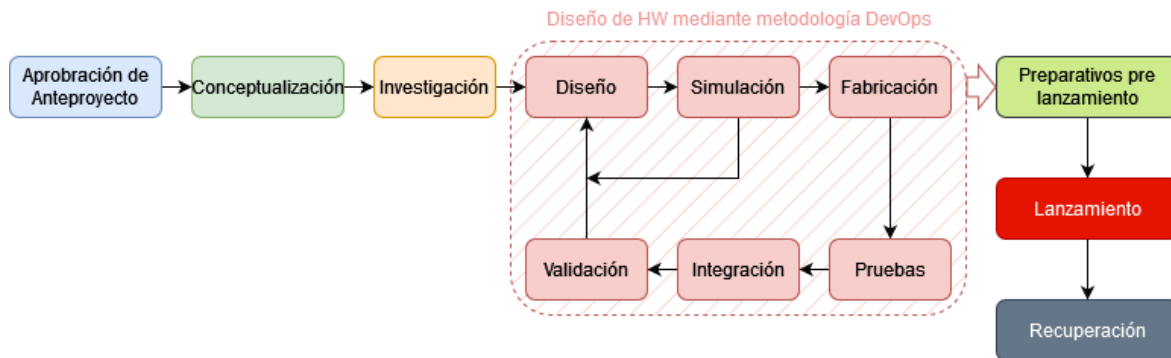
La siguiente tabla muestra un listado de los entregables del proyecto (productos o servicios)

<i>Entregables principales</i>	<i>Descripción del entregable</i>
<i>Circuito esquemático</i>	<i>Contiene las conexiones de componentes, los identificadores de éstos y las restricciones de diseño y funcionamiento.</i>
<i>Simulación del esquemático</i>	<i>Se realizarán simulaciones y comprobaciones de funcionamiento dentro de los requisitos de funcionamiento estipulados.</i>
<i>Diseño 3D</i>	<i>El diseño en CAD de cómo será la carga del globo, con partes electrónicas y mecánicas incluidas.</i>
<i>Prototipo modular</i>	<i>Fabricación de un primer prototipo con los módulos y diseño general mecánico. Que permita la experimentación e integración con otros subsistemas del proyecto.</i>

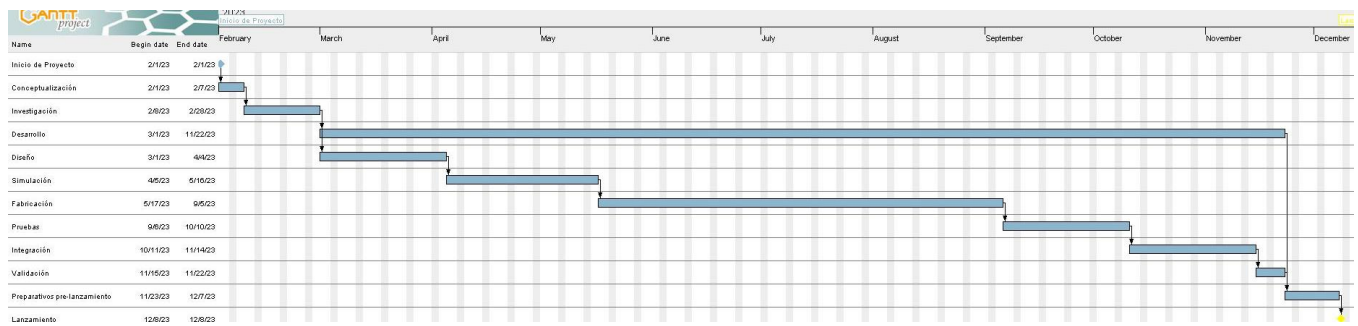


4.4 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Se utilizará una mezcla de metodologías para flexibilizar el desarrollo. Principalmente se utilizará la metodología DevOps.



4.4.1 CRONOGRAMA



- **Conceptualización:** 10hs • **Investigación:** 30hs • **Diseño:** 50 • **Simulaciones:** 100hs • **Fabricación:** 200hs
- **Pruebas:** 50hs • **Integración:** 50hs • **Validación:** 20hs • **Preparativos:** 20hs • **Lanzamiento:** 4hs

4.4.2 HITOS

Los hitos principales se despliegan de los entregables principales en relación con las etapas definidas anteriormente:

1. *Aprobación del Anteproyecto: 7 de agosto de 2023.*
2. *Conceptualización: documentar la idea del proyecto y comunicarla.*
3. *Investigación: recabar proyectos previos en otras partes del mundo, tecnologías existentes, alternativas locales, datos importantes y generar un project charter.*
4. *Diseño de HW y FW: siguiendo la metodología DevOps de desarrollo, implementación, validación y mejora continua se desarrolla el proyecto. Generando documentación de las decisiones de diseño y sus razones.*
5. *Preparativos prelanzamiento: se genera un checklist con los ítems importantes a verificar antes del lanzamiento. Planificación de lanzamiento.*
6. *Lanzamiento: se lleva a cabo el lanzamiento del globo siguiendo el plan generado en la etapa anterior.*
7. *Recuperación: sujeto a las condiciones de aterrizaje y vuelo se planifica y ejecuta la misión de recuperación.*



4.5 SUPOSICIONES, RESTRICCIONES Y RIESGO

4.5.1 SUPOSICIONES

1. Hay interés por parte de estudiantes, instituciones y personas amateurs por el desarrollo de actividades aeroespaciales en Mendoza.
2. Instituciones educativas estarán interesadas en participar activamente en el desarrollo de actividades aeroespaciales.
3. El costo de estas actividades podrá ser reducido para hacerlo accesible y sostenible.

4.5.2 RESTRICCIONES

1. El peso del prototipo armado no deberá exceder 2KG.
2. La comunicación bidireccional deberá alcanzar por lo menos 30km de distancia
3. La comunicación unidireccional de seguimiento deberá funcionar hasta la terminación del vuelo.
4. Debe tener un sistema de terminación de vuelo bajo comando remoto y automático con geofensa.

4.5.3 RIESGOS

Riesgo	Mitigación
Recuperación	Dado el territorio inhóspito de nuestra provincia hay altas probabilidades de no poder recuperarlo.
Calidad del Helio utilizado	Es posible que la calidad del helio que se utilice no sea la adecuada, dando un perfil de vuelo impredecible y fuera de lo simulado.
Comunicaciones	Dada la naturaleza experimental del vuelo es posible que las comunicaciones bidireccionales se pierdan durante partes del vuelo.
Tecnológicos:	Por acceso a la tecnología o imposibilidades técnicas dados los conocimientos del profesional a cargo. También se incluyen riesgos por costo de tecnología.
Externos:	Factores externos a la ejecución del proyecto, como: faltante de componentes, problemas económicos, etc.
Regulatorios:	Dificultades o imposibilidad para obtener los permisos de lanzamiento.

5 DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESARROLLO TÉCNICO



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Globo Sonda Atmosférico Educativo

Peralta Marcos
Departamento de Ingeniería Electrónica
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza



Abstract

En el presente trabajo final de carrera se planteó, diseñó, construyó y voló un prototipo de globo sonda atmosférico pensado para llevar cargas experimentales estudiantiles. Contó con un sistema de telemetría y telecomando propio, seguimiento GPS mediante el sistema APRS y un mecanismo de terminación de vuelo.

Durante la prueba se comprobó el funcionamiento de los sistemas de vuelo, perfil térmico de la atmósfera y la calidad del helio comercial disponible en la región.

Contó con el apoyo de sponsors privados y públicos, despertando el interés de la prensa local y logrando notoriedad en los sectores estudiantiles locales.

Palabras claves

Globo, vuelo, plataforma, comunicaciones, prototipo, helio, GPS, seguimiento, telemetría, telecomando



5.1.1 INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, lleva a cabo de forma anual el programa CANSAT.

En este programa, estudiantes de colegios secundarios forman grupos y presentan propuestas donde se diseña y construye un cansat [5.1.3.1.6]. Luego, CONAE selecciona las mejores propuestas para ser lanzadas mediante un pequeño cohete amateur a una altura de 1.5 a 2Km de alto.

La propuesta de CONAE es que los estudiantes puedan pasar por todas las etapas de ingeniería de una misión espacial. Desde planificación, construcción, pruebas funcionales y ambientales y finalmente el lanzamiento.

Sin embargo, por la naturaleza de vuelo, algunas propuestas se verían beneficiadas por vuelos de mayor duración y alcance.

El presente trabajo final de tesis pretende diseñar, probar y volar un prototipo de carga útil de un globo sonda. Esta carga será una plataforma de vuelo para lanzar los proyectos cansat anteriormente mencionados a alturas de entre 25 y 30Km de alto. Dicha plataforma proveerá a los proyectos estudiantiles de:

- *Energía,*
- *Comunicaciones,*
- *Mando,*
- *Posicionamiento y*
- *Recuperación (de ser posible).*

Con esto, los estudiantes podrán enfocar sus esfuerzos en el diseño y desarrollo de un experimento que les permita maximizar la experiencia y conocimientos adquiridos en el proceso. Permitiendo a instituciones planificar cursos y talleres acordes a los niveles educativos donde se quieran implementar experiencias con lanzamientos en cohetes y vuelos estratosféricos.



5.1.2 MARCO TEÓRICO

5.1.2.1 GLOBOS ATMOSFÉRICOS

Los globos atmosféricos son ampliamente utilizados para lanzar cargas científicas a grandes alturas.



Figura 1 - Globo Atmosférico

A la hora de trabajar con globos atmosféricos se deben tener en cuenta ciertos aspectos, a saber:

1. Están estandarizados por su tamaño y peso.
2. Al ascender se expanden por la diferencia de presión y revientan. La altura en la que revientan depende del tamaño del globo y la cantidad de helio colocada.
3. Durante su ascenso el globo es desplazado por los vientos, la cantidad de desplazamiento respecto al punto de lanzamiento depende de la velocidad de ascenso y de la velocidad del viento. Cuanto menos desplazamiento se desee, más rápida debe ser su velocidad de ascenso.
4. Debido a que los globos comparten el espacio aéreo con aviones, es importante coordinar su lanzamiento con las torres de control aeronáuticas.

El hecho de que estos globos floten se explica mediante el principio de Arquímedes:

La fuerza de flotación ejercida por un fluido sobre un objeto es igual al peso del fluido desplazado por el objeto.

De esta forma, si se pretende elevar un peso, en adelante llamado “carga útil”, utilizando un globo atmosférico se debe desplazar una cantidad de aire tal que se igualen los pesos del aire desplazado y de la carga útil.

$$F_E = D_A * V_{AD} * G$$

Donde:

F_E : Fuerza de Empuje

D_A : Densidad del Aire

V_{AD} : Volumen de Aire Desplazado

G : Gravedad



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Por lo tanto, para que el globo flote, la fuerza de empuje ejercida sobre él debe ser igual al peso:

$$P_{CU} = M_{CU} * G$$

Donde:

P_{CU} : Peso de Carga Útil

M_{CU} : Masa de Carga Útil

G : Gravedad

Luego:

$$\text{Fuerza Empuje} = \text{Peso Carga Útil}$$

De las relaciones anteriores y estimando la densidad del aire, es posible calcular el volumen necesario a desplazar para lograr un empuje dado. Sin embargo, es necesario considerar que el volumen de aires desplazado será reemplazado por un gas de menor densidad pero que también tiene un peso. Típicamente helio. Por esto, la fuerza de empuje total debe ser mayor que la sumatoria del peso de la carga útil, helio y globo.

Denominamos, entonces, al Peso Total como:

$$P_T = [(D_H * V_{AD}) + M_C] * G$$

Donde:

P_T : Peso Total

D_H : Densidad del Helio

V_{AD} : Volumen de Aire Desplazado

M_C : Masa de Componentes

G : Gravedad

Finalmente:

$$V_{AD} = \frac{P_T}{D_A - D_H}$$

El cálculo anterior da el volumen de aire desplazado mínimo para que el globo flote. A este volumen mínimo se lo incrementa con la intención de lograr una velocidad de ascenso deseada y una altura de ruptura dada.

Existe una relación inversamente proporcional entre la velocidad de ascenso y la altura de ruptura para un tamaño dado de globo. Esto se debe a que para incrementar la velocidad de ascenso del globo es necesario incrementar el volumen del aire desplazado. Con lo cual, se coloca más helio lo que en contraparte, hace que reviente a menor altura por el incremento de presión interna.

Los globos atmosféricos comerciales se venden por su peso, es decir, 100gr, 400gr, 600gr. Al estar estandarizados se puede calcular, mediante calculadoras online, la altura de ruptura según el peso a elevar, la cantidad de helio y la velocidad de ascenso deseada.

Por otro lado, si no es posible lograr la velocidad de ascenso y altura de ruptura deseada se debe pasar a un globo de mayor tamaño.



Por lo anteriormente mencionado, los requisitos de la misión condicionan la elección del globo y las características del vuelo.

5.1.2.2 ENLACES DE COMUNICACIONES INALÁMBRICOS

Los enlaces de comunicaciones inalámbricos basan su funcionamiento en la propagación de ondas de radio, también llamadas ondas electromagnéticas. Estas viajan desde un transmisor, que codifica información en las ondas, hacia un receptor el cual será capaz de capturar esa onda de radio y obtener la información codificada en la misma.

Su propagación generalmente se la considera en el vacío y se lo conoce como propagación por el espacio libre, en el cual no se consideran pérdidas como las que introduce la propagación por la atmósfera de la tierra. Esto se debe a que la esta no presenta buenas características para que las ondas electromagnéticas puedan desplazarse con la facilidad que se desearía, por tal motivo, se han desarrollado varias estrategias para poder mitigar los efectos dañinos que causa la tierra sobre la propagación de las ondas electromagnéticas,

Dependiendo de la banda de frecuencias en la que estas ondas se propagan, su comportamiento será diferente, siendo estas clasificadas por los efectos predominantes a los que están expuestas. Por lo anterior, puede entenderse que las ondas terrestres son influidas por la atmósfera y por la Tierra que afectan sus trayectorias que normalmente son en línea recta; siendo las formas de propagación más usuales las siguientes:

- *Propagación por onda terrestre.*
- *Propagación por onda espacial.*
- *Propagación por ondas celestes.*

Las ondas electromagnéticas se ven afectadas por ciertos fenómenos que se deben tener en cuenta a la hora de calcular un radio enlace. Estos fenómenos se explican a continuación.



5.1.2.3 ATENUACIÓN

Es un fenómeno que tiene por efecto la pérdida de energía de una señal debido a la distancia, a medida que la onda se aleja de la fuente, las ondas se alejan cada vez más entre sí, por tanto, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. Se puede decir que no se pierde o disipa potencia, la onda solo se extiende sobre un área mayor disminuyendo la densidad de potencia conforme aumenta la distancia y se lo llama atenuación de la onda. Este fenómeno también se conoce como la “ley de la inversa del cuadrado”.

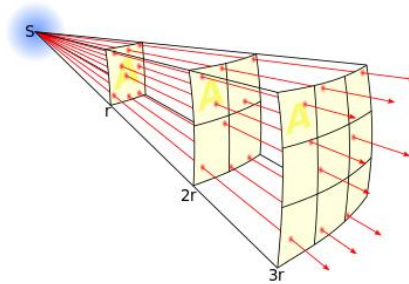


Figura 2 - Ley de Inversa del Cuadrado

Para que la señal llegue con la suficiente energía es necesario el uso de amplificadores o repetidores. La atenuación se incrementa a medida que se incrementa la frecuencia, temperatura y el tiempo.

5.1.2.4 ABSORCIÓN

El efecto de absorción se debe a que la atmósfera está compuesta por átomos y moléculas de sustancias gaseosas, líquidas y sólidas que deterioran la señal al absorber poco a poco parte de la energía de una onda electromagnética que viaja de un lugar a otro.

Una vez que la energía es absorbida por dichos elementos se pierde, causando atenuación en la intensidad de voltaje y en el campo magnético, resultando en la atenuación de la densidad de potencia. En la Figura 3 se observa los niveles de atenuación causados por la atmósfera a distintas frecuencias.

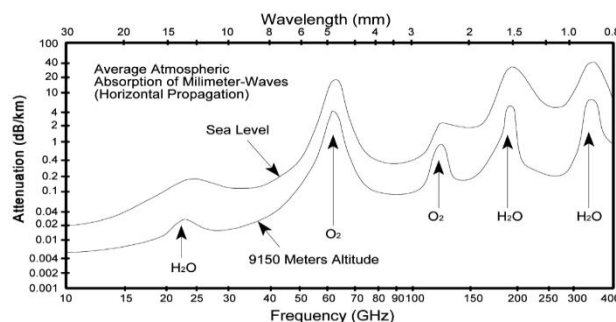


Figura 3 - Absorción de RF Atmosférica



5.1.2.5 REFRACCIÓN

El desvío de trayectoria de un rayo al pasar con dirección oblicua por medios de diferente densidad se llama refracción, siendo la velocidad del rayo inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga. La figura muestra la refracción de un frente de onda en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades.

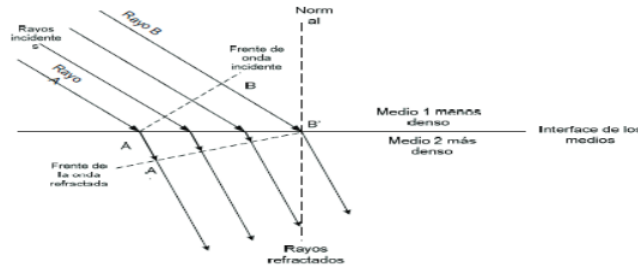


Figura 4 - Refracción de Onda Electromagnética

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.353) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

5.1.2.6 REFLEXIÓN

Este fenómeno se produce al chocar un frente de onda en la frontera de dos medios contiguos lo que produce que parte o toda la potencia incidente se refleje. Las velocidades de la onda incidente y reflejada son iguales siempre que permanezcan en el mismo medio. Si se cumple la condición anterior, los ángulos de incidencia y de reflexión también son iguales, lo que varía es la intensidad de voltaje reflejado el cual es menor respecto al incidente, la relación entre voltaje reflejado e incidente da como resultado el llamado coeficiente de reflexión.

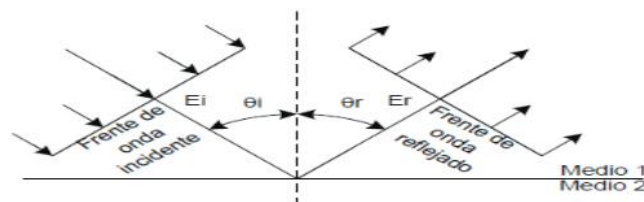


Figura 5 - Reflexión de Onda Electromagnética

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.361) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

Este fenómeno no se produce solamente en la frontera de dos medios, sino que también se puede producir cuando el medio presenta una superficie áspera e irregular creando una reflexión difusa como se ve en la Figura 6, pues el choque del frente de onda sobre una superficie de estas características provoca que el frente de onda se disperse en diferentes direcciones, pero también existe reflexión cuando hay una superficie completamente lisa, lo cual genera reflexión corpuscular, las superficies denominadas semiásperas abarcan a las llamadas superficies lisas e irregulares.



Su efecto sobre el frente de onda es que reduce su potencia total.

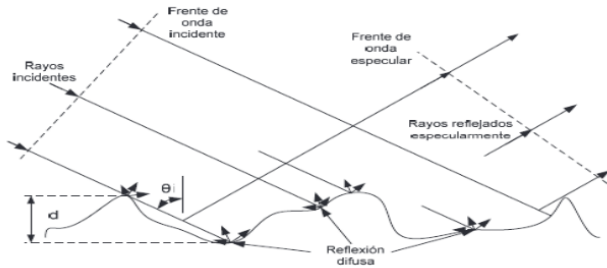


Figura 6 - Reflexión de Superficie Semiaspera

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.361) por Wayne Tomasi 4ta Edición

5.1.2.7 DIFRACCIÓN

Es la redistribución de la energía en el frente de onda al pasar por la orilla de un objeto opaco, este fenómeno es el que permite que una onda se propague en torno a las esquinas de tal objeto.

Como lo describió Huygens todo punto que esté en el frente de onda se puede considerar como una nueva fuente secundaria de ondas, tal como vemos en la **Error! Reference source not found.**, las anulaciones de cada ondulación son parciales y se lleva a cabo en la orilla del obstáculo, permitiendo que las ondas secundarias se escurran en torno a las aristas del objeto y en la parte donde no existen anulaciones se llama zona de sombra.

Cada fuente secundaria irradia en todas las direcciones, a pesar de eso el frente de onda sigue su dirección original y no se reparte, porque la anulación de ondas secundarias se hace en todas las direcciones, excepto en la dirección en la que avanza la onda, por tanto, el frente de onda permanece plano.

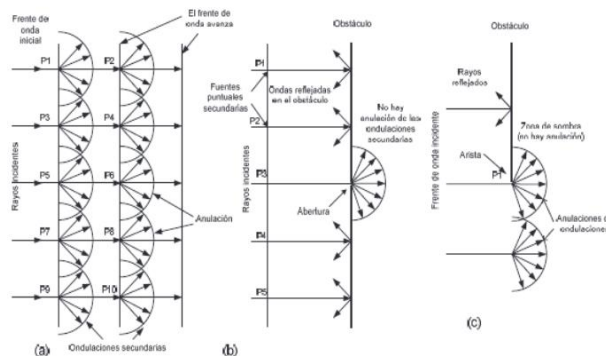


Figura 7 - Difracción de Ondas Electromagnéticas

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.358) por Wayne Tomasi 4ta Edición



5.1.2.8 INTERFERENCIA

La interferencia se refiere al principio de la superposición de ondas en un punto dado, este principio también afirma que la intensidad de voltaje en un punto dado es el resultado de sumar los vectores de las ondas individuales.

Esto deriva en el refuerzo de intensidad, siempre que la diferencia de las distancias recorridas de las ondas directa y reflejada sea un múltiplo entero e impar de la media longitud de onda. En cambio, se producirá una anulación de la intensidad, si la diferencia de las distancias recorridas es un múltiplo entero par se da un reforzamiento; en las frecuencias menores que VHF, las longitudes de onda relativamente grandes evitan que la interferencia sea un problema, este tipo de problemas son más usuales en UHF (300 MHz- 3 GHz) que en VHF (30 MHz- 300 MHz).

Cuando la diferencia de distancias sea intermedia entre las dos, puede producirse una anulación o un reforzamiento parcial. En la Figura 8 podemos observar la interferencia de ondas electromagnéticas que se genera al tener una superficie reflectora que cambia la dirección de la onda.

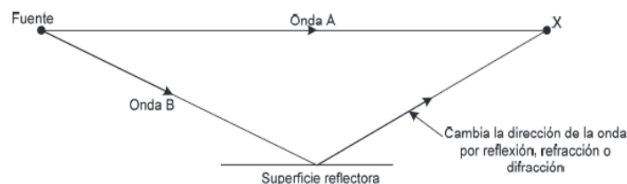


Figura 8 - Interferencia de Ondas Electromagnéticas



5.1.2.9 ANTENAS

Una antena es un dispositivo o elemento que tiene la función de un transductor, el cual toma un tipo de energía a la entrada y la transforma en otra forma de energía diferente a la salida, este elemento genera y recoge ondas electromagnéticas. Cuando genera ondas electromagnéticas, convierte señales eléctricas en ondas electromagnéticas y cuando recoge ondas electromagnéticas las transforma en señales eléctricas.

5.1.2.9.1 FUNCIONAMIENTO DE UNA ANTENA

La antena emisora envía una onda electromagnética que será recibida por un conductor eléctrico, el cual es la antena receptora, la misma que funcionará como transductor, pues la inducción de la onda electromagnética en la antena hace que la antena transforme esta onda en una señal eléctrica, para que luego pueda ser interpretada por los usuarios como pueden ser datos, audio o video.

Existen antenas de distintos tipos como son:

- Dipolo
- Dipolo Multi-Elemento
- Yagi
- Panel Plano
- Parabólica

1. Antena Dipolo

Es un hilo conductor el cual se corta por la mitad con una medida igual a la media longitud de onda según la frecuencia en la que se esté trabajando, en cuyo centro se coloca un generador.

La longitud de un dipolo depende de la frecuencia a la que se trabaja, por tanto:

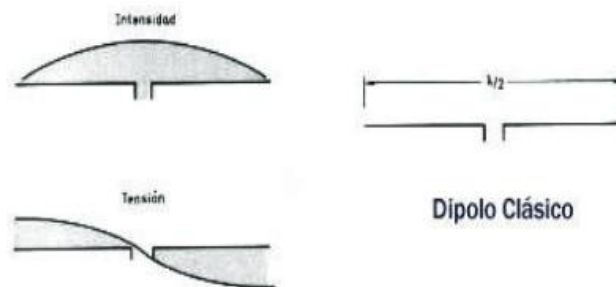


Figura 9 - Antena Dipolo

$$L = \frac{150}{f}$$

Siendo f la frecuencia de trabajo medida en megahercios.

El material con el que se construye es material conductor, el cual es generalmente cobre, la medida que se obtiene con la fórmula descrita anteriormente variará pues para obtener la resonancia se debe acortar ligeramente esta longitud, así que se puede considerar que acortando la longitud un 5 % se consigue la condición de resonancia. Por lo tanto, la fórmula es:



$$L = \frac{142.5}{f}$$

En la práctica, si es que no se está trabajando en frecuencias muy elevadas, se debe tomar en cuenta que el diámetro del hilo puede tener influencia. Normalmente la impedancia nominal de un dipolo es de 73 ohmios. Esta característica depende de la distancia a la que se encuentra del suelo, es por eso que la impedancia varía considerablemente.

Dependiendo de la altura a la que se encuentra el dipolo varía su impedancia nominal, a mayor altura la variación de la impedancia será menor y nos permite acercarnos al valor nominal de 73 ohmios con mayor facilidad, conviene evitar alturas que se encuentren entre un poco más de 1/4 y un poco menos de 1/2 de longitud de onda. Además, que un dipolo no debe montarse a alturas inferiores a 1/4 de longitud de onda pues la impedancia baja muy rápidamente haciendo difícil su acoplamiento con la línea de alimentación.

2. Antena Yagi

Se compone de elementos parásitos o llamados elementos pasivos que carecen de conexión eléctrica con el irradiante, que al ubicarlos en las cercanías de un dipolo de media longitud de onda, podemos alterar su comportamiento.

El elemento parásito es un conductor que se ubica en forma paralela al dipolo de media onda o "irradiante", a una distancia apropiada y que debe poseer una longitud adecuada. Por tanto, no es cualquier distancia, ni cualquier medida.

Dentro de los elementos llamados parásitos o pasivos tenemos el director el cual proporciona ganancia en el sentido dirigido desde él hacia el elemento activo o irradiante, y por lo general el director es más corto que el irradiante. Otro elemento pasivo conocido como reflector es el que proporciona ganancia de potencia en el sentido dirigido desde el irradiante hasta él y siempre es más largo que el elemento activo.

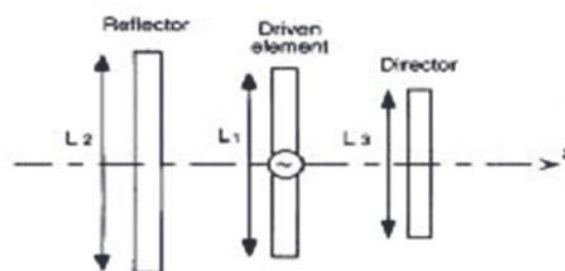


Figura 10 - Elementos Básicos de Antena Yagi

Estos son los principales elementos que acompañan a un irradiante, es así que para tener una antena Yagi como mínimo se debe contar con estos 3 elementos Director, Irradiante y Reflector como podemos ver en la Figura 10.

Una antena Yagi compuesta de seis elementos puede lograr cifras de ganancia ubicadas en el orden de los 12 dB.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

A continuación, podemos observar los patrones de azimuth y elevación de este tipo de antenas en la Figura 1.11 y Figura 1.12

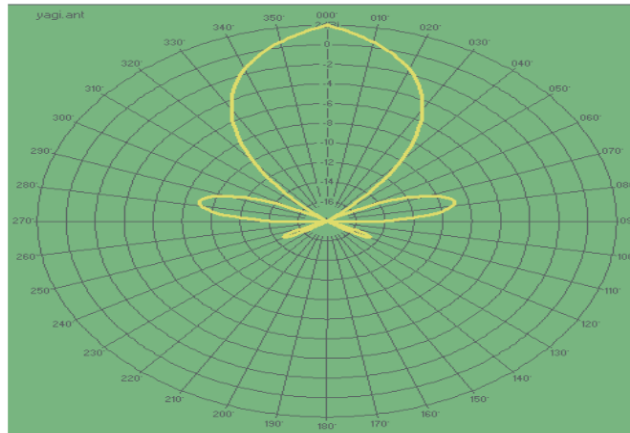


Figura 12 - Patrón de Azimuth de la antena Yagi

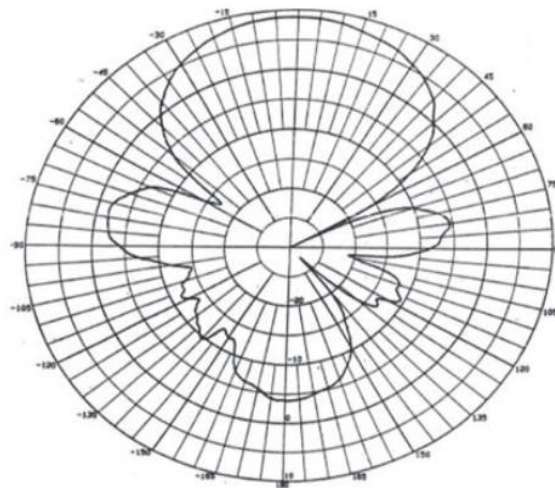


Figura 11 - Patrón de Elevación de Antena



Finalmente, en la Figura 13 se puede observar un patrón de irradiación de una antena yagi multielemento mediante una simulación 3D.

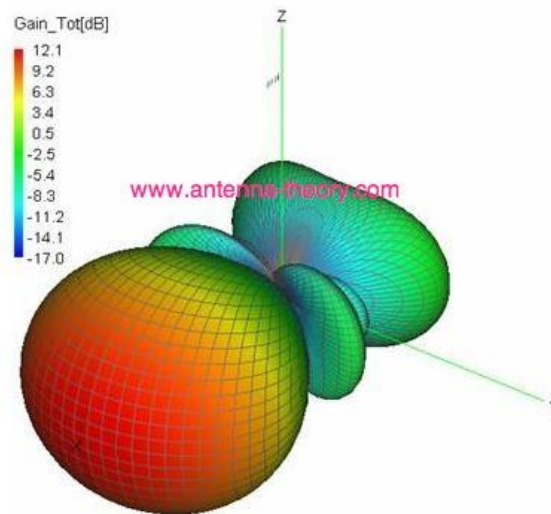


Figura 13 - Patrón de Irradiación yagi

5.1.2.9.2 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LAS ANTENAS

1. Ganancia Directiva y Ganancia de Potencia

Los términos ganancia directiva y ganancia de potencia son términos que tienden a ser mal entendidos con frecuencia.

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular con respecto a la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, normalmente isotrópica, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia.

La gráfica de densidad de potencia de radiación para una antena en realidad es una gráfica de ganancia directiva. La ganancia directiva máxima se llama directividad.

La ganancia de potencia es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas.

2. Potencia Isotrópica Efectiva Irradiada

La EIRP es una potencia equivalente que debería irradiar una antena isotrópica para igualar la misma densidad de potencia que otra antena en la dirección elegida o en determinado punto, por ejemplo, si determinada antena de transmisión tiene ganancia de potencia de 10, la densidad de potencia a una distancia dada de la antena es 10 veces mayor que la que sería si la antena fuera un radiador isotrópico. Una antena isotrópica tendría que irradiar 10 veces más potencia para alcanzar la misma densidad de potencia.

Es así que la antena irradia 10 veces más respecto a una antena isotrópica.



3. Polarización de la Antena

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella, entre los tipos de polarización tenemos la polarización lineal que puede ser vertical u horizontal.

Si la componente de campo eléctrico de la onda es perpendicular a la Tierra, la onda está polarizada de modo vertical, entonces se dice que una antena ubicada verticalmente produce polarización vertical, como se muestra en la Figura 14.

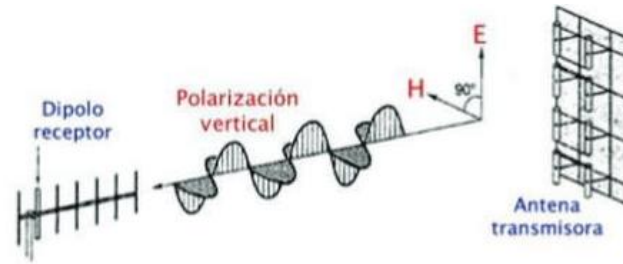


Figura 14 - Polarización Vertical de Antenas

Pero si una onda está horizontalmente polarizada, el campo eléctrico es paralelo a la Tierra, eso significa que la antena está ubicada horizontalmente, produciendo una polarización horizontal como muestra la Figura 15.

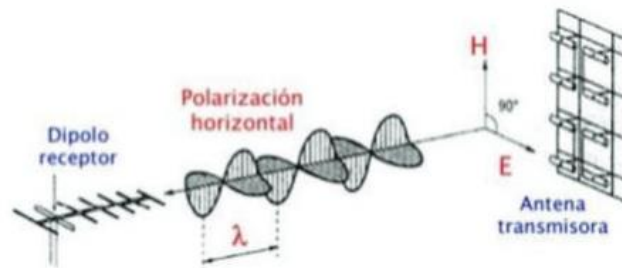


Figura 15 - Polarización Horizontal de Antenas

Normalmente en los sistemas radioeléctricos de comunicación es muy importante que las antenas transmisora y receptora tengan la misma polarización de la onda para una óptima recepción tal como podemos ver en la Figura 14 y Figura 15, en donde las antenas de transmisión y recepción están ubicadas de tal forma que produzcan la misma polarización ya sea esta polarización horizontal o polarización vertical.

4. Abertura del Haz de la Antena

La apertura del haz de una antena es la separación angular entre dos puntos A y B respectivamente considerados de media potencia (-3 dB) en el lóbulo mayor de la gráfica de radiación de una antena que normalmente se suele tomar en uno de los planos "principales". Se aprecia el ángulo del haz en la Figura 16, la apertura del haz se llama a veces ancho de haz o ancho de haz de media potencia o ancho de lóbulo.



Además, se puede acotar que la ganancia de la antena es inversamente proporcional a la abertura del haz mientras más grande es la ganancia de la antena el ancho del haz se hace más pequeño, dicho

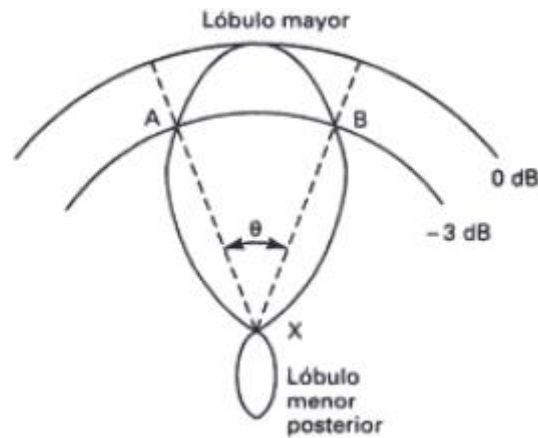


Figura 16 - Abertura del haz de la antena

enunciado se puede comprobar en las antenas microonda de alta ganancia que tienen un ancho de haz de 1° .

5.1.2.9.3 PRESUPUESTO DE POTENCIA

Un presupuesto de potencia par a un enlace punto a punto se define como el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor o fuente de la señal que emite la onda electromagnética, a través de cables, conectores o el espacio libre hacia el receptor. Para elegir el equipamiento adecuado es necesario realizar el presupuesto de potencia.

1. Pérdidas en el Espacio Libre

Las pérdidas en el espacio libre se producen al propagarse la onda por el vacío y en línea recta sin tomar en cuenta la absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos.

Esta pérdida se produce por el reparto de la energía la onda por una superficie cada vez mayor.

Se la calcula mediante la fórmula:

$$L = 32,4 + 20 \log(d[\text{km}]) + 20 \log(f[\text{MHz}])$$

Donde:

L : pérdidas de espacio libre en dB

d : distancia en kilómetros desde la fuente

f : frecuencia de operación en MHz

2. Margen de Desvanecimiento

En el margen de desvanecimiento se están considerando las pérdidas intermitentes en la intensidad de la señal provocadas por perturbaciones meteorológicas, como la lluvia, nieve, trayectos múltiples de transmisión y por la superficie irregular de la Tierra que afectan la propagación de las ondas electromagnéticas. El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar características no ideales y no tan predecibles en la propagación de ondas de radio.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Además, el margen de desvanecimiento nos permite tener en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

$$F_m = 30 \log(d) + 10 \log(6 * A * B * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

F_m: Margen de Desvanecimiento en dB

d: Distancia del transmisor

A: Factor de Rugosidad

B: Factor Climático

f: Frecuencia de trabajo

$1 - R$: objetivo de confiabilidad del enlace

3. Umbral de Recepción

El umbral de recepción, es un valor referencial de potencia que tiene el equipo receptor, aquellos valores de señal por encima de este se pueden decir que lograrán establecer una comunicación inalámbrica confiable.



5.1.2.10 GLOBOS ATMOSFÉRICOS

5.1.3 SI BIEN LA TEORÍA DE POR QUÉ FLOTAN LOS GLOBOS YA FUE TRATADA EN LA SECCIÓN MARCO TEÓRICO

, no se hizo mención de las partes que conforman un lanzamiento de globo.

Estas partes se pueden observar en la Figura 17.

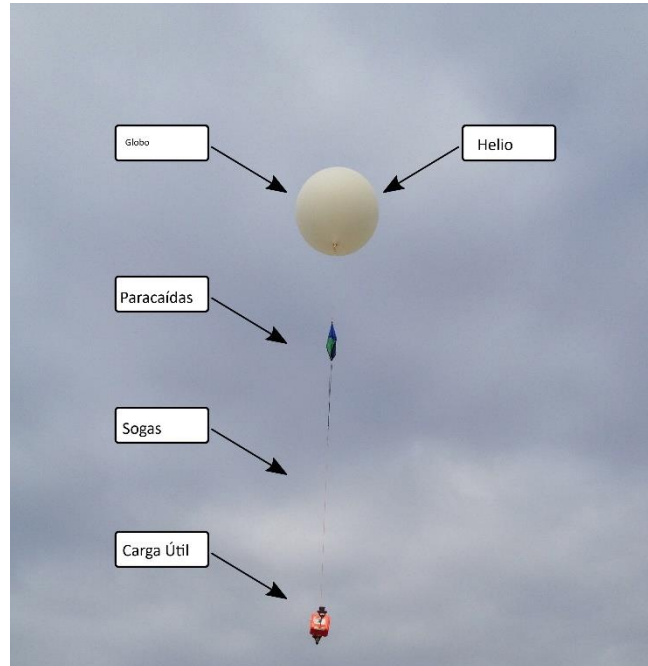


Figura 17 - Partes de Globo Sonda

Es importante remarcar que cada parte, aporta masa, por lo que se debe tener especial cuidado en no sobredimensionar componentes innecesariamente, ya que esto afecta las características del vuelo.

5.1.3.1.1 GLOBOS

En la práctica, cualquier globo puede ser usado para lanzar una carga a la atmósfera, sin embargo, no se podrá lograr un lanzamiento predecible ya que habrá muchas incógnitas respecto del rendimiento de dicho globo.

Por lo anterior es que se utilizan globos específicamente diseñados para tal uso. Estos, son fabricados de distintos materiales con características distintivas, pensadas para casos de uso específicos.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Por ejemplo, en la Figura 18 se puede observar los distintos tamaños que ofrece la marca Kaymont de Globos Atmosféricos.



Figura 18 - Globos Kaymont

Dichos globos son fabricados en látex y tienen la particularidad de que permiten calcular la velocidad de ascenso y la altura de ruptura. Permitiendo planificar lanzamientos de corta o mediana duración. Otro tipo de globo se encuentra en la Figura 19.



Figura 19 - Globo de Mylar

Compuestos de mylar, estos globos llevan cargas de unos pocos gramos y pueden permanecer en vuelo durante muchos meses.

Se los infla parcialmente con helio para que alcancen una altura de flotación neutra entre los 10 y 12 Km de altura, en la que pueden permanecer durante meses.

5.1.3.1.2 GASES

En cuanto a gases, se puede utilizar tanto helio como hidrógeno.

Siendo el hidrógeno el gas ideal, ya que es el más liviano de los dos. Sin embargo, no es muy utilizado dada su alta inflamabilidad con el oxígeno de la atmósfera.

Por lo anterior, se opta por utilizar helio. El cuál experimenta una fuerza de empuje 7% menor que el hidrógeno.

Ambos gases presentan el problema de las impurezas en su mezcla. Esto es debido a que no existen naturalmente en estado puro y los métodos industriales de purificación se vuelven exponencialmente más costosos a medida que se incrementa la pureza.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Por otro lado, de forma comercial es más fácil conseguir helio ya que es comúnmente usado para inflar globos de forma recreacional, sin embargo, no se puede garantizar una pureza elevada.

5.1.3.1.3 PARACARÍADAS

El paracaídas sólo se utiliza si se pretende recuperar la carga útil. Un paracaídas comúnmente usado en la Figura 20 se puede replicar sencillamente.



Figura 20 - Paracaídas

Para el cálculo del paracaídas se debe tener en cuenta el peso de la carga útil a recuperar y la velocidad de descenso deseada.

La velocidad de descenso es una relación de compromiso entre desplazamiento por el viento y velocidad de impacto. Ya que cuanto menos se desea que se desplace por el viento más rápido debe caer, pero la carga útil deberá soportar un impacto mayor.

Se debe considerar la integridad de las personas y propiedad privada. Ya que una carga útil de 2Kg cayendo a 20km/h puede ocasionar daños considerables y ser un riesgo a la salud pública.

5.1.3.1.4 SOGAS

El peso de las sogas se debe considerar dentro del presupuesto de masa del lanzamiento. Esto hace que la selección del grosor y material de la soga sea importante, esta debe:

- Soportar los esfuerzos a los que estará sometida,
- Permitir cortarse mediante algún mecanismo electromecánico u eléctrico,
- Ser liviana.

5.1.3.1.5 CARGA ÚTIL

La carga útil es en lo que se centra el presente desarrollo, por lo que será desarrollada en detalle en secciones posteriores.

5.1.3.1.6 CANSATS

Un CanSat es un pequeño "satélite" que tiene el tamaño y la forma de una lata de gaseosa (de ahí su nombre, que proviene de "Can" que significa lata en inglés, y "Sat" que es la abreviatura de satélite).



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Están diseñados para ser lanzados desde un cohete o un globo a la atmósfera superior de la Tierra y realizar diversas misiones científicas o educativas en el espacio cercano.

Los CanSats son mayormente utilizados en proyectos educativos y de capacitación para estudiantes, permitiéndoles aprender sobre ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) al diseñar, construir y lanzar estos pequeños satélites. Se los diseña más que nada para realizar mediciones con sensores, aunque también se realizan proyectos más complejos. Además, están preparados para almacenar los datos de los sensores o transmitirlos por un radio enlace de corto alcance.

En la Figura 22 se observa un ejemplo de un CanSat simple. Sin embargo, aunque su tamaño es reducido, pueden alcanzar complejidades mayores como se aprecia en la Figura 21.



Figura 22 - CanSat Simple

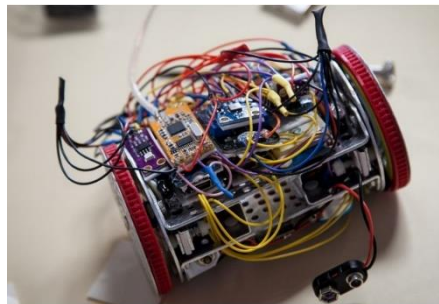


Figura 21 - CanSat Complejo



5.1.4 ESTADO ACTUAL

Los lanzamientos de cansat mediante cohetes alcanzan alturas de unos pocos kilómetros. Con una duración de vuelo entre lanzamiento y recuperación de unos pocos minutos dependiendo del paracaídas utilizado y la altura alcanzada.

Esta corta altura y duración, sumado a los elevados costos de lanzamiento hace que las misiones de cansat sean pocas y no permitan misiones de larga duración y exigencias tecnológicas.

Por otro lado, lanzamientos de mayor altura imponen problemáticas de diseño de misión que sobrepasan las capacidades de ingeniería de los estudiantes a quienes están dirigidas la iniciativa CANSAT.

Es por esto que la problemática o foco de la misión es facilitar los lanzamientos de cansats, abstrayendo a sus diseñadores, de las dificultades impuestas por los objetivos de altura, distancia y planificación de misión con globos.

5.1.4.1 CONDICIONES DE CONTORNO (CONSIDERACIONES)

Gracias al apoyo de los sponsors del proyecto se pudo obtener:

- Un globo Kaymont de 600 gramos (Figura 24). Útil para lanzar cargas de hasta 2Kg a una altura de 30km.
- Un par de transceptores de 900MHz de 1W de potencia con los que es posible realizar un enlace bidireccional a 9600 baudios de hasta 60km de distancia. (Figura 23)
- 5m³ del helio requerido para el lanzamiento.
- Aislación térmica.



Figura 24 - Globo Kaymont de 600 gr



Figura 23 - Módulo Tranceptor 9xTend de 900MHz



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Los logros anteriores condicionan aspectos claves del proyecto. Ya que la masa total no deberá superar los 2kg, la comunicación bidireccional tendrá una distancia máxima de 60km ideales y sólo se disponen de 5m³ de helio para el inflado del globo.

Un aspecto importante es la zona de lanzamiento. Ya que esta será la que condicione el área donde caerá la carga una vez reviente el globo.

Gracias a los sponsors, fue posible conseguir como zona de lanzamiento el predio de la empresa Mendoza Balloons, ubicado en la localidad de Junín. Este predio es ideal ya que se encuentra alejado de zonas habitadas para disminuir los riesgos durante el descenso de la carga útil.

Sin embargo, dadas las características del viento en nuestra provincia, es esperable que el globo caiga dentro del desierto de Lavalle, haciendo muy difícil su recuperación.

En la Figura 25 se puede observar una simulación de trayectoria de un lanzamiento de similares características al propuesto.



Figura 25 - Predicción de Vuelo Estimada



5.1.5 DESARROLLO DE SOLUCIÓN

La solución propuesta se debe subdividir en sistemas:

- Sistema de Comunicaciones,
- Sistema de Control,
- Sistema Mecánico,
- Sistema de Energía,
- Sistema de Interfaz.

Estos sistemas se esquematizan en la Figura 26, donde se mencionan aspectos a tener en cuenta de cada sistema.

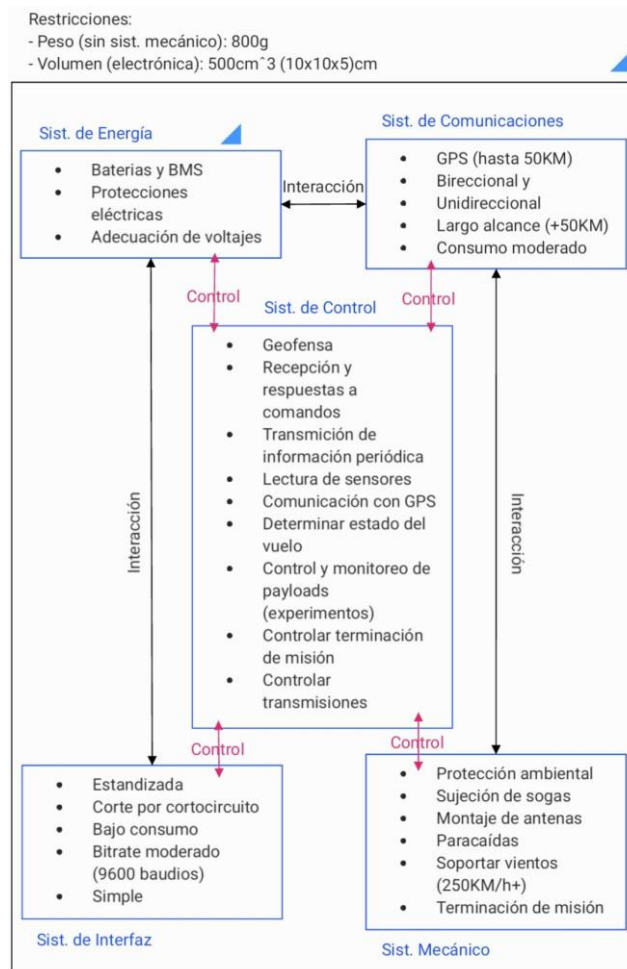


Figura 26 - Sistemas



5.1.5.1 SISTEMA MECÁNICO

Ya que parte del proyecto está destinado al sector educativo, se propone aprovechar el Standard CubeSat para el desarrollo del Sistema Mecánico.

Utilizar el estándar CubeSat como plataforma mecánica tiene por objetivos:

1. Seguir con la “temática espacial” que se utiliza en el programa CanSat llevado a cabo por CONAE,
2. Utilizar un standard reconocido y aceptado internacionalmente como base para el diseño mecánico,
3. Introducir a los usuarios del proyecto al trabajo con estándares eléctricos y mecánicos.

La estandarización del formato mecánico del proyecto permitirá optimizar el diseño para utilizar técnicas de fabricación e iteración rápida como la impresión 3D. Permitiendo, también, que el diseño sea replicable con un bajo costo de entrada.

Se toman las siguientes dimensiones como punto de partida del desarrollo:

- Espacio para carga útil: 1U pensado para que cada CanSat ocupe un volumen máximo de $\frac{1}{2}$ U. Es decir, un volumen de 5cmX10cmX10cm.
- Espacio para Sistemas de Soporte: $\frac{1}{2}$ U.

Se puede apreciar en la Figura 27 los espacios dedicados a cada sección del sistema mecánico.

Como se debe tener en cuenta el peso del sistema mecánico, se toman medidas para optimizar el uso del mismo.

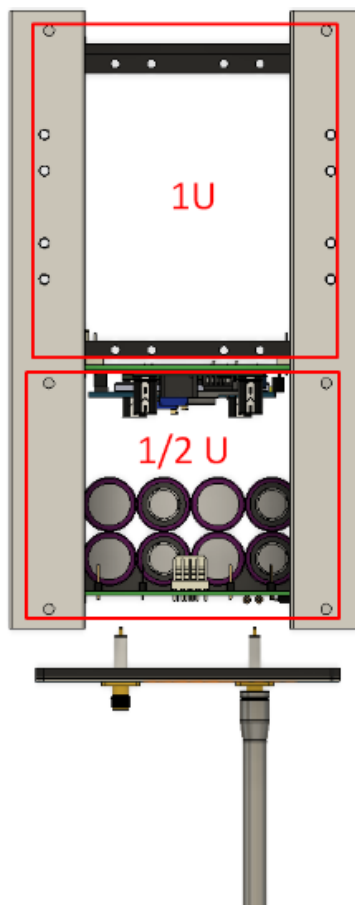


Figura 27 - Tamaños



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Por tal motivo se utilizará la electrónica como parte estructural del sistema mecánico, condicionando el tamaño, ubicación y diseño de las placas electrónicas.

Finalmente, la estructura mecánica de sujeción de los elementos activos del sistema deberá entrar dentro del espacio disponible por la aislación térmica. Esto condiciona también la forma de ensamble y pruebas del sistema.

En la Figura 28 se puede observar la aislación térmica junto con un maquetado 3D de la estructura mecánica.

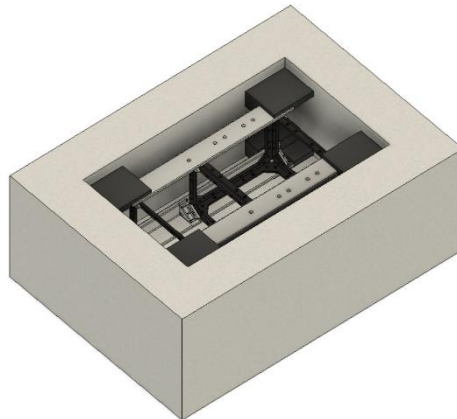


Figura 28 - Aislación Térmica



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

En la Figura 29 se observa un corte de sección donde se aprecia la tapa de la aislación térmica en conjunto con la estructura de soporte mecánico suspendida en el interior del recinto térmico.

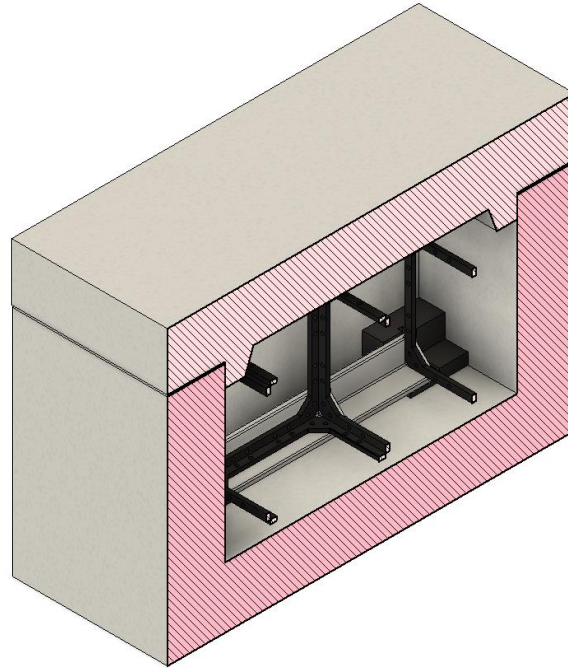


Figura 29 - Corte de sección de la aislación

Una vez digitalizados los diseños, tanto de la aislación como de la estructura interna se continuó el desarrollo con su fabricación en físico.

Para esto se utilizó impresión 3D y corte láser de MDF para maquetar la estructura con materiales livianos, en pos de la reducción de peso necesaria.

En la Figura 30 se observa la aislación térmica con su tapa.



Figura 30 - Aislación Térmica



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Posteriormente, se tiene la estructura de sujeción mecánica presentada en el interior de la carcasa térmica.

Para el montaje de las antenas se debe tener en cuenta que éstas requieren un plano de masa para mejorar su eficiencia. El usar antenas omnidireccionales permite que éstas sean colocadas en la parte inferior externa de la aislación térmica.

Esto se logra adhiriendo con cemento de contacto el plano de masa a la cara externa de la aislación y conectando eléctricamente el plano de masa al negativo de la batería interna.

Se utilizaron dos antenas:

- Antena de 900 MHz ISM
- Antena helicoidal de UHF 144MHz

En la Figura 31 se observa el modelado digital del montaje de antenas. Mientras que la Figura 33 se observa el montaje final construido.

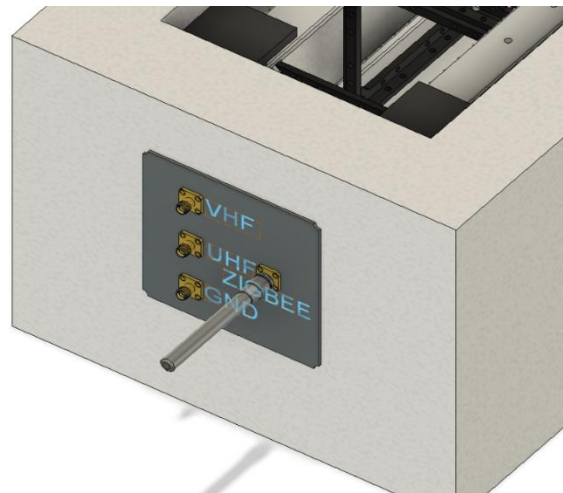


Figura 31 - Plano de Masa y Monturas de



Figura 33 - Construcción de Antenas y Plano de Masa



Figura 32 - Aislación con Estructura



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Otro aspecto mecánico que se consideró fue la elección de las sogas. Éstas deben ser lo suficientemente resistentes como para soportar el esfuerzo al que estarán sometidas y a su vez, permitir cortarse con un medio electromecánico para terminar el vuelo bajo comando.

Para tal motivo se seleccionó una soga de nylon de 5mm de espesor.



Figura 34 - Soga
de Nylon

El mecanismo de corte de la soga tiene las siguientes restricciones de diseño:

- *Peso*
- *Robustez mecánica*
- *Debe cortar la soga que une el paracaídas con el globo,*
- *Simpleza y repetitividad*
- *Costo*

La principal restricción de diseño aparte del peso es la ubicación de este mecanismo. Ya que se debe ubicar entre el paracaídas y el globo. Esto se debe a que, para disminuir el peso en sogas, el globo se sujeta al paracaídas y éste al payload.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Lo anterior se esquematiza en el siguiente boceto [Figura 35]. En el mismo se bosquejan dos posibles mecanismos de corte de soga.

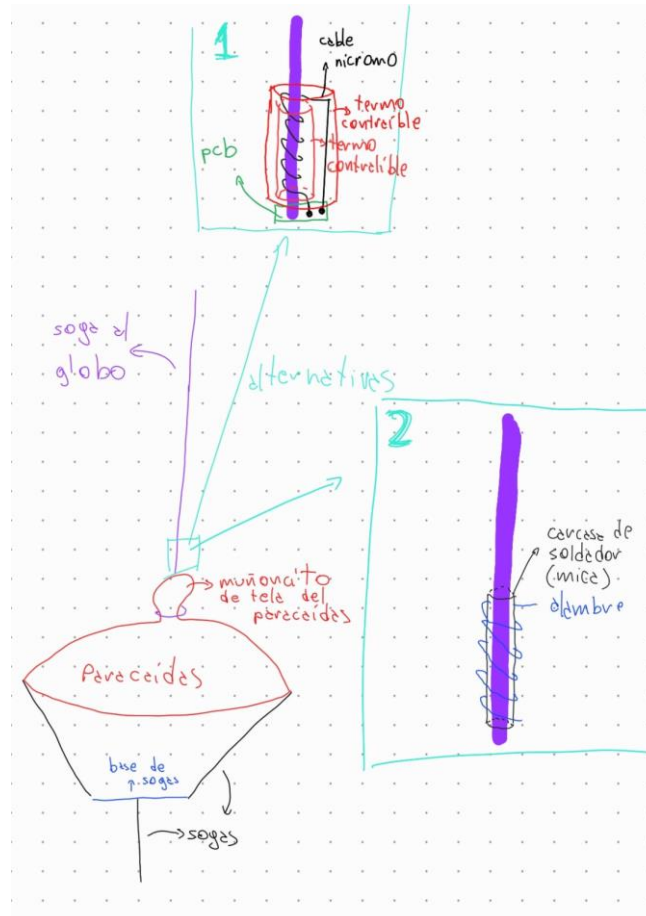


Figura 35 - Boceto de corte de sogas

Finalmente se optó por el boceto 1, debido principalmente a la fragilidad de las cerámicas de mica y al costo en materiales que insume conseguir mica hueca.

En la siguiente imagen se puede observar el mecanismo propuesto de terminación de vuelo. Este mecanismo se sometió a ensayos donde se simuló el peso del payload con una carga de agua de similar masa que la máxima estimada de 2KG.

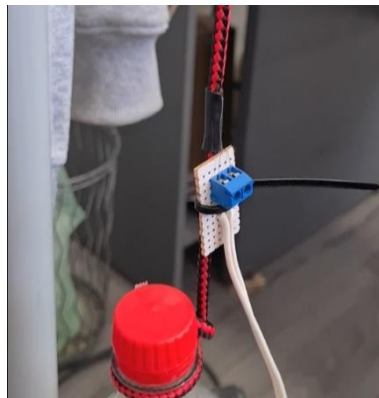


Figura 36 - Ensayo de

En el siguiente **ENLACE** se puede observar un video de los ensayos realizados.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Para el control del calentamiento se utilizó PWM, incrementando el ciclo de trabajo en etapas hasta que se detecta por GPS el cambio negativo en altura.

El PWM se incrementa por etapas para evitar sobrecalentar y cortar el alambre de nicromo, ya que dadas las bajas temperaturas de la atmósfera superior el metal se pone quebradizo.

5.1.5.2 SISTEMA DE CONTROL, INTERFAZ Y ENERGÍA

Estos sistemas se tratan en simultaneo ya que comparten interfaces y requerimientos.

La electrónica se dividió en dos PCB's. Estos forman parte estructural del sistema mecánico por lo que su forma y tamaño se encuentran limitados por el estándar elegido.

En la siguiente Figura 37 se observa la posición de la placa de control dentro de la estructura mecánica.

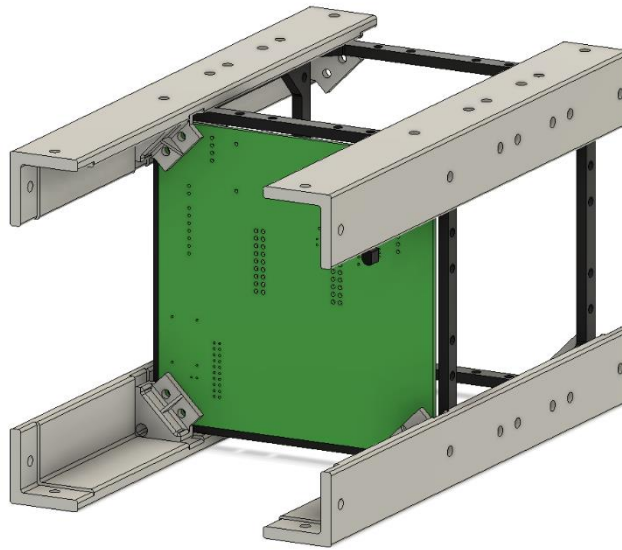


Figura 37 - Posición de Placa de Control



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Mientras que en Figura 38 se tiene un detalle de sección donde se puede observar la forma del borde del mismo PCB de control.

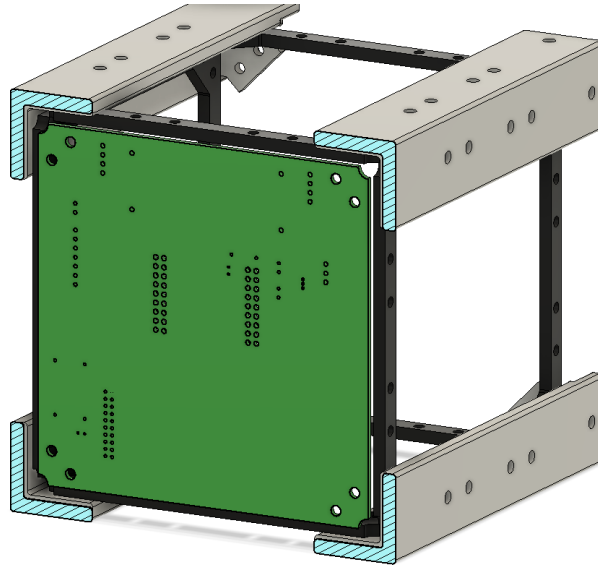


Figura 38 - Corte de Sección de PCB de Control

Finalmente se tiene la placa de control y energía construidas con el formato necesario.

Placa de Control:

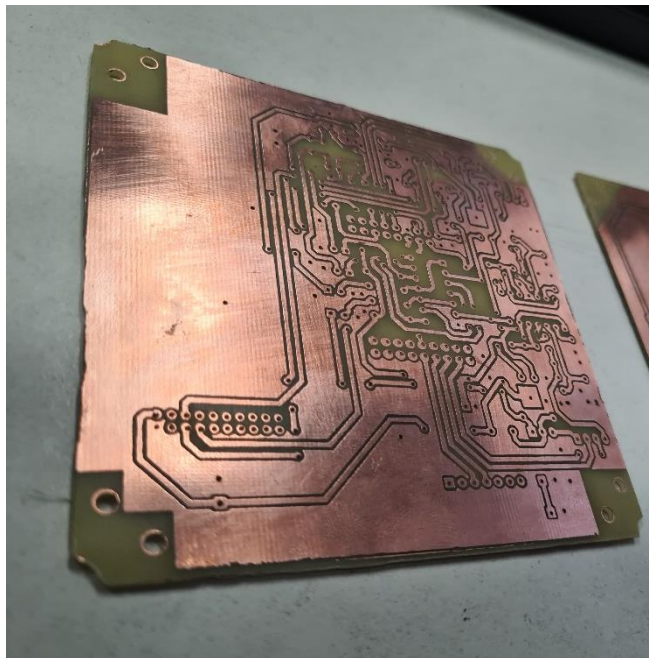


Figura 39 - Placa de Control



Placa de Baterías:

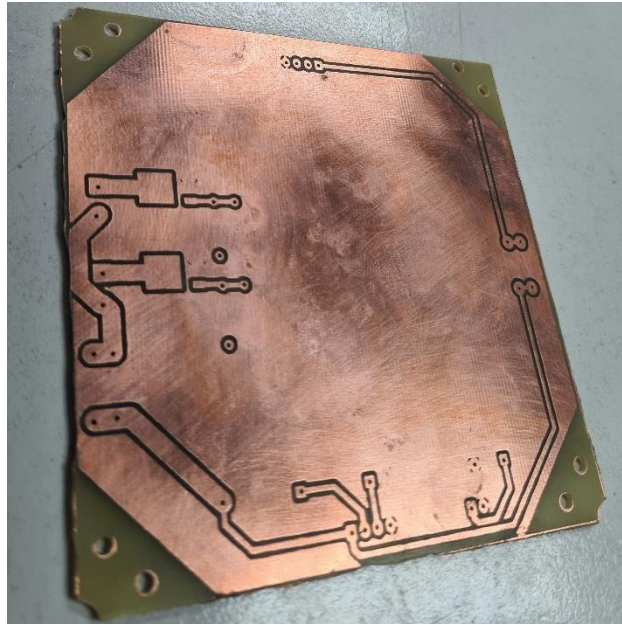


Figura 40 - Placa de Baterías

Por limitaciones de espacio y ruido eléctrico se optó por separar las funciones electrónicas en dos placas. Una placa contiene la electrónica de potencia y baterías mientras que la otra contiene la electrónica de control e interfaz con los experimentos.

Esto a su vez permite mantener el centro de masa lo más bajo posible, dando estabilidad durante ascenso y descenso.

5.1.5.2.1 PLACA DE CONTROL

Contiene:

1. Microcontrolador de Control (ESP32).
2. Transceptor de 900MHz Xtend.
3. Interfaces UART con experimentos.
4. Control de potencia para experimentos.
5. Conexión de potencia hacia placa de energía.
6. Conexión con placa GPS.

Para su diseño se utilizó Kicad con librerías estándares y propias.

En las siguientes subsecciones se detalla cada funcionalidad contenida en la placa de control.

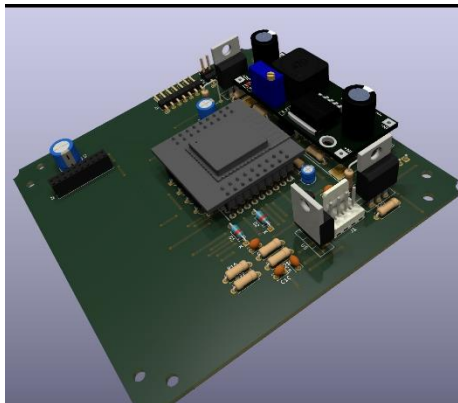


Figura 41 - Modelo 3D de Placa de Control

Se optó por un ESP32 debido a su gran cantidad de GPIO, su popularidad de mercado y stock al momento de realizar el desarrollo.

Para ahorrar espacio se colocó este uC sobre un pcb de adaptación y pines. Además, esto resultó necesario debido a la distancia entre contactos del módulo ESP32 smd que no permiten realizarse con el método de planchado de PCB's.

El módulo de adaptación mencionado se observa en la Figura 43.

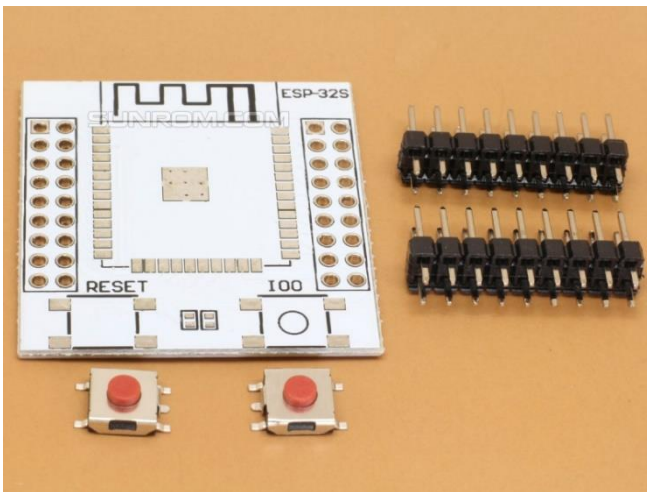


Figura 43 - Breakout board ESP32

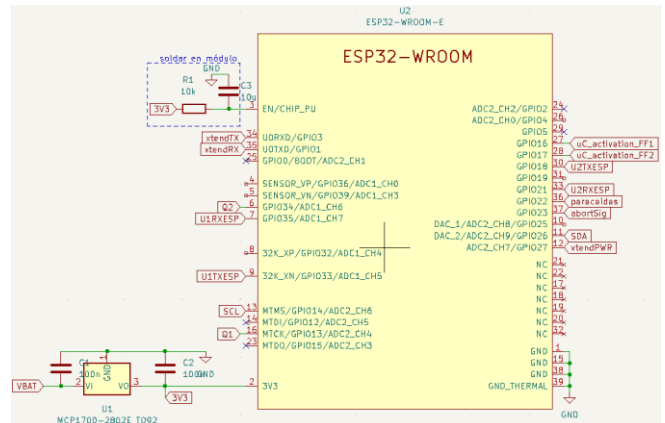
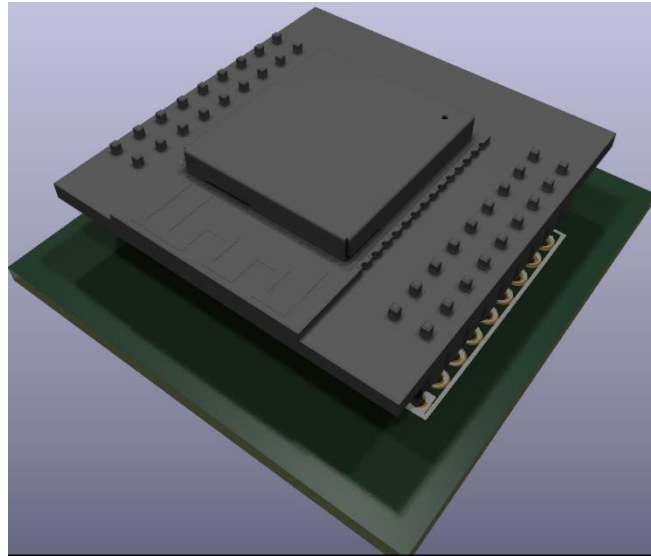


Figura 42 - uC de Control

Debido a que este módulo adaptador no se encuentra en las librerías estándares de Kicad fue necesaria su creación propia.



GPIO utilizado del microcontrolador:



*Figura 44 - Modelo Propio de Breakout Board
ESP32*

- *UART0, 1 y 2*
- *I²C*
- *ADC*
- *GPIO: I/O*

UART 1 y 2 se utilizan para comunicarse con los experimentos mediante una conexión MOLEX estándar. UART0 se utiliza como puerto de programación y puerto de comunicaciones mediante el enlace de 900MHz.

I²C se utiliza para comunicarse con la placa GPS.

ADC se usó para determinar el nivel de carga de la batería.

GPIO se utiliza para controlar el sistema de energía de experimentos y otros periféricos.

En la siguiente imagen se observa un recorte del esquemático de Control donde se denotan las distintas funciones realizadas por el GPIO del microcontrolador de control.



TRANSCCEPTOR 900MHZ XTEND

Este transceptor fue provisto por los sponsors. Requiere de otro transceptor similar para poder establecer el enlace. Este enlace será estudiado más detalladamente en secciones posteriores.

Para su integración en la placa de control se tuvo en cuenta su tamaño, requisitos de energía y montaje mecánico.

En la Figura 45 se tiene el transceptor montado en la placa de control (en rojo). Se aprecian: el montaje mecánico, capacitores de alimentación y conector.

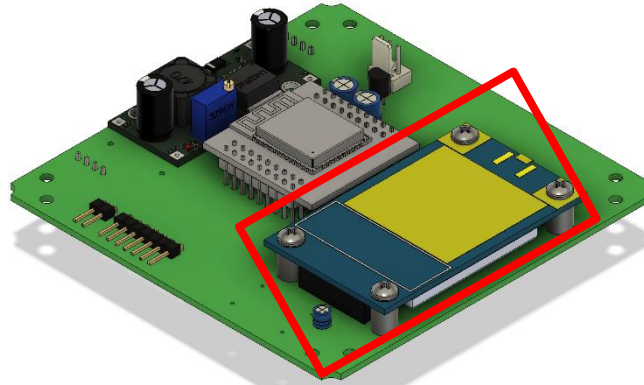


Figura 45 - Módulo Xtend en Placa de control

En la siguiente imagen se observa el diseño del PCB teniendo en cuenta las conexiones del transceptor.

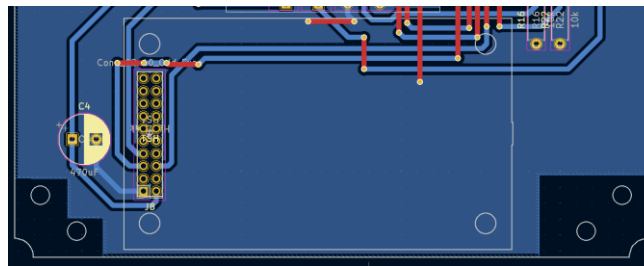


Figura 46 - Footprint Transceptor



INTERFACES UART CON EXPERIMENTOS

Dado que lo más probable es que los diseñadores de experimentos utilicen la plataforma Arduino se optó por dotar a la interfaz de:

- Energía de batería con protección de sobre corriente,
- Puerto UART a 9600 baudios

El uC de control es el encargado de recibir las tramas uart de los experimentos y reenviarlas mediante los radioenlaces disponibles.

Además, mediante un circuito de control de corriente se puede cortar la alimentación del experimento en caso de sobre corriente. Este mecanismo también permite la activación y desactivación de dichos experimentos de manera individual y controlada.

En la Figura 47 se tiene una sección completa del circuito de control de corriente.

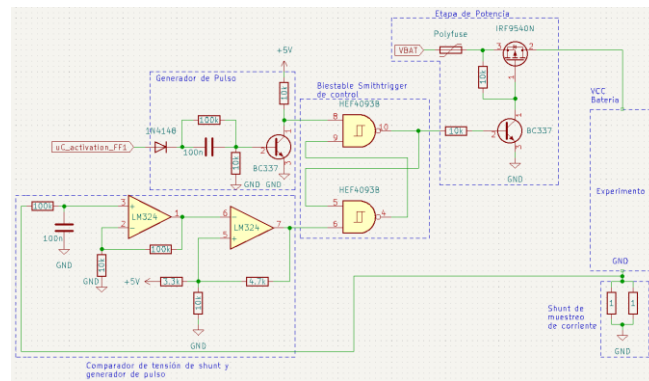


Figura 47 - Circuito de Control de Experimento

Este circuito funciona mediante un biestable de control cuyas entradas son controladas por:

1. El uC de Control y
2. La realimentación de corriente.

De esta forma, cuando la corriente excede el valor calibrado máximo de 500mA, la caída de tensión es amplificada por los operacionales y acciona la entrada RESET del biestable. Esto corta la alimentación del BJT de control del MOSFET, apagándolo.

Sin embargo, el uC puede colocar un pin de su GPIO en alto, generando un pulso en el pin de SET del biestable, activando el MOSFET y energizando el experimento.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Finalmente, las conexiones con los experimentos se realizan mediante un conector MOLEX estándar de 4 pines.

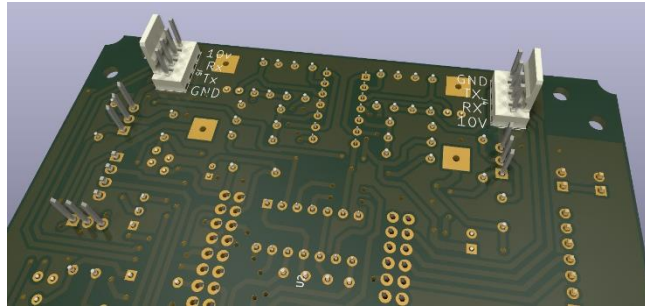


Figura 48 - Conexiones de Experimentos

En la Figura 49 se demuestra mediante simulación, el funcionamiento del circuito de control de potencia de los experimentos.

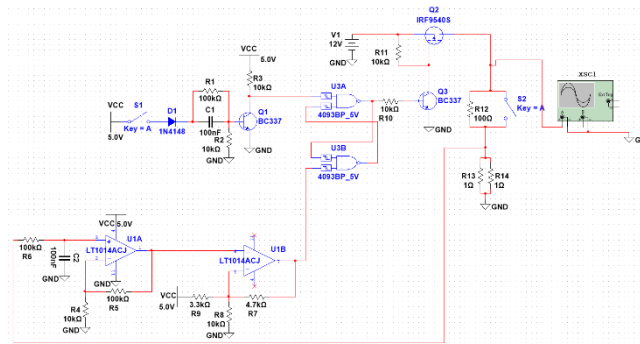


Figura 49 - Circuito en Simulación

Mientras que en la Figura 50 se muestra la salida del osciloscopio digital visto en la figura anterior. Mediante la llave S1 se simula la acción del uC de control y con S2 se simula un corto circuito en la carga.

- T1: funcionamiento normal: se proveen 12v a la carga
- T2: en la carga se produce un corto circuito, por lo que se corta la alimentación de la misma
- T3: el uC de control habilita nuevamente la alimentación

Será potestad del uC de control controlar la alimentación de los experimentos y decidir si los activa o no luego de una detección de corto circuito.



Figura 50 - Simulación de Corto Circuito



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

CONEXIÓN DE POTENCIA HACIA LA PLACA DE ENERGÍA

Por limitaciones de espacio las baterías se colocaron en otra placa, separada de la placa de control. Además, se aprovechó el espacio disponible en esta segunda placa para colocar la electrónica de potencia requerida para el mecanismo de terminación de vuelo.

Por lo anterior, es necesario que la conexión entre las placas sea confiable y permita el ensamble.

Para esto se optó por terminales MOLEX estándares los cuales se utilizaron para compartir:

- 12v de batería
- GND
- Señales de control

En la Figura 51 se puede observar la disposición de las placas y sus respectivas conexiones en el modelo digital.

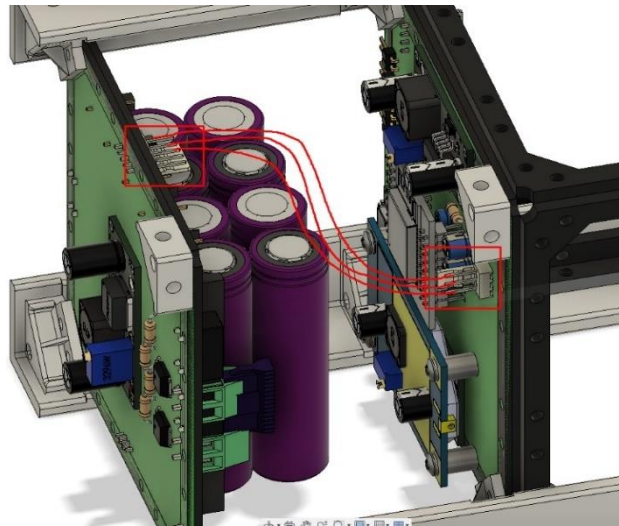


Figura 51 - Interconexión de placas

Además, se aprovechó el conector de la placa de baterías para la carga de las baterías y el balance de las celdas.

Finalmente, se muestra en la siguiente la interconexión de placas realizada físicamente.

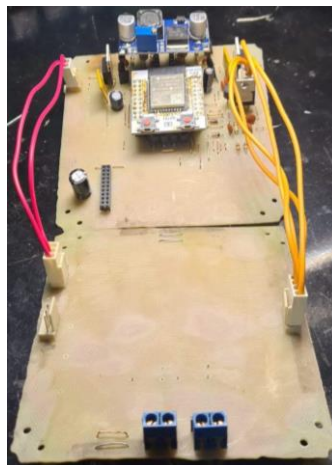


Figura 52 - Interconexión de placas



CONEXIÓN CON PLACA GPS

Esta interconexión cumple dos funciones:

- Proveer energía a la placa de GPS y
- Dar datos i^2C entre la placa de control y la GPS.

Para incrementar la recepción GPS esta placa se coloca en la parte superior del ensamble, Figura 53.

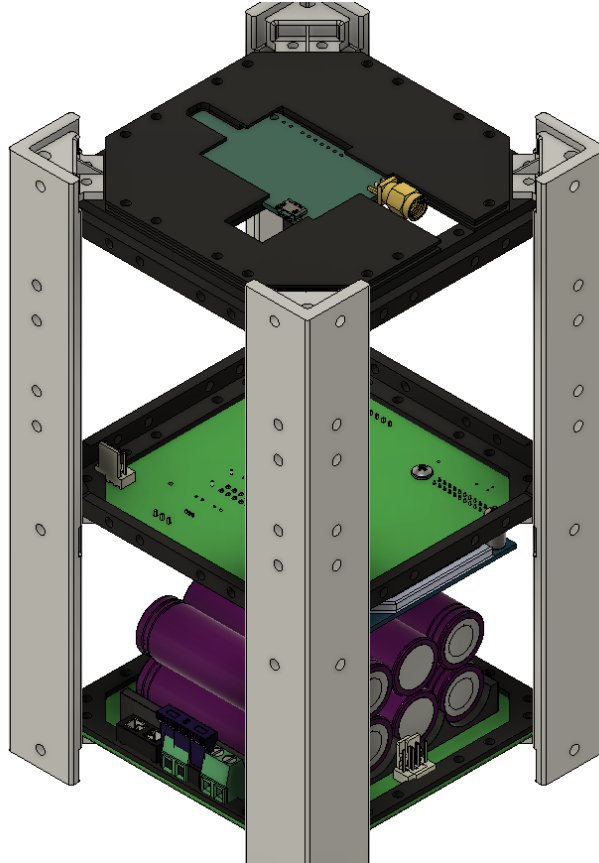


Figura 53 - Ensamble con Placa GPS



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Debido a lo anterior, es necesario llevar un cable que interconecte las placas. Esto se logró como se muestra en la siguiente imagen:

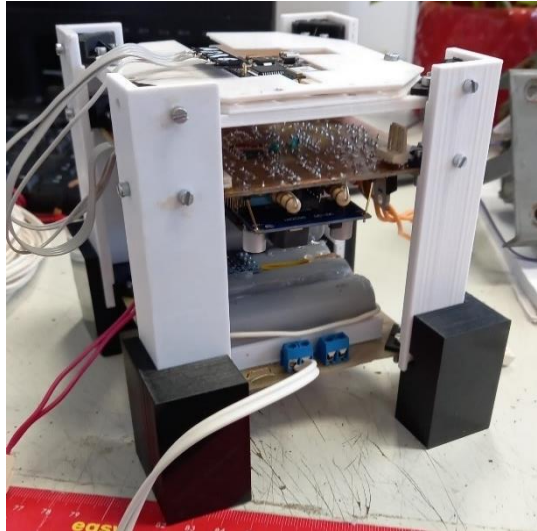


Figura 54 - Interconexión con Placa GPS



5.1.5.2.2 PLACA DE BATERÍAS

A continuación, se muestra la placa de baterías:

Vista frontal, Figura 55:

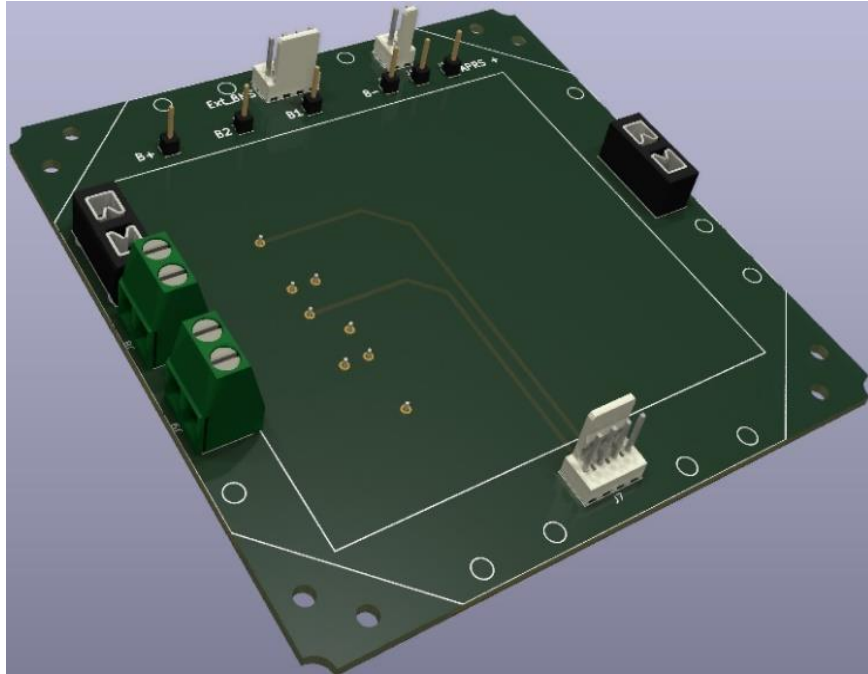


Figura 55 - Placa Baterías, vista frontal

Vista posterior, Figura 56:

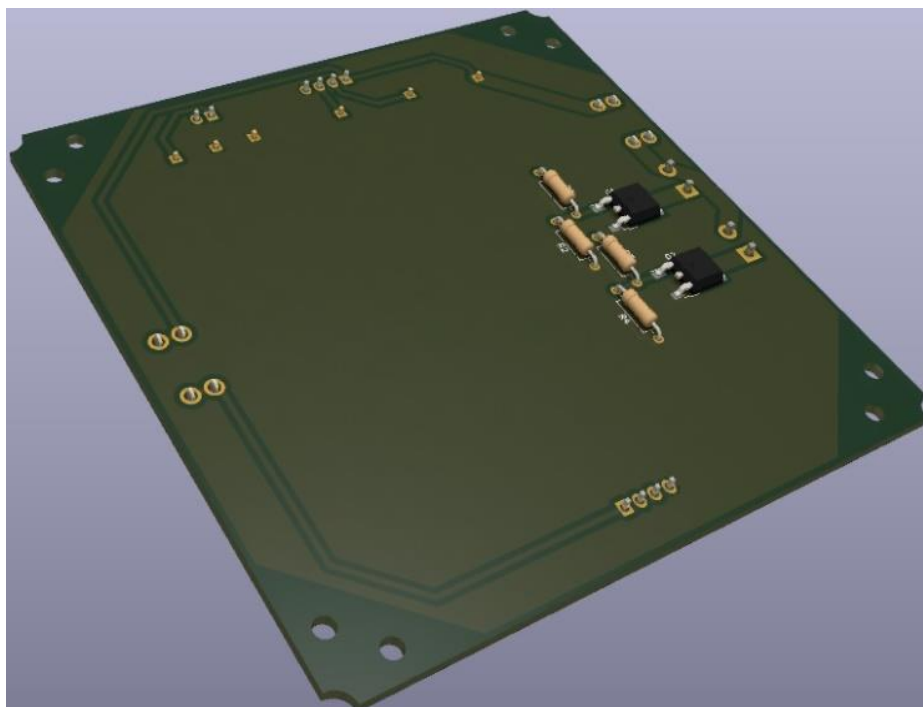


Figura 56 - Placa Baterías, vista posterior



Finalmente, la placa de baterías ensamblada y montada en la estructura:

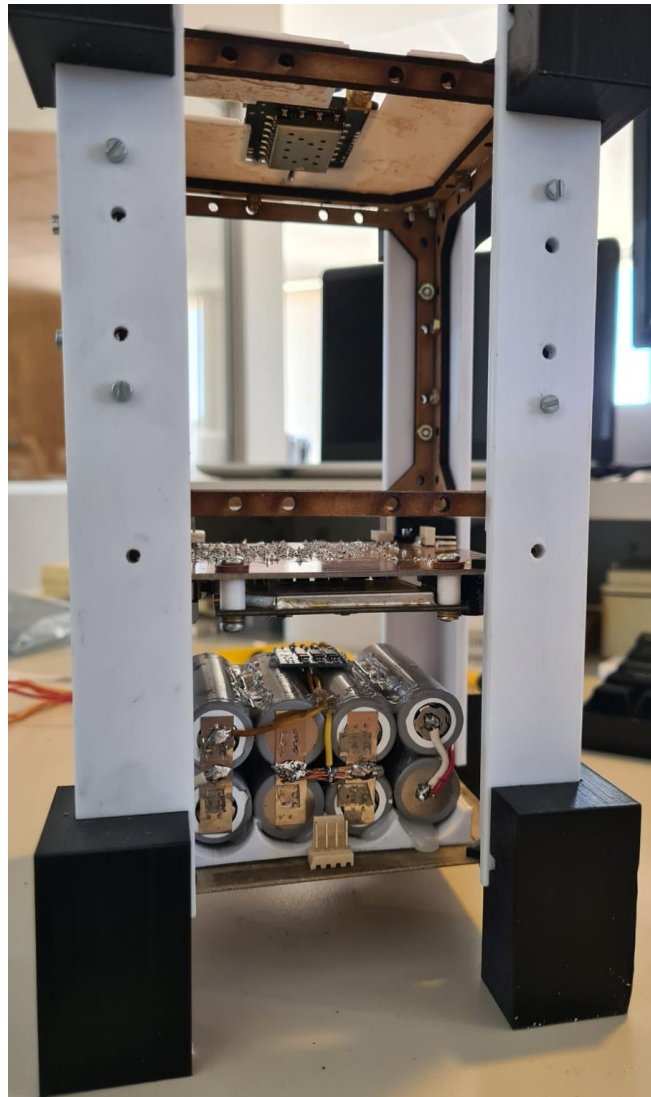


Figura 57 - Placa de Baterías Montada



5.1.5.2.3 ALGORITMOS DE CONTROL

Los algoritmos de control se implementaron en la plataforma Arduino por su facilidad y confiabilidad de uso.

Funciones que deben cumplir los algoritmos de control:

- Control de comunicaciones
- Control de geofensa
- Terminación de vuelo
- Envío de telemetría
- Interpretación de comando
- Control de estados del vuelo

Las funciones anteriores se deben ejecutar en distintos momentos del vuelo y bajo ciertas condiciones. Estas condiciones se implementaron mediante una máquina de estados, éstos estados se definieron cómo:

- *t_minus*: estado de arranque, previo al lanzamiento.
- Ascenso: mientras la altitud incrementa
- Descenso: al disminuir la altitud
- Paracaídas: a partir de que se mide una desaceleración externa a la velocidad de caída nominal
- Rescate: al tocar el suelo

En la Figura 58 se muestran los estados y sus transiciones.

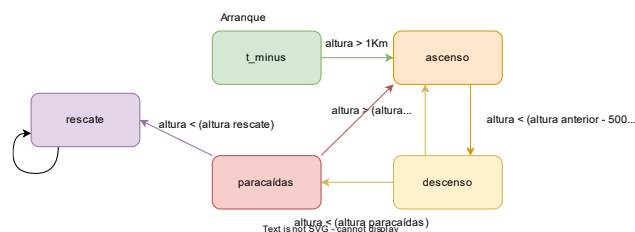


Figura 58 - Estados y Transiciones de FW

Debido a los vientos, es posible que el globo no ascienda en línea recta, si no que por momentos descienda. Es por esto que los estados -ascenso-descenso-paracaídas pueden ir cambiando durante el vuelo.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Durante los distintos estados se realizan las siguientes tareas:

a. Estado t_{minus}

- *Experimentos encendidos,*
- *Transmisiones periódicas de estado,*
- *Verificación de altitud,*
- *Guardado de estado,*
- *Al cambiar al estado ascenso se guardan en memoria las coordenadas de despegue tomadas a 1Km de altura.*

b. Estado ascenso

- *Experimentos encendidos,*
- *Transmisiones periódicas de estado,*
- *Verificación de altitud,*
- *Verificación de geofensa*
 - *Si se excede de los 100km de distancia desde el punto de lanzamiento se termina el vuelo.*
- *Guardado de estado.*

c. Estado descenso

- *Transmisiones de estado con mayor frecuencia para incrementar precisión de búsqueda,*
- *Verificación de altitud,*
- *Guardado de estado,*

d. Estado Paracaídas

- *Apagado de experimentos,*
- *Incrementar frecuencia de transmisión de estados,*
- *Guardado de estado,*
- *Verificación de altitud.*

e. Estado Rescate

- *Incrementar periodo de transmisión de coordenadas para reducir consumo de energía,*
- *Entrar en modo bajo consumo.*

Las funciones de envío de telemetría e interpretación de comandos se encuentran siempre en funcionamiento, cambiando la periodicidad de ejecución acorde a los requerimientos de energía.

En el modo rescate, las transmisiones de estado se limitan a una transmisión cada 15 minutos para prolongar la duración de la batería.



5.1.5.3 COMUNICACIONES Y SEGUIMIENTO DEL GLOBO

Los lanzamientos de globos atmosféricos se realizan desde hace décadas y, desde sus inicios, se tuvo la necesidad de saber dónde están ubicados los globos. Esto llevó a que se desarrollasen distintos sistemas y estándares para tal motivo.

Uno de estos estándares se denomina APRS [Automatic Packet Reporting Service]. Funciona en la banda de uso libre de 144. 390 MHz y fue pensado desde su concepción para el reporte de posición y otros parámetros transmitidos por transponders en globos.

5.1.5.3.1 STANDARD APRS

APRS es el acrónimo de “Automatic Packet Reporting System”. Este sistema es un protocolo de comunicación digital en tiempo pensado para transmitir y recibir información mediante bandas de radio amateur.

Fue inventado y desarrollado por Bob Bruninga, WB4APR, en la década de los 80 y ha estado en continua mejora gracias al aporte de agencias públicas, universidades, radio aficionados y empresas.

La comunicación mediante APRS se compone de:

- Paquetes: son tramas de información codificada en paquetes AX25 con un formato estándar.
- Camino: cada paquete contiene información sobre cómo debe ser retransmitido por las estaciones receptoras y hacia dónde.
- Transmisores: son quienes emiten los paquetes APRS, típicamente en movimiento.
- Símbolos e Íconos: representan distintos tipos de emisores de paquetes APRS y sus estados.
- Telemetría: es información extra contenida dentro de un paquete APRS, como datos de sensores, texto, etc.

Gracias al protocolo APRS, su extensa red de estaciones receptoras y su infraestructura web, es posible realizar el seguimiento del globo (u otros elementos) mediante una página web.

En la siguiente Figura 59 se muestra la página web **WWW.APRS.FI** cuando se realizaron pruebas de

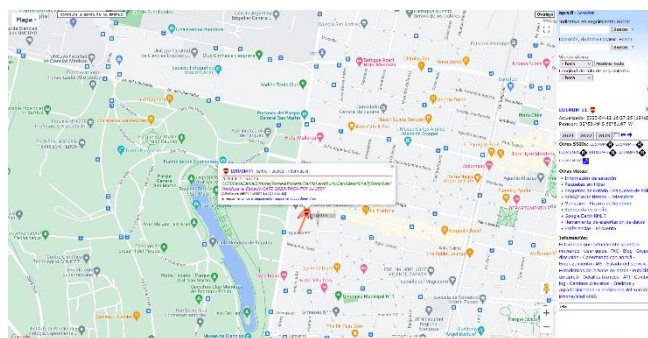


Figura 59 - Web de Seguimiento APRS

transmisión de paquetes APRS.

Dado que las estaciones receptoras de APRS son en su mayoría de radio aficionados resultó imperativo contar con una estación propia para garantizar la recepción de las transmisiones del globo.



5.1.5.3.2 RECEPTOR APRS

La modulación del protocolo APRS se realiza en AFSK a una frecuencia de 149.390MHz y en paquetes de audio. Esto permite realizar un receptor de bajo costo utilizando un equipo “Handy” con salida de sonido y una pc o SBC (Single Board Computer) corriendo el software adecuado.

Esto permitió instalar un receptor APRS en las instalaciones del colegio ETEC, perteneciente a la Universidad de Mendoza.



Figura 60 - Receptor APRS Colegio ETEC

El software anteriormente mencionado se lo conoce como “Direwolf” y puede ser descargado gratuitamente desde su repositorio oficial de GitHub.

Este software puede ser ejecutado tanto en una PC como en una SBC, esto permitió configurar una Raspberry Pi 4 con una pantalla como una estación receptora portátil.

Finalmente, el software anteriormente mencionado, recibe el audio FSK demodulado por el Handy y lo decodifica en un paquete APRS.

Este paquete es procesado y su información es transmitida por internet a la red internacional de APRS. En las siguientes figuras se puede ver la estación receptora portátil.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Figura 61 cara posterior de la pantalla con su SBC. Se aprecia también, en azul, una placa de audio USB con la entrada de sonido.



Figura 61 - Receptor Portátil, posterior

Figura 62 detalle de pantalla del receptor con mensajes decodificados correctamente.

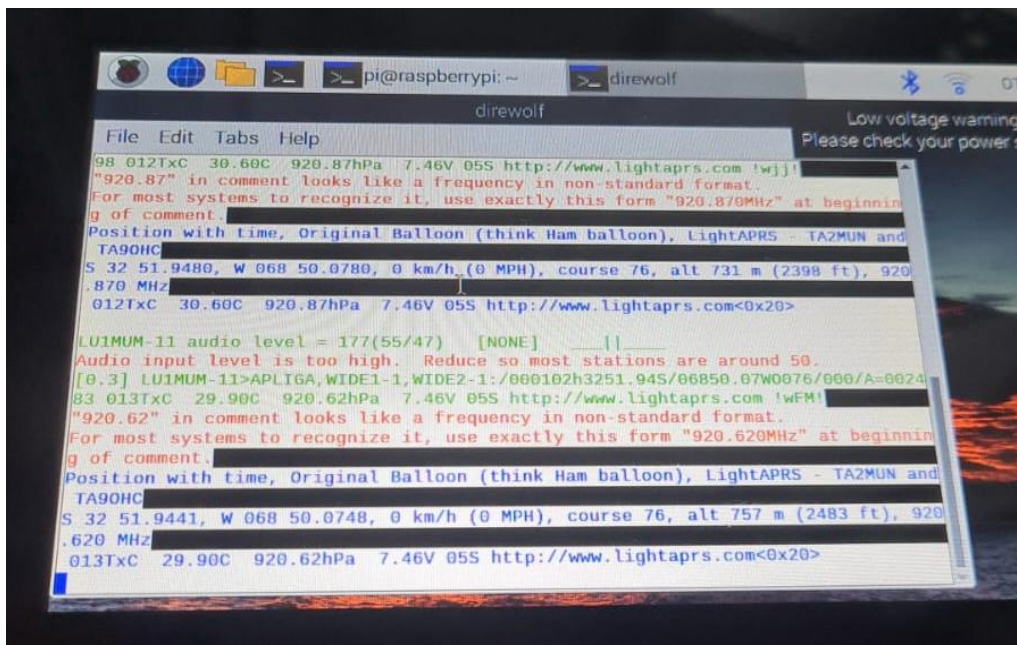


Figura 62 - Pantalla Receptor



5.1.5.3.3 TRANSMISOR DE APRS

Debido a presiones externas al proyecto, se optó por la adquisición de un transmisor APRS comercial de código abierto.

Este transmisor contó, además, con el receptor GPS y se comunicaba con el uC de control por un bus I²C.

El transmisor denominado "Light APRS" se montó en la parte superior de la estructura mecánica para asegurar buena recepción de la antena GPS. Esto, sin embargo, dificultó la conexión de la antena externa de VHF. La cual se realizó mediante un cable coaxial termina con las conexiones SMA correspondientes.



Figura 63 - Montaje de Transmisor

En la se aprecian las conexiones coaxiales dentro del recinto aislante de temperatura.

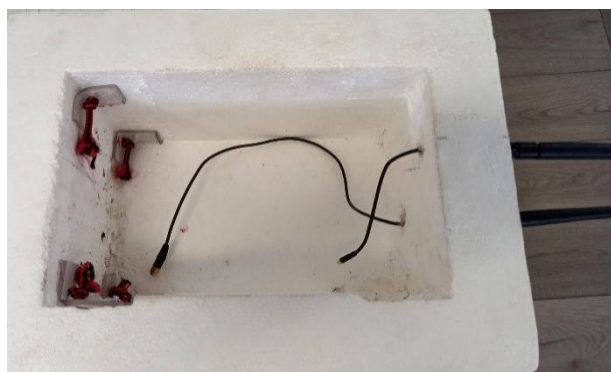


Figura 64 - Coaxiales



5.1.5.3.4 COMUNICACIÓN EN 900MHZ

Este enlace se logró mediante la utilización de dos módulos transceptores de 1W modelo Xtend de la marca "Digi". El mismo se puede observar en la Figura 23.

Estos módulos de comunicaciones usan un protocolo propietario y privado para establecer una comunicación punto a punto de forma automática. Dando al usuario final una conexión UART de 9600 baudios en modo bridge entre los dispositivos.

Debido a la naturaleza del vuelo resultó necesario maximizar el alcance de este enlace utilizando una antena direccional de tipo Yagi en la estación terrena, la cual se apuntó manualmente hasta que el enlace se cortó.

Para mayor comodidad, el módulo terreno de 900MHz se montó sobre una carcasa específica.

Los transceptores se utilizaron para recibir telemetría del payload y enviar comandos al mismo.



Figura 65 - Receptor de Tierra 900MHz



5.1.6 PUESTA EN MARCHA

El lanzamiento se realizó en las instalaciones de uno de los sponsors del proyecto, la empresa “Mendoza Balloons”. Quienes poseen un predio de lanzamiento de globos aerostáticos en la localidad de Junín. Este predio fija la ubicación del punto del lanzamiento, lo que condiciona la trayectoria que seguirá el globo una vez lanzado. Esto se debe a la dirección noreste de los vientos predominantes en dicha zona. Previo al lanzamiento se realiza una simulación del vuelo para predecir la trayectoria que seguirá el globo durante su ascenso.

Esta predicción del vuelo se realizó mediante la página web “<https://predict.sondehub.org/>” obteniendo el resultado de la Figura 66.



Figura 66 - Predicción de Vuelo



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Para evitar imprevistos durante el lanzamiento se planifican los pasos a seguir previo al lanzamiento y se elabora una check-list de verificación.

Se crearon dos check-lists, una para los días previos al lanzamiento y otra para el prelanzamiento. Algunos ítems contenidos en estas listas se mencionan a continuación:

Check-list de preparación:

- ✓ Cargar baterías*
- ✓ Verificar presión de helio*
- ✓ Verificar funcionamiento de receptor en colegio ETEC*
- ✓ Notificar a Radio Aficionados*
- ✓ Inspección visual de Sonda*
- ✓ Probar enlaces de comunicación*

Check-list prelanzamiento:

- ✓ Inspección visual por transporte*
- ✓ Verificación de Antenas y conexiones*
- ✓ Verificación de Voltajes*
- ✓ Encendido de Electrónica*
- ✓ Verificación de Enlaces de Comunicaciones*
- ✓ Prueba de comandos*
- ✓ Verificación de sistema de terminación de vuelo*
- ✓ Cierre de Aislación*
- ✓ Colocación de logos y teléfono de contacto*
- ✓ Firmas en Sonda*
- ✓ Inflado de globo*
- ✓ Sujeción de sogas en globo*
- ✓ Lanzamiento*
- ✓ Seguimiento con antenas y por GPS*



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Previo al lanzamiento se realizaron mediciones de tensiones y se corroboró el correcto funcionamiento de los enlaces de comunicaciones.



Figura 67 - Comprobación de Baterías

Luego de comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas, se cierra herméticamente el sistema de protección ambiental.



Figura 68 - Cierre de Recinto



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Firmas:



Figura 69 - Firmas Ceremoniales

Finalmente, se lanzó el globo.



Figura 70 - Lanzamiento de Globo



5.1.7 RESULTADOS, MEDICIONES Y VERIFICACIÓN

5.1.7.1 ASCENSO

El ascenso del globo siguió la trayectoria predicha. Esto se puede observar en la Figura 71.

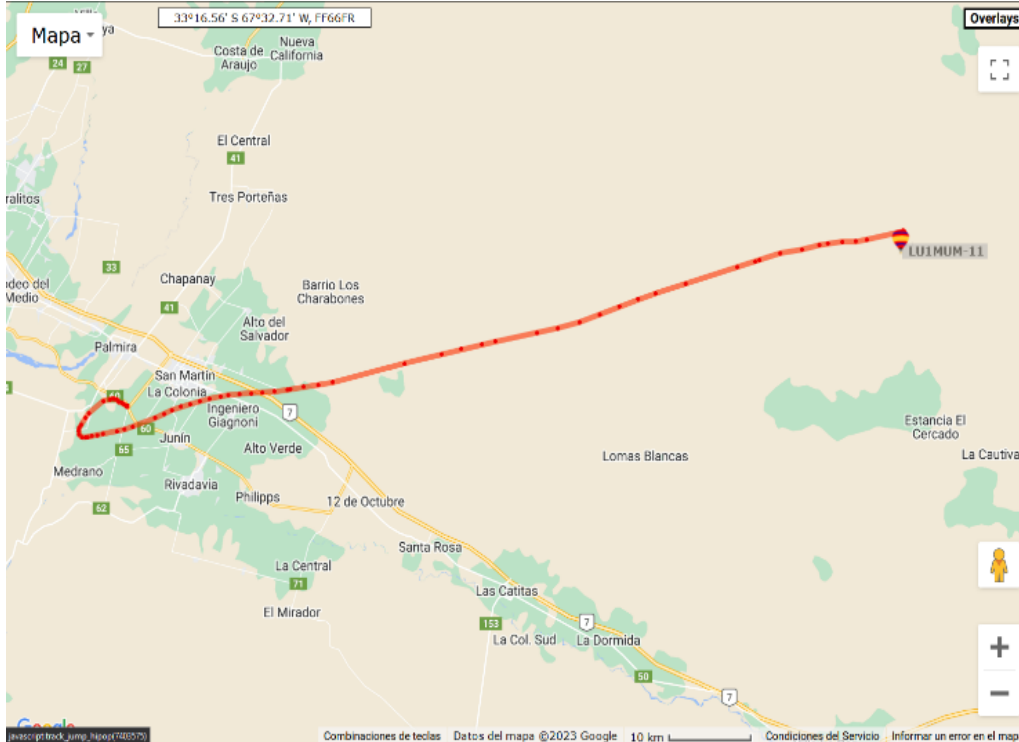


Figura 71 - Trayectoria de Vuelo

Sin embargo, la velocidad de ascenso resultó menor de la estimada.

Esto se debe a que el helio comercialmente disponible en nuestro territorio es de una pureza menor a la necesaria. Requiriendo que próximos lanzamientos deban restringir su presupuesto de masa.

Por otro lado, el sistema de terminación de vuelo funcionó correctamente, ya que a un radio de 100km

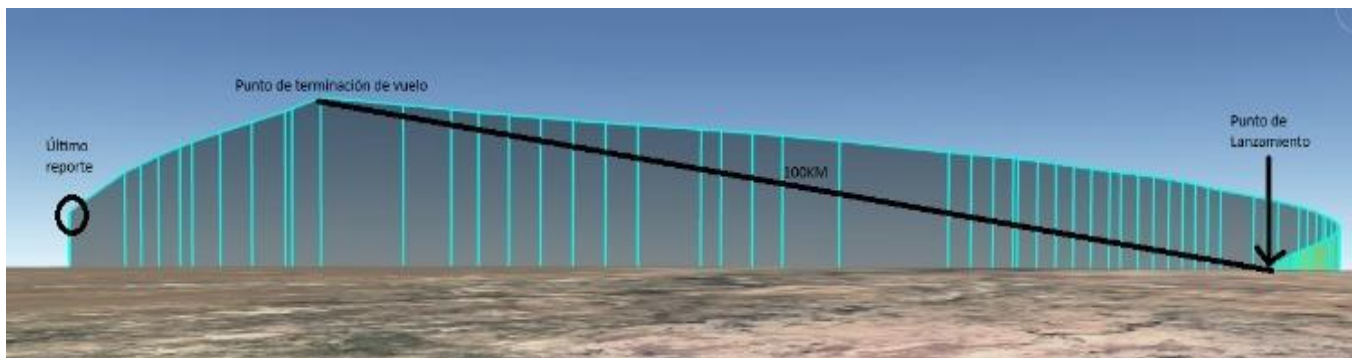


Figura 72 - Trayectoria con cotas

del punto de lanzamiento la altura reportada comenzó a disminuir.



5.1.7.2 DATOS OBTENIDOS DEL VUELO

Del vuelo se pudieron obtener las siguientes gráficas.

Altura de vuelo, expresado en metros.

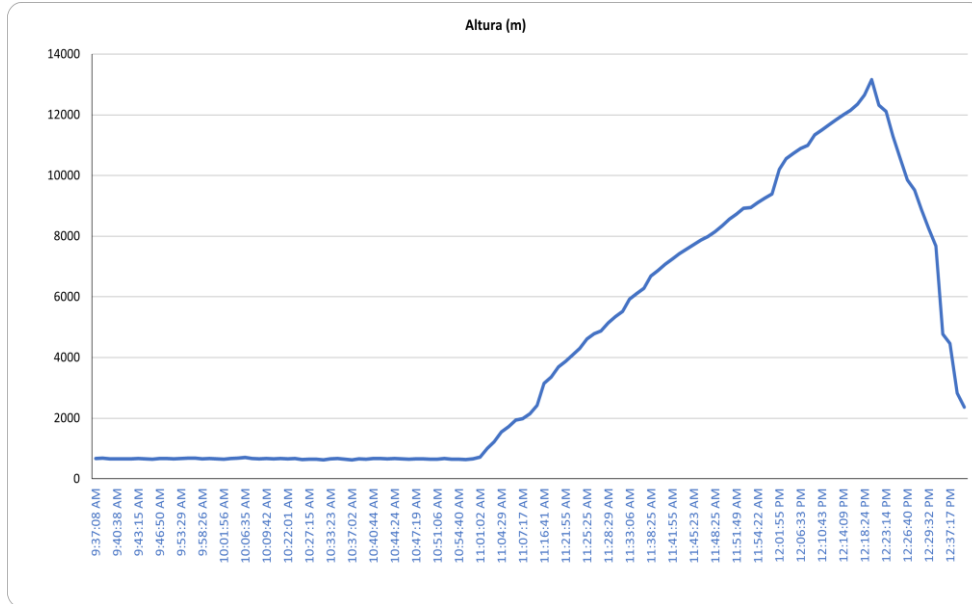


Figura 73 - Variación de Altura

Diferencial de temperatura interna y externa, expresado en grados Celsius.

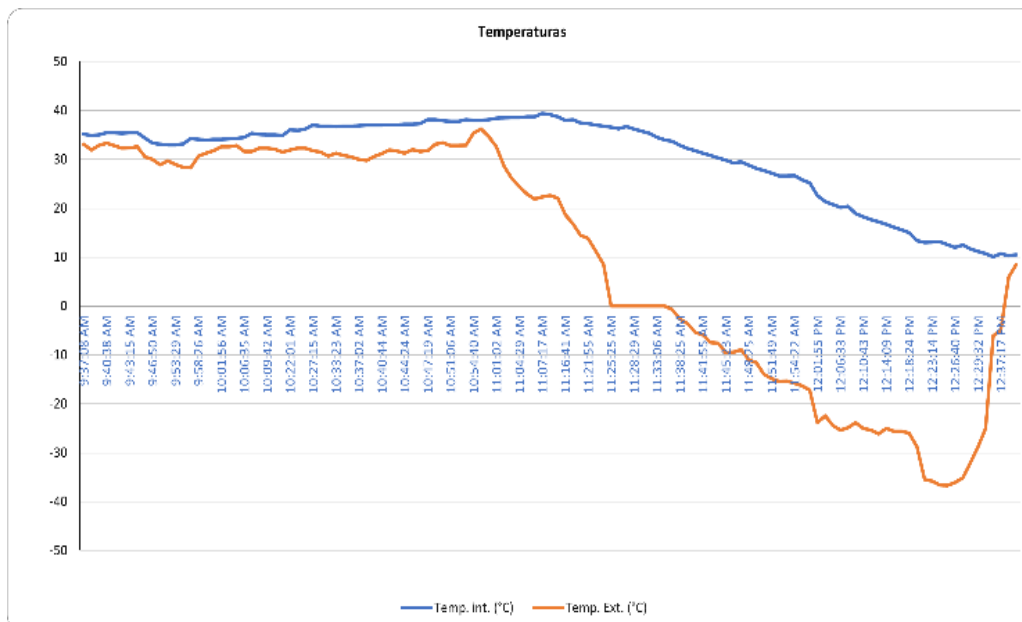


Figura 74 - Temperaturas interna y externa



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Finalmente, la velocidad de ascenso, expresada en metros por segundo.

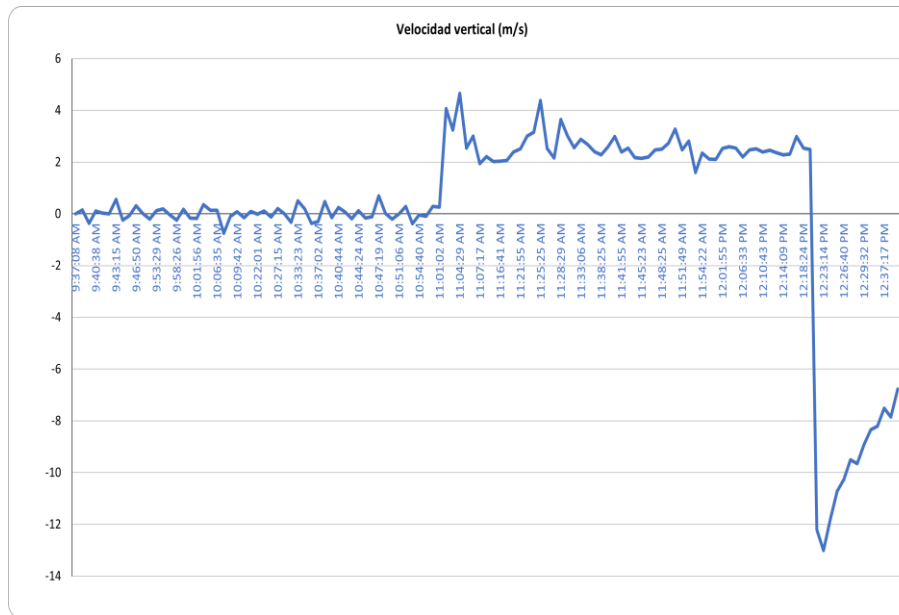


Figura 75 - Velocidad de Ascenso

A partir de las mediciones atmosféricas se pueden apreciar las condiciones climáticas a las que estaría expuesta la sonda si se lanzara sin una capa de aislación térmica. Es notable también la rapidez con que varía la temperatura a medida que se incrementa la altura.

Un aspecto importante que se puede concluir del vuelo es el hecho de que el globo no entró en etapa de flotación o "vuelo neutro", es decir, nunca paró su ascenso. Esto ocurrió por el propio diseño de la misión. Ya que se pretendía probar el sistema de vuelo a la mayor altura posible disminuyendo su traslación horizontal desde el punto de lanzamiento.

Desafortunadamente, debido a la impureza sin caracterizar del helio y la cantidad donada por los sponsors, no se pudo alcanzar la altura deseada de 25km de altura. Por lo anterior, la velocidad de ascenso fue menor de la esperada de 7m/s, alcanzando los 100km de distancia horizontal desde el punto de lanzamiento con tan sólo 15km de altura alcanzados.

Una vez superados los 100km de distancia, el vuelo fue terminado por el sistema de terminación de vuelo, cortando las sogas como se pudo observar en la Figura 36 - Ensayo de Mecanismo de Corte.



5.1.8 CONCLUSIONES

En conclusión, el vuelo cumplió el objetivo de generar una base de conocimientos para confirmar la viabilidad del sistema y sus componentes. Además, permitió validar ideas y mecanismos ideados con bajo costo como objetivo principal.

Si bien no se obtuvieron los resultados de rendimiento esperado, como alcanzar los 25km de altura o recuperar la carga; lo obtenido supera con creces lo necesario para plantear una versión 2 con mejoras.

5.1.9 PROXIMOS PASOS

Para una reversión del sistema es de suma importancia la reducción de peso del sistema de soporte.

Pasos que se pueden tomar para este objetivo son:

- *Quitar o reducir la cantidad de aislación térmica.*
- *Encapsular la electrónica de control en un recinto más pequeño y colocar calentadores para mantener la electrónica dentro de su rango de temperaturas óptimo.*
- *Reducción de diámetro de sogas.*
- *Reducción de la cantidad de baterías, rediseñando la electrónica para que consuma menos energía.*
- *Utilizar materiales más resistentes en los componentes impresos en 3D que permitan reducir la cantidad de material sin comprometer la integridad estructural. Como Nylon y termoplásticos con refuerzos de fibra de vidrio o carbono.*
- *Optimizar la estructura para que los experimentos sean un componente estructural de la misma, reduciendo la cantidad de soportes necesarios.*
- *Implementar un mecanismo de doble paracaídas, con el objetivo de tener dos velocidades de caída para reducir la deriva una vez finalizado el vuelo.*

Los puntos anteriores son de carácter tentativo y están sujetos a una revisión y redefinición de los requerimientos que se esperan del desarrollo.

5.1.10 ALCANCE SOCIAL

Un aspecto importante del proyecto es el interés por parte del público objetivo del desarrollo.

En este aspecto el resultado fue óptimo gracias a la cobertura de medios de comunicación mendocinos y la difusión en redes sociales por parte de sponsor principal del proyecto, TMSA.

Algunos artículos se pueden encontrar en referencias.

Finalmente, hay apoyo institucional para esta iniciativa gracias al interés de la gestión provincial luego de presentarles el proyecto en las instalaciones del PoloTIC de Mendoza.



5.1.11 AGRADECIMIENTOS

Dada la envergadura del proyecto y los recursos que resultaron necesarios, sin el apoyo incondicional de los sponsors, este proyecto no se hubiese podido concretar. Es por esto que se agradece inmensamente a:

- *Ing. Ernesto Chediack e Ing. Francisco Casteller, sponsors privados del proyecto.*
- *Municipalidad del Godoy Cruz y su equipo de gestión por facilitar el helio necesario y conseguir el apoyo de,*
- *Mendoza Balloons por proveer el sitio de lanzamiento.*
- *Colegio ETEC por facilitar y disponer de sus instalaciones de RF para la colocación de un recetor APRS propio.*
- *Universidad de Mendoza, por apoyar el proyecto aportando su licencia de radio difusión amateur LU1MUM.*
- *Ing. Ignacio Mazitelli, LU1ESY, por sus aportes resolviendo dudas logísticas en lanzamiento de globos.*
- *The Mars Society Argentina, por obtener los permisos de lanzamiento y coordinar en tiempo real con la torre de control aéreo de Mendoza el día de lanzamiento. Además de la gestión de fondos, documentación fotográfica y conexión con medios de comunicación.*
- *Ing. Gustavo Mercado, por su experiencia en lanzamiento de globos y revisión del presente documento.*
- *A mi familia su infinita paciencia, apoyo y escucha.*

5.1.12 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

Todo lo desarrollado de HW y SW se encuentra disponible de manera pública en el siguiente repositorio.

<https://github.com/MarsArgentina/marsat>

Por otro lado, el diseño mecánico se realizó utilizando la herramienta Fusion 360 y se puede acceder al repositorio correspondiente mediante el siguiente enlace:

<https://a360.co/3z0wYrg>



5.1.13 ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1 - Globo Atmosférico.....	16
Figura 2 - Ley de Inversa del Cuadrado.....	19
Figura 3 - Absorción de RF Atmosférica.....	19
Figura 4 - Refracción de Onda Electromagnética.....	20
Figura 5 - Reflexión de Onda Electromagnética.....	20
Figura 6 - Reflexión de Superficie Semiaspera.....	21
Figura 7 - Difracción de Ondas Electromagnéticas.....	21
Figura 8 - Interferencia de Ondas Electromagnéticas.....	22
Figura 9 - Antena Dipolo.....	23
Figura 10 - Elementos Básicos de Antena Yagi.....	24
Figura 11 - Patrón de Elevación de Antena Yagi.....	25
Figura 12 - Patrón de Azimuth de la antena Yagi.....	25
Figura 13 - Patrón de Irradiación yagi.....	26
Figura 14 - Polarización Vertical de Antenas.....	27
Figura 15 - Polarización Horizontal de Antenas.....	27
Figura 16 - Abertura del haz de la antena.....	28
Figura 17 - Partes de Globo Sonda.....	30
Figura 18 - Globos Kaymont.....	31
Figura 19 - Globo de Mylar.....	31
Figura 20 - Paracaídas.....	32
Figura 21 - CanSat Complejo.....	33
Figura 22 - CanSat Simple.....	33
Figura 23 - Módulo Transceptor 9xTend de 900MHz.....	34
Figura 24 - Globo Kaymont de 600 gr.....	34
Figura 25 - Predicción de Vuelo Estimada.....	35
Figura 26 - Sistemas.....	36
Figura 27 - Tamaños.....	37
Figura 28 - Aislación Térmica.....	38
Figura 29 - Corte de sección de la aislación.....	39
Figura 30 - Aislación Térmica.....	39
Figura 31 - Plano de Masa y Monturas de Antenas.....	40
Figura 32 - Aislación con Estructura.....	40
Figura 33 - Construcción de Antenas y Plano de Masa.....	40
Figura 34 - Soga de Nylon.....	41
Figura 35 - Boceto de corte de sogas.....	42
Figura 36 - Ensayo de Mecanismo de Corte.....	42
Figura 37 - Posición de Placa de Control.....	43
Figura 38 - Corte de Sección de PCB de Control.....	44
Figura 39 - Placa de Control.....	44
Figura 40 - Placa de Baterías.....	45
Figura 41 - Modelo 3D de Placa de Control.....	46
Figura 42 - uC de Control.....	46
Figura 43 - Breakout board ESP32.....	46
Figura 44 - Modelo Propio de Breakout Board ESP32.....	47
Figura 45 - Módulo Xtend en Placa de control.....	48
Figura 46 - Footprint Transceptor.....	48
Figura 47 - Circuito de Control de Experimento.....	49
Figura 48 - Conexiones de Experimentos.....	50
Figura 49 - Circuito en Simulación.....	50
Figura 50 - Simulación de Corto Circuito.....	50
Figura 51 - Interconexión de placas.....	51
Figura 52 - Interconexión de placas.....	51
Figura 53 - Ensamble con Placa GPS.....	52
Figura 54 - Interconexión con Placa GPS.....	53
Figura 55 - Placa Baterías, vista frontal.....	54
Figura 56 - Placa Baterías, vista posterior.....	54
Figura 57 - Placa de Baterías Montada.....	55
Figura 58 - Estados y Transiciones de FW.....	56
Figura 59 - Web de Seguimiento APRS.....	58
Figura 60 - Receptor APRS Colegio ETEC.....	59



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Figura 61 - Receptor Portátil, posterior	60
Figura 62 - Pantalla Receptor.....	60
Figura 63 - Montaje de Transmisor APRS	61
Figura 64 - Coaxiales.....	61
Figura 65 - Receptor de Tierra 900MHz	62
Figura 66 - Predicción de Vuelo	63
Figura 67 - Comprobación de Baterías.....	65
Figura 68 - Cierre de Recinto.....	65
Figura 69 - Firmas Ceremoniales	66
Figura 70 - Lanzamiento de Globo	66
Figura 71 - Trayectoria de Vuelo	67
Figura 72 - Trayectoria con cotas.....	67
Figura 73 - Variación de Altura	68
Figura 74 - Temperaturas interna y externa.....	68
Figura 75 - Velocidad de Ascenso	69



5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.2.1 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

5.2.1.1 CAPITAL DE TRABAJO

Para el cálculo del capital de trabajo se tomó como referencia la cantidad de ventas estimadas del primer año para un flujo de caja de VAN = 0. Mediante un proceso iterativo se arribó a los valores finales.

	Ingresos por mes											
Detalle de ingreso	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precio de venta	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00
Cantidad de Ventas	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Total de ventas	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$850.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Cobros												
Adelanto de 30%	\$0.00	\$0.00	\$255.00	\$255.00	\$255.00	\$255.00	\$255.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
70% Restante	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$595.00	\$595.00	\$595.00	\$595.00	\$595.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Total ingreso mensual (por cobros)	0	0	255	850	850	850	850	595	0	0	0	0
	Producción Mensual											
Stock	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Ventas	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Producción Mensual	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Egresos Mensuales											
Costos Fijos	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00	\$190.00
Costos de Fabricación	\$0.00	\$0.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Costos de Lanzamiento	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$300.00	\$300.00	\$300.00	\$300.00	\$300.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Gastos de Administración	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00	\$75.00
Egresos mensuales totales	\$265.00	\$265.00	\$515.00	\$815.00	\$815.00	\$815.00	\$815.00	\$565.00	\$265.00	\$265.00	\$265.00	\$265.00
	Capital de Trabajo											
Ingresos	0	0	255	850	850	850	850	595	0	0	0	0
Egresos	\$265.00	\$265.00	\$515.00	\$815.00	\$815.00	\$815.00	\$815.00	\$565.00	\$265.00	\$265.00	\$265.00	\$265.00
Acumulado	-\$265.00	-\$530.00	-\$790.00	-\$755.00	-\$720.00	-\$685.00	-\$650.00	-\$620.00	-\$885.00	-\$1,150.00	-\$1,415.00	-\$1,680.00
Máximo Acumulado	-\$1,680.00											
Capital de Trabajo con margen de seguridad	1.25	-\$2,100.00										
	Verificación de capital de trabajo											
Ingresos	0	\$1,680.00	0	255	850	850	850	850	595	0	0	0
Egresos	0	265	265	515	815	815	815	815	565	265	265	265
Acumulado	0	\$1,415.00	\$1,150.00	\$890.00	\$925.00	\$960.00	\$995.00	\$1,030.00	\$1,060.00	\$795.00	\$530.00	\$265.00

Para más detalles sobre este cálculo, remitirse al documento de análisis económico anexo.



5.2.1.2 VAN = 0

Para el cálculo de VAN = 0 se tomó una tasa de recuperación del 12%. Además, se realizaron los cálculos de Depreciaciones y Amortización según la **Normativa Nacional: resolución-22-2006-116942**. A continuación, se muestra el flujo de caja que deriva en un VAN lo más cercano a cero posible.

Flujo de Caja del Proyecto							
Años		0	1	2	3	4	5
Cantidad de Ventas			5	5	6	6	6
Ingresos			\$4,250.00	\$4,250.00	\$5,100.00	\$5,100.00	\$5,100.00
Costos Fijos			-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00
Costos Variables							
Costos de venta			-\$1,250.00	-\$1,250.00	-\$1,500.00	-\$1,500.00	-\$1,500.00
Costo de Servicio de Venta			-\$1,500.00	-\$1,500.00	-\$1,800.00	-\$1,800.00	-\$1,800.00
Dispositivos Electrónicos		-\$800.00			-\$800.00		
Instrumentos Electrónicos		-\$1,200.00					-\$1,200.00
Costo Variable Total			-\$2,750.00	-\$2,750.00	-\$3,300.00	-\$3,300.00	-\$3,300.00
Costos Totales			-\$2,940.00	-\$2,940.00	-\$3,490.00	-\$3,490.00	-\$3,490.00
Depreciación			-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67
Utilidad antes de Impuestos			\$803.33	\$803.33	\$1,103.33	\$1,103.33	\$1,103.33
Impuestos (35%)			\$281.17	\$281.17	\$386.17	\$386.17	\$386.17
Utilidad después de Impuestos			\$522.17	\$522.17	\$717.17	\$717.17	\$717.17
Depreciación			\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67
Inversión Inicial de stock		-\$1,000.00					
Inversión Equipamiento		-\$2,000.00					
Inversión Capital de Trabajo		-\$2,100.00					
Recuperación de CT							\$2,100.00
Flujo de Caja Neto		-\$5,100.00	\$1,028.83	\$1,028.83	\$1,223.83	\$1,223.83	\$3,323.83
Flujo de Caja Acumulador		-\$5,100.00	-\$4,071.17	-\$3,042.33	-\$1,818.50	-\$594.67	\$2,729.17

El VAN obtenido resultó de \$173 y una TIR de 13%. Para más información sobre este cálculo, remitirse al documento de análisis económico anexo.



5.2.1.3 VAN > 0

Para este análisis se realizó una búsqueda de mercado que será detallada la siguiente sección del presente documento.

Flujo de Caja del Proyecto							
Años		0	1	2	3	4	5
Cantidad de Ventas			4	6	10	11	12
Ingresos			\$3,400.00	\$5,100.00	\$8,500.00	\$9,350.00	\$10,200.00
Costos Fijos			-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00
Costos Variables							
Costos de venta			-\$1,000.00	-\$1,500.00	-\$2,500.00	-\$2,750.00	-\$3,000.00
Costo de Servicio de Venta			-\$1,200.00	-\$1,800.00	-\$3,000.00	-\$3,300.00	-\$3,600.00
Dispositivos Electrónicos		-\$800.00			-\$800.00		
Instrumentos Electrónicos		-\$1,200.00					-\$1,200.00
Costo Variable Total			-\$2,200.00	-\$3,300.00	-\$5,500.00	-\$6,050.00	-\$6,600.00
Costos Totales			-\$2,390.00	-\$3,490.00	-\$5,690.00	-\$6,240.00	-\$6,790.00
Depreciación			-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67
Utilidad antes de Impuestos			\$503.33	\$1,103.33	\$2,303.33	\$2,603.33	\$2,903.33
Impuestos (35%)			\$176.17	\$386.17	\$806.17	\$911.17	\$1,016.17
Utilidad después de Impuestos			\$327.17	\$717.17	\$1,497.17	\$1,692.17	\$1,887.17
Depreciación			\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67
Inversión Inicial		-\$1,000.00					
Inversión Equipamiento		-\$2,000.00					
Inversión Capital de Trabajo		-\$2,100.00					
Recuperación de Capital de Trabajo							\$2,100.00
Flujo de Caja Neto		-\$5,100.00	\$833.83	\$1,223.83	\$2,003.83	\$2,198.83	\$4,493.83
Flujo de Caja Acumulado		-\$5,100.00	-\$4,266.17	-\$3,042.33	-\$1,038.50	\$1,160.33	\$5,654.17

Para más información sobre este cálculo, remitirse al documento de análisis económico anexado.



5.2.2 APROXIMACIÓN AL VALOR ACTUAL NETO

Para el cálculo del VAN > 0 se realizó un análisis de mercado donde se indexó sólo una parte del público objetivo de la presente propuesta. En particular se analizaron los participantes de las ediciones 2022 y 2023 del programa CANSAT de la Agencia Espacial Argentina "CONAE" y la base de estudiantes de colegios técnicos del territorio argentino.

Datos obtenidos:

CANSAT 2022	CANSAT 2023
Inscriptos:	Inscriptos:
850 equipos: 5 estudiantes y 1 docente, en total: 4500 estudiantes	450 equipos: 5 estudiantes y 1 docente, en total: 2300 estudiantes
Finalistas: 5 equipos	Finalistas: 5 equipos

Colegios Técnicos en Argentina

Existen actualmente 1455 colegios técnicos, de los cuales el 13% son de gestión privada o mixta. A continuación, se enumeran la cantidad (en porcentaje) de colegios con su orientación académica:

- Agronomía: 29%
- Industrial (Electromecánica, Eléctrica e Informática): 61.6%
- Servicios: 8.9%

Con una cantidad de estudiantes promedio por curso de 22.1 estudiantes. Se puede estimar aproximadamente 30000 estudiantes entre 5to y 6to año. Considerando el porcentaje de colegios técnicos con orientación industrial, se puede considerar una cantidad aproximada de 18000 estudiantes que cursan 5to y 6to año en dicha orientación a lo largo del país.

Tomando grupos de 5 alumnos y un profesor, y extrapolarlo el caso de CANSAT 2023, es factible asumir que de los 445 equipos no finalistas del programa CANSAT; por lo menos el 1% esté interesado en la propuesta de este proyecto durante el primer año de operación. Incrementando la cantidad de interesados conforme se de a conocer el proyecto.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

Flujo de Caja del Proyecto						
Años	0	1	2	3	4	5
Cantidad de Ventas		4	6	10	11	12
Ingresos		\$3,400.00	\$5,100.00	\$8,500.00	\$9,350.00	\$10,200.00
Costos Fijos		-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00	-\$190.00
Costos Variables						
Costos de venta		-\$1,000.00	-\$1,500.00	-\$2,500.00	-\$2,750.00	-\$3,000.00
Costo de Servicio de Venta		-\$1,200.00	-\$1,800.00	-\$3,000.00	-\$3,300.00	-\$3,600.00
Dispositivos Electrón	-\$800.00			-\$800.00		
Instrumentos Electrón	-\$1,200.00					-\$1,200.00
Costo Variable Total		-\$2,200.00	-\$3,300.00	-\$5,500.00	-\$6,050.00	-\$6,600.00
Costos Totales		-\$2,390.00	-\$3,490.00	-\$5,690.00	-\$6,240.00	-\$6,790.00
Depreciación		-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67	-\$506.67
Utilidad antes de Im		\$503.33	\$1,103.33	\$2,303.33	\$2,603.33	\$2,903.33
Impuestos (35%)		\$176.17	\$386.17	\$806.17	\$911.17	\$1,016.17
Utilidad después de		\$327.17	\$717.17	\$1,497.17	\$1,692.17	\$1,887.17
Depreciación		\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67	\$506.67
Inversión Inicial	-\$1,000.00					
Inversión Equipamie	-\$2,000.00					
Inversión Capital de	-\$2,100.00					
Recuperación de CT						\$2,100.00
Flujo de Caja Neto	-\$5,100.00	\$833.83	\$1,223.83	\$2,003.83	\$2,198.83	\$4,493.83
Flujo de Caja Acumu	-\$5,100.00	-\$4,266.17	-\$3,042.33	-\$1,038.50	\$1,160.33	\$5,654.17
						Tasa Rec. 12%
						VAN \$1,993.74
						TIR 23%

Para más información sobre este cálculo, remitirse al documento de análisis económico anexo.

5.2.3 TASA INTERNA DE RETORNO

En base al análisis comentado en el punto 5.2.2, se obtuvo una TIR del 23%

5.2.4 PAYBAK O PLAZO DE RECUPERACIÓN

Nuevamente, el plazo de recuperación se calculó teniendo en cuenta lo analizado en el punto 5.2.2.

Periodo de recuperación de inversión			
Periodo	Saldo de Inversión	Rent. Exigida	Recuperación de Inversión
1	\$5,100.00	\$612.00	\$1,028.83
2	\$4,683.17	\$561.98	\$1,223.83
3	\$4,021.31	\$482.56	\$2,003.83
4	\$2,500.04	\$300.00	\$2,198.83
5	\$601.21	\$72.15	\$4,493.83
6	-\$3,820.48	-\$458.46	



5.2.5 PRODUCTOS Y SERVICIOS DE OTROS FABRICANTES

En la actualidad no se encuentran productos o servicios similares a lo propuesto. Sin embargo, a nivel internacional existen kits de globos atmosféricos para lanzar.

<https://www.stratoflights.com/en/shop/weather-balloon-kit/>

<https://the-rocketman.com/hab-kit-complete-package/>

Estos kits, a diferencia de lo propuesto, no están diseñados para integrarse con el estándar cansat y requieren de mucho trabajo para que estudiantes de nivel secundario puedan integrar sus experimentos para lanzarlos con seguridad; asegurando comunicaciones.

Finalmente, debido a las restricciones de importación, dichos kits se vuelven exponencialmente más caros que su costo de origen.

6 CONCLUSIONES Y ANEXOS

En conclusión, el presente proyecto cumplió los objetivos planteados. Ya que permitió validar procesos, comprender el contexto tecnológico, económico y social que condicionarán decisiones de diseño de versiones posteriores.

Algunos de estos aprendizajes resultan del contexto donde se desarrolla el proyecto, como:

- *Calidad del helio*
- *Acceso a redes de comunicación*
- *Sitio de lanzamiento*
- *Perfil de vientos y perfil térmico de la atmósfera*
- *Protocolo de Lanzamiento con Torre de Control Aerea*
- *Acceso a caminos para la recuperación*
- *Peso y costo de la sonda completa*

Para una versión posterior, se deberán considerar los puntos anteriormente mencionados, haciendo hincapié en el peso, mecanismo de comunicación y temperaturas que debe soportar.

Luego, gracias al análisis económico, se puede concluir que generar una versión de menor costo y complejidad de armado, es un proyecto económicamente viable que, aparte de tener un mercado nacional constante, puede ser exportado a otros países.



7 BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pablo Esteban. (3/11/2022). *Cansat Argentina: un concurso para que los estudiantes conquisten el espacio*. Página 12. <https://www.pagina12.com.ar/494459-cansat-argentina-un-concurso-para-que-los-estudiantes-conqui>
2. Agencia Telam. (1/11/2022). *Estudiantes lanzarán desde Córdoba los satélites de la competencia Cansat Argentina*. TELAM. <https://www.telam.com.ar/notas/202210/609019-lanzamiento-satelites-estudiantes-cansat-argentina-conae-ciencia-tecnologia.html>
3. Prensa Gobierno. (20/09/2023). *Comienza la cuenta regresiva para el lanzamiento de los satélites CANSAT*. Argentina.gob.ar <https://www.argentina.gob.ar/noticias/comienza-la-cuenta-regresiva-para-el-lanzamiento-de-los-satelites-cansat>
4. Secretaría de Evaluación Educativa. (Octubre 2017). *Las escuelas técnicas secundarias en la Argentina Características institucionales y rendimiento educativo*. Argentina.gob.ar https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_escuelas_tenicas_2911_2.pdf
5. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. (30/05/2018). *Nómina de Instituciones de Educación Técnica Profesional de Nivel Secundario*. INET. https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2018/08/Nomina_IETP-Secundario_al-30-06-2018.pdf
6. OH2NRG. (n.d.). *Aprs.fi – live aprs map*. aprs.fi – live APRS map. <https://www.aprs.fi/>
7. AREG. (n.d.). *SondeHub Predictor*. CUSF / SondeHub Predictor. <https://predict.sondehub.org/>
8. NASA. (2023, November 21). *Scientific balloons by NASA*. <https://www.nasa.gov/scientificballoons/>
9. LU7AA. (n.d.). *AMSAT ARGENTINA*. <http://amsat.org.ar/>
10. A Coruña, R. Á. B. (n.d.). *¿Qué se puede hacer con APRS?*. QSL. <https://www.qsl.net/ce4uyp/Que%20es%20y%20que%20se%20puede%20hacer%20con%20el%20APRS.pdf>
11. Bruninga, B. (n.d.). *Automatic packet reporting system*. APRS. <http://www.aprs.org/>
12. wb2osz, wb2osz. (n.d.). *DIREWOLF: Decoded Information from Radio Emissions for Windows or Linux Fans*. GitHub. <https://github.com/wb2osz/direwolf>
13. Tan, M. (n.d.). *Liightaprs-1.0: Arduino based APRS Tracker*. GitHub. <https://github.com/liightaprs/LightAPRS-1.0>
14. Johns Hopkins University. (n.d.). *Helium balloon project*. JHU Helium Balloon Project. <https://nearspace.jhu.edu/>
15. CalPoly. (n.d.). *CubeSat Information*. CubeSat. <https://www.cubesat.org/cubesatinfo>
16. Kaltenberger, Tim & Jonouchi, Daiki & Hulstein, Aimee & Grace, Emily. (2023). *Building a Weather Balloon and Observing the State of the Atmosphere Both Visually and Statistically*. 10.13140/RG.2.2.26993.35685.



GLOBO SONDA ATMOSFÉRICO EDUCATIVO

17. Connolly, Cornelia & Johnson, Patrick & Johnson, Kevin & Fitzpatrick, Mary & O'Keeffe, Derek. (2023). *A stratospheric mission – design of a conceptual framework to bring weather balloons and STEM into the classroom*. *Frontiers in Education*. 8. 10.3389/feduc.2023.1145043.
18. Valencia, May & Cruz, Febus Reidj & Balakit, Raymart. (2019). *LoRa Transmission System for Weather Balloons*. 1-5. 10.1109/HNICEM48295.2019.9072712.
19. Hartono, Rommy & Hasbi, Wahyudi & Choiriyah, Isma & Yatim, Rakhmad. (2019). *Design of APRS Modem Using IC TCM3105 and ATmega2560 Microcontroller*. Preprint.