

Documento de Diseño

Índice

1. Alcance	3
2. Documentación de Referencia	3
3. Descripción General del Diseño	3
4. Subsistema de Carga Útil	3
4.1 Abordaje de los requerimientos	4
4.2 Aspectos generales de diseño	5
5. Subsistema de Estructura	6
Opciones de Disposición de Motores para cumplir los requerimientos	6
5.1. Abordaje de los requerimientos	8
5.2. Aspectos generales de diseño	8
5.3. Módulo de Flotación	9
5.3.1. Fuselaje	9
5.3.2. Soporte de Motor	10
5.4. Módulo Instrumental	11
5.4.1. Góndola	11
5.4.2. Tren de Aterrizaje	12
6. Subsistema de Propulsión	12
7. Subsistema de Potencia	12
Abordaje de los requerimientos:	12
Versiones de diseño	13
Opción 1	13
Opción 2	13
Opción 3	13
Opción 4	13
8. Subsistema de Comunicación	14
8.1. Abordaje de los requerimientos	14
Versiones de diseño	14
Opción LoRa/WiFi	15
Opción 433/WiFi	15
Opción WiFi	15
Opción Comandos	15
Opción Comandos Redundados	15
9. Subsistema de Comando y Manejo de Datos	16
9.1. Abordaje de los requerimientos	16
Versiones de diseño	16

Opción OBC-H3/SBC	16
Opción OBC-H3/PC	17
Opción OBC-M0+/SBC-PC	18
Opción OBC/Microcontrolador	18
Opción Microcontrolador/Microcontrolador	18
Opción Alta Redundancia	19
10. Subsistema de Estación Terrena	19
10.1 Abordaje de los requerimientos:	19
10.2 Versiones de los requerimientos:	21
Opción 1 Notebook/ Tablet:	21
Opción 2 Notebook/ Teléfono Celular:	21
Opción 3 Tablet/ Teléfono Celular:	21
Opción 4 Notebook/ Control Remoto:	21
Opción 5 Tablet/ Control Remoto:	21
11. Subsistema de GN&C	22
Abordaje de los requerimientos:	22
Opción MPU	22
Opción 3 Ultrasonidos	22
Opción 2 Ultrasonidos	22
Opción Ultrasonido	23

1. Alcance

El alcance de este documento es dar los lineamientos de las posibilidades de soluciones para cumplir con los requerimientos del documento “20200917 Requerimientos de Modelo de Ingeniería”. Aquí se tratarán las opciones y las decisiones tomadas en cuanto a diseño para alcanzar los requerimientos.

2. Documentación de Referencia

- 20200917 Requerimientos de Modelo de Ingeniería
- 20201001 Matriz de Requerimientos
- 20200903 Presupuestos

3. Descripción General del Diseño

El Tolina será un dirigible con movilidad en 4 ejes y peso aproximado de 1 kg. poseerá una parte flotante esférica y una góndola en su parte inferior. Trabajaré con baterías y tendrá una autonomía de por lo menos 30 minutos. Buscaremos de aquí en adelante las soluciones posibles para cumplir los requerimientos basados en cada Subsistema. Este documento es la primera aproximación a soluciones que surge después del entendimiento y refinamiento de los requerimientos y la posterior búsqueda e investigación para encontrar soluciones posibles, a la vez viables económicamente y disponibles en el mercado.

4. Subsistema de Carga Útil

El Subsistema de Carga Útil es el encargado de recolectar la información sensible, sobre ciencia e ingeniería del dirigible durante su operación, proporcionando un conocimiento sobre el desempeño y las condiciones del entorno, fundamentales para abordar la misión.

Establecemos los boundaries de Carga Útil en cuanto a Hardware en la cámara integrada que tomará fotos del terreno y a su nivel de datos la información que arrojará el sensor de distancia perteneciente al subsistema de GN&C para luego con estos datos obtener raw data con la que con post procesado se podría integrar un mapa del terreno relevado.

4.1 Abordaje de los requerimientos

En la **Tabla X** se listan las bases para el diseño del Subsistema de Carga Útil, junto con los requerimientos de los que ellas se originan.

Tabla X: Soluciones generales de diseño basadas en los requerimientos de sistema/subsistema.

ID	Solución de diseño
D-PAY-01, D-PAY-01 1, P-PAY-012 , P-PAY-013	Se propone dotar con un equipo de captura de video al subsistema, que por estar alojado en el segmento del Dirigible debería ser liviano y poder acomodarse de tal manera que no interfiera con el trabajo de los demás equipamientos del subsistema, a su vez apuntando en la dirección requerida y con la capacidad de enfocar .
D-PAY-010	REQ: El dirigible deberá contar con una cámara para capturar imágenes. SOL: Utilizamos una cámara web, desarmamos su carcaza para aligerar su peso.
D-PAY-011	La cámara fotográfica deberá apuntar de forma perpendicular al suelo ($\pm 10^\circ$). Este requerimiento lo proveerá SS de Estructura, payload indicará la forma de su soporte.
P-PAY-012	La cámara fotográfica deberá proporcionar una pisada de por lo menos 2 m. SOL: Se busca la ecuación que relaciona resolución con FOV de la cámara para una altura determinada de vuelo de 3m que cubra el ancho de la pisada buscado.
P-PAY-013	La cámara fotográfica deberá contar con una resolución de por lo menos 1 cm/px. SOL: Se busca la ecuación que relaciona resolución con FOV de la cámara para una altura determinada de vuelo de 3m que cubra la densidad de píxeles buscada.
R-PAY-020	La carga útil de la Tolina deberá tener una masa inferior a TBD kg. SOL: Iteramos el presupuesto de masa con las nuevas soluciones posibles
R-PAY-030	La carga útil de la Tolina deberá tener un consumo operativo menor a TBD mAh. SOL: Realizaremos ensayos de consumo.

4.2 Aspectos generales de diseño

La cámara deberá ser localizada en la parte frontal de la góndola y no deberá tener hardware que bloquee su visión. El Subsistema de estructura proveerá el layout de carga útil que permita validar este requerimiento.

P-PAY-012 Para la altura de ensayo de 3 metros establecida por requerimientos, la cámara deberá tener de un FOV de al menos 36.87° para cubrir la pisada de 2 metros requerida.

P-PAY-013 Para la altura de ensayo de 3 metros establecida por requerimientos y una pisada de 2 metros de, la cámara tendrá un radio de visión de 3.162 metros

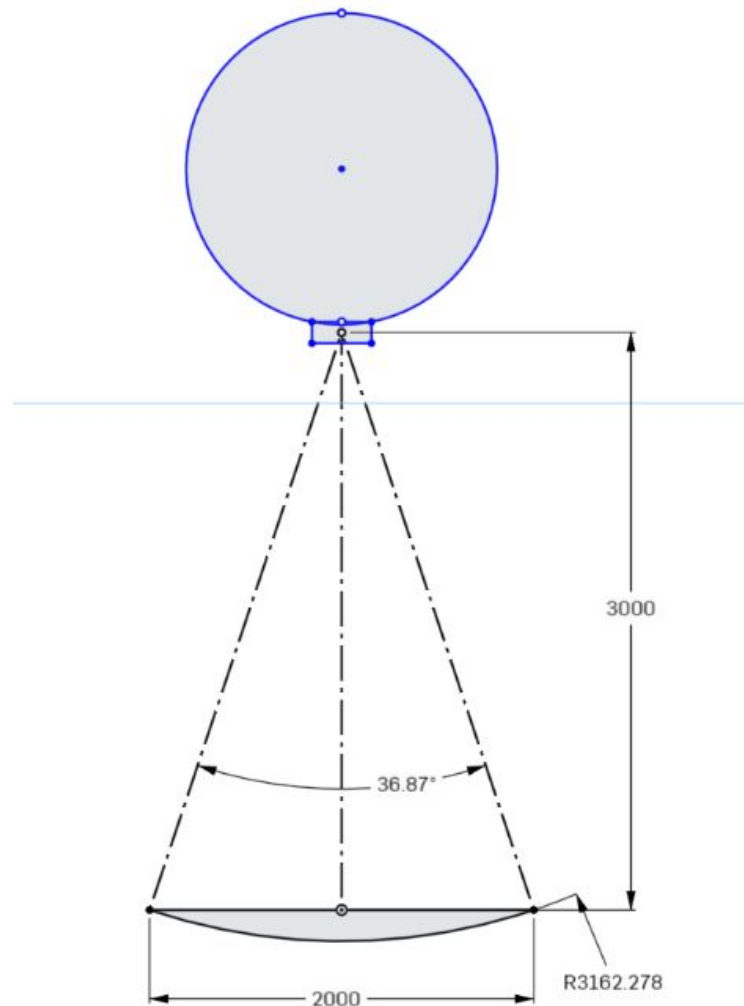
luego: $2\pi R = P$

$$2\pi R \frac{\text{angulo-vision}}{360^\circ} = P$$

$$2\pi * 3.162m \frac{36.87^\circ}{360^\circ} = P = 2.035m$$

luego en el perímetro de 2.035 m = 2035 mm
debemos alojar al menos 1px cada 10mm =>

$$\frac{2035mm}{10 \frac{mm}{px}} = 204 PX$$

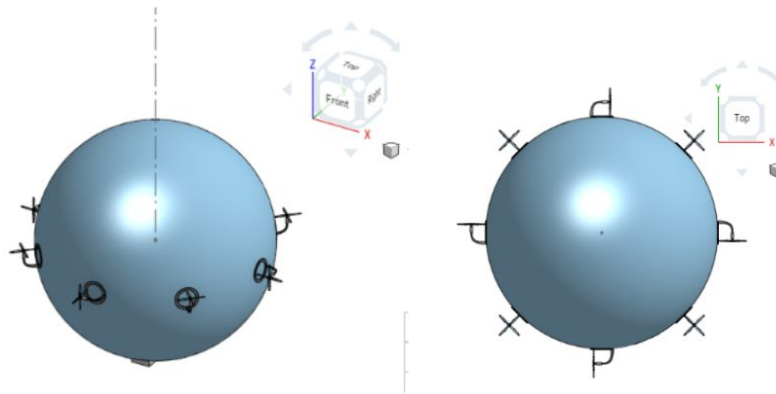


5. Subsistema de Estructura

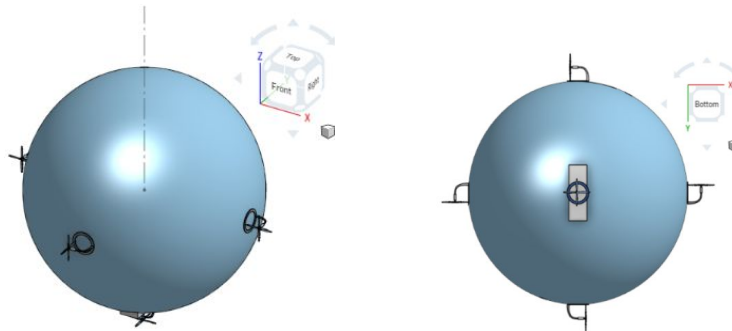
El Subsistema de Estructura es el encargado de proveer flotación natural y estabilidad al Dirigible durante su operación, proporcionar un soporte externo en el cual situar los motores, y alojar la Carga Útil y los Subsistemas de Comunicación, C&DH, GN&C y Potencia.

Opciones de Disposición de Motores para cumplir los requerimientos

1. 8 Motores ecuatoriales: 2 en X | 2 en Y | 4 en Z

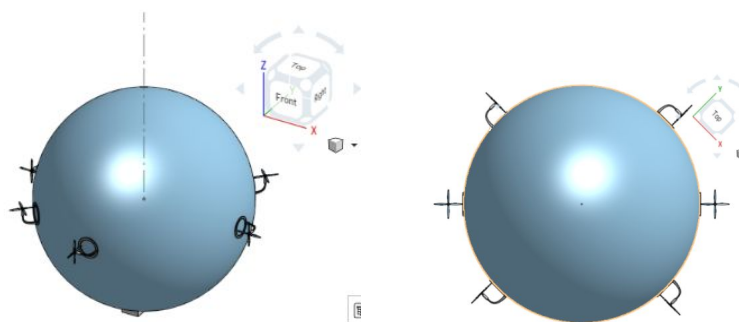


2. 5 motores: 4 motores ecuatoriales: 2 en X y 2 en Y
1 motor en gondola en Z



vista posterior

3. 6 motores ecuatoriales: 2 en X | 2 en y | 2 en Z



5.1. Abordaje de los requerimientos

En la **Tabla X** se listan las bases para el diseño del Subsistema de Estructura, junto con los requerimientos de los que ellas se originan.

Tabla X: Soluciones generales de diseño basadas en los requerimientos de sistema/subsistema.

ID	Solución de diseño
D-STR-010	Se propone dividir la estructura del Dirigible en dos segmentos: <ul style="list-style-type: none">• Un módulo de flotación, compuesto por un fuselaje inflable de un material liviano, resistente y flexible, y por los soportes de los motores del Dirigible, de un material liviano y rígido, adheridos al fuselaje.• Un módulo instrumental, compuesto por una góndola que albergue la electrónica del Dirigible, de un material liviano y rígido, y por un tren de aterrizaje de un material liviano, resistente y levemente flexible.
R-SIS-060; D-STR-022	Se propone que el fuselaje tenga forma esférica y que no supere los 1,42 m de diámetro.
F-STR-020	Se propone que el fuselaje sea inflado con gas helio.
R-STR-021	Se propone que el material del fuselaje sea Mylar, por su resistencia ante los esfuerzos causados por las presiones operativas.
D-PAY-01 1; F-STR-030	Se propone que la góndola cuente con una apertura en su parte inferior, a través de la cual la lente de la cámara pueda obtener imágenes dentro del margen de inclinaciones especificado.
F-STR-031	Se propone que la góndola cuente con una apertura a través de la cual la antena de comunicaciones (exterior) pueda conectarse a Tx/Rx (interior).

5.2. Aspectos generales de diseño

El Subsistema de Estructura está compuesto de dos segmentos: el Módulo de Flotación y el Módulo Instrumental.

El Módulo de Flotación es el encargado de aportar flotación natural al Dirigible, por lo que incluye una estructura flexible y liviana que alberga el helio utilizado con este fin durante la operación, denominada Fuselaje; asimismo, este segmento provee un sostén fijo para cada motor, el cual se denomina Soporte de Motor y se encuentra unido al Fuselaje a lo largo de

toda la operación, separando cada motor lo suficiente de la estructura inflable como para no dañarla.

El Módulo Instrumental tiene por objetivo contener al resto de los subsistemas propios del Dirigible en el interior de un recinto cerrado, denominado Góndola y adherido al Fuselaje durante toda la operación; por otro lado, este segmento incluye un soporte inferior destinado a proteger a la Góndola de cualquier impacto al realizar un descenso, denominado Tren de Aterrizaje y unido a la Góndola durante toda la operación.

5.3. Módulo de Flotación

A continuación se describen las soluciones de diseño posibles para el Fuselaje y los Soportes de Motor.

5.3.1. Fuselaje

El Fuselaje es una estructura inflable compuesta por un número de membranas de tereftalato de polietileno (PET, y de nombre comercial Mylar) soldadas longitudinalmente entre sí, formando un compartimento cerrado en el cual almacenar helio para la flotación con la menor tasa de fuga posible. La elección del Mylar se debe a:

- Su elevado módulo tensil (>150 MPa), que permite el llenado del Fuselaje con helio a presión suficiente para aportar la flotación necesaria;
- Sus valores de densidad ($\sim 1,4$ g/cm³) y espesor (12-250 μ m) disponibles en el mercado, que proporcionan una posible masa de Fuselaje lo suficientemente baja como para trabajar con menos limitaciones en los demás subsistemas y aún así cumplir con el presupuesto de masa general;
- Su opacidad, que reduce las variaciones de temperatura del helio interno al Fuselaje debido a cambios atmosféricos en el ambiente de operación, incidencia de rayos solares, etc.

La única apertura existente en el Fuselaje se encuentra en su parte inferior, donde se ubica la boquilla de llenado del helio, la cual es cerrada herméticamente una vez inflada la estructura.

Dentro de las variables de diseño manejadas en la actualidad, se encuentran el espesor del Fuselaje, y la cantidad y geometría de las membranas a soldar.

- Espesor del Fuselaje: se considera utilizar un espesor de entre 30 μm y 75 μm , ya que un valor mayor que el de este rango supondría una masa de Fuselaje excesiva que limitaría el diseño de los demás subsistemas, y un valor menor supondría una dificultad a la hora de soldar las membranas entre sí.
- Membranas: se considera utilizar un número suficiente de membranas como para garantizar la esfericidad del Fuselaje, pero a la vez el menor posible, para reducir el riesgo de generación de grietas en la estructura debido a defectos en la soldadura. A partir de este número, se determinará la geometría exacta de las membranas, que en principio tienen la forma de la superficie exterior de una cuña, llamada huso esférico.

5.3.2. Soporte de Motor

El Soporte de Motor (**Figura X**) es una estructura similar a un brazo que separa cada motor del Fuselaje a una distancia de por lo menos 2 cm más allá del radio de su hélice. Este soporte está fabricado mediante impresión 3D con un material liviano y rígido, con el fin de aliviar los límites del presupuesto de masa para los demás subsistemas, y de evitar cualquier flexión del brazo durante la operación que pueda poner en peligro al Fuselaje. Para facilitar su manipulación, los Soportes de Motor se adhieren a una superficie circular de velcro integrada al Fuselaje, proporcionándole al operador la libertad de modificar la inclinación de los motores.

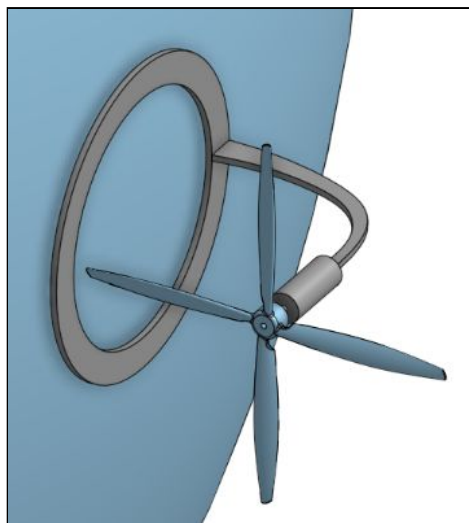


Figura X: modelo de un Soporte de Motor adherido al Fuselaje y con el motor ya integrado.

Con el fin de minimizar la ocurrencia de rotaciones en roll y pitch, los Soportes de Motor forman un plano imaginario perpendicular al eje nadir del Dirigible, en el cual está contenido el centro de masa del mismo.

Dentro de las variables de diseño manejadas en la actualidad, se encuentran la cantidad de Soportes que irán sobre el Dirigible y el material con el que se fabricarán.

- Cantidad: el número de Soportes será el mismo que la cantidad de motores, por lo que este valor quedará definido una vez acordada la configuración de motores.
- Material: se considera fabricar los Soportes con PLA o ABS, ambos materiales comunes en la impresión 3D. Mientras que el PLA ofrece una mayor rigidez, el ABS es menos denso.

5.4. Módulo Instrumental

A continuación se describen las soluciones de diseño posibles para la Góndola y el Tren de Aterrizaje.

5.4.1. Góndola

La Góndola es una estructura adherida a la parte inferior del Fuselaje y centrada en el eje nadir del Dirigible. Está compuesta por una base de góndola, cuatro columnas, una placa instrumental y una tapa de góndola; con excepción de la placa, todos estos componentes están fabricados con el mismo material de baja densidad mediante impresión 3D.

La base de góndola es la interfaz entre la Góndola y el Fuselaje, y consiste de una estructura de base con forma de corona, la cual está unida a una lámina de velcro, integrada a su vez al Fuselaje, y centrada en la boquilla de llenado. Para evitar daños a la boquilla, la parte interior de la corona cuenta con un domo separador entre ella y el resto de la Góndola. Para insertar las cuatro columnas, la base cuenta con cuatro orificios acabados en rosca interna, en los cuales se podrán atornillar las columnas. Próxima al punto de contacto con el Fuselaje, la base cuenta con una rosca externa en la cual insertar la tapa de góndola.

Las cuatro columnas sirven de sostén a la placa instrumental con la base de góndola. Cada una cuenta con rosca interna pasante, en cuyos extremos se atornillan la base de góndola (superior) y la placa instrumental (inferior).

La placa instrumental es la superficie sobre la cual se encuentran instalados la Carga Útil, así como los subsistemas de Comunicación, C&DH, GN&C y Potencia. En principio, estos subsistemas se ubican todos en la parte inferior de la placa, y la Carga Útil se halla específicamente en el centro de ella, con la cámara y el sensor de distancia apuntando hacia nadir..

La tapa de góndola es un domo cuyo propósito es resguardar al resto de la Góndola tanto del ambiente exterior como de cualquier posible impacto. En el centro de su parte inferior cuenta con tres orificios pasantes: uno para desobstruir la lente de la cámara, y dos para el sensor de distancia.

Dentro de las variables de diseño manejadas en la actualidad, se encuentran

5.4.2. Tren de Aterrizaje

[describir distintas soluciones propuestas para tren]

6. Subsistema de Propulsión

Se utilizarán micro-motores DC como los utilizados para Drones. La relación de densidad energética/peso de las baterías litio-ion nos permiten contar con un empuje que cumpla los requerimientos sin que la masa total de las baterías sobrepase lo estipulado. Se plantea utilizar motores de una celda (3.7V nominal) o de dos celdas (7.4V nominal) con hélices de dos o cuatro aspas.

ID	Solución de diseño
P-PRO-010	Cada motor de Tolina deberá proporcionar un empuje de al menos 20 gf (TBC). SOL: Se realizará con impresión 3d un banco de pruebas y se probarán varias opciones de motor
R-PRO-011	Cada motor deberá proporcionar empuje variable. SOL: Se utilizarán señales PWM variables para controlar el empuje variable
D-PRO-020	Cada motor deberá estar alojado en un soporte removible. SOL: SS de Estructuras proveerá el soporte, le daremos las dimensiones y la forma de sujetarlos
R-PRO-030	Los motores deberán pesar menos de 20 g cada uno (TBC).

	SOL: Se investigaron las posibilidades de mercado haciendo una lista de los que cumplen este requerimiento. Estos además serán ensayados
R-PRO-040	Los motores deberán ser dispuestos de manera que aporten al vehículo los grados de libertad mencionados en F-SIS-011 y F-SIS-012. SOL: Se adopta una configuración de motores como se dispuso en SS de Estructura que aporta los grados de libertad necesarios.
R-PRO-050	Cada motor deberá poder girar en ambos sentidos. SOL: Se controlarán los motores con electrónica que permita invertir el sentido de giro, se propone puente H que también permite la implementación de R-PRO-011

7. Subsistema de Potencia

En esta instancia ya sabemos que componentes irán en la góndola, cuanto consumen esto gracias al presupuesto de potencia y hemos chequeado con los requerimientos. Ahora veremos que tipo de fuente de energía es la adecuada para nuestro dirigible.

La solución general debido al Aislamiento social preventivo a nivel nacional con respecto al SubSistema de Potencia es adoptar dos bancos de baterías para poder comenzar tanto los ensayos como la integración por Subsistema sin atrasos de cronograma en distintas facilities.

ID	Solución de diseño
R-POT-010	El dirigible deberá tener un consumo operativo total menor a 10000 mAh. SOL: El presupuesto de potencia cumple este requerimiento en primera instancia. Debemos reducir el ROM para aprobar este req. Detectamos que son críticos los consumos de los motores (aprox 70% del total)
D-POT-011	El dirigible deberá poseer una celda de potencia exclusiva para OBC y payload, llamada BATERÍA1. SOL: se realizará un banco de baterías con el voltaje específico de OBC
D-POT-012	El dirigible deberá poseer una celda de potencia exclusiva para Propulsión, llamada BATERÍA2. SOL: se realizará un banco de baterías con el voltaje específico de los motores
P-POT-020	La BATERÍA1 de potencia deberá alimentar a la OBC durante por lo menos 30 minutos de operación. SOL: se realizarán ensayos de consumo para comprobar la capacidad necesaria para BATERÍA1 según la solicitud que se le pida al OBC.

P-POT-021	La OBC deberá alimentar al payload durante por lo menos 30 minutos de operación. SOL: Se ensayará BATERÍA1 para que cumpla este req al igual que P-POT-20
P-POT-030	La BATERÍA2 de potencia deberá alimentar a los motores durante por lo menos 30 minutos de operación. SOL: Trade-off's entre Potencia-Propulsión y presupuesto de masa para encontrar el porcentaje de tiempo y duty cycle máximo de PWM de motores durante la misión para cumplir este requerimiento.

El dirigible requiere volar y sacar imágenes, para ello la fuente de energía, deberá ser portátil, con harness hacia la góndola para no complicar la maniobrabilidad del dirigible. Se analizaron posibilidades en el mercado.

Nuestra fuente de energía deberá ser el formato de batería que alimentará a la góndola.

Las baterías deberán ser liviana y se busca maximizar la relación potencia sobre peso.

Que la misma no implique una dificultad para que el dirigible flote (exceso de peso de acuerdo al permitido por el balance de masa) y que pueda entrar dentro de la góndola.

Este subsistema es el que aporta mayor masa de todos los subsistemas.

La batería deberá ser recargable.

Será recargable para poder realizar más de un ensayo cuando se requiera.

8. Subsistema de Comunicación

El Subsistema de Comunicación es el encargado de conducir la información sensible, sobre ciencia, ingeniería y comandos durante la misión, proporcionando control sobre los enlaces ascendentes y descendentes, que tienen un carácter crítico a la hora de abordar la misión.

8.1. Abordaje de los requerimientos

En la **Tabla X** se listan las bases para el diseño del Subsistema de Comunicación, junto con los requerimientos de los que ellas se originan.

Tabla X: Soluciones generales de diseño basadas en los requerimientos de sistema/subsistema.

ID	Solución de diseño
F-COM-010; F-COM-011	Se propone que tanto el Dirigible como Estación Terrena cuenten con sistemas de comunicación inalámbricos en los que la dirección de las antenas sean perpendiculares al eje nadir, y que el lóbulo de radiación de las antenas esté enfrenteado.
P-COM-060	Se propone la utilización de bandas de frecuencia entre 433 MHz y 5 GHz, las cuales permiten un baud rate que posibilita el cumplimiento de este requisito.
F-COM-010; F-COM-020; F-COM-030; F-COM-040 y dependencias	Se propone que el subsistema de C&DH gestione las comunicaciones entre los subsistemas de GST, PAY, PRO y GN&C. En dos segmentos centrales alojados uno en Estación Terrena y uno en el Dirigible, y que ambos permanezcan encendidos durante la totalidad de la misión. El Segmento Dirigible escuchando a la espera de comandos desde Estación Terrena, tanto como enviando telemetría a Estación Terrena. El segmento Estación Terrena enviando comandos y recibiendo telemetría.

Versiones de diseño

Para el diseño de las soluciones sugeridas a los requerimientos presentamos las siguientes opciones, seguidas de un breve análisis de ventaja/desventaja:

Opción LoRa/WiFi

LoRaWAN para comandos, WiFi vía HTTP para telemetría (video y datos de sensores). - full duplex

ventaja: LoRaWAN es altamente inmune a las interferencias y provee un largo alcance (fiable según requerimientos en orden de hectómetros).

desventaja: Los paquetes de LoRa son pequeños por lo que no es idóneo para video, Por su modulación particular introduce más partes al sistema, complejizando su configuración y al sistema en sí.

Opción 433/WiFi

RF-433 para comandos, WiFi via HTTP para telemetría (video y datos de sensores). - full duplex

ventaja: RF-433 es muy económico y fácil de implementar, aliviana el caudal de información de la WiFi. Pudiendo estar redundado por WiFi.

desventaja: El RF 433 no es de largo alcance y es susceptible a las interferencias.

Opción WiFi

Solo WiFi: WiFi vía SSH/HTTP (comandos, video y telemetría). - full duplex

ventajas: Simplificación del sistema de comunicaciones.

desventajas: Riesgo de pérdida de comunicaciones y por ende de la misión como tal.

Opción Comandos

Solo RF-27/433: Comandos en formato de puerto serial via RX/TX en la banda de 27 Mhz o 433 MHz (solo comandos, video y telemetría se recopilan en la memoria de OBC). - simplex

ventajas: Bajo costo.

desventajas: Desviación de requerimientos.

Opción Comandos Redundados

LaRaWAN/RF-433/RF-27 para comandos, WiFi vía SSH/HTTP (comandos, video y datos de sensores). - full duplex

ventajas: Mitigación de riesgos alta.

desventajas: Adición de masa y complejización del sistema.

9. Subsistema de Comando y Manejo de Datos

El Subsistema de C&DH es el encargado de procesar la información de ciencia, ingeniería y comandos durante la misión, proporcionando las habilidades necesarias en sus capas de hardware y software, para el correcto desempeño de casi la totalidad de los subsistemas.

9.1. Abordaje de los requerimientos

En la **Tabla X** se listan las bases para el diseño del Subsistema de C&DH, junto con los requerimientos de los que ellas se originan.

Tabla X: Soluciones generales de diseño basadas en los requerimientos de sistema/subsistema.

ID	Solución de diseño
F-CDH-010	Se propone disponer a este sistema en dos partes distribuidas en Estación Terrena y dirigible, de las cuales se considera para su solución utilizar una OBC para realizar las tareas en el segmento de tierra y otra OBC en el segmento de vuelo.
F-CDH-020; F-CDH-030; F-CDH-040; F-CDH-050	Se propone pensar al subsistema en dos capas una de hardware y otra de software, donde la capa de software prepara la información y la despacha, estando desarrollada modularmente para atender a las distintas tareas según se requiera comandos y telemetría, sugiriendo que esto suceda mediante procesamiento simultáneo y comunicación full duplex.

Versiones de diseño

Para el diseño de las soluciones sugeridas a los requerimientos presentamos las siguientes opciones:

Opción OBC-H3/SBC

Centrando el diseño en dos focos; velocidad y gráficos. Es recomendable utilizar ordenadores por la alta demanda de procesos en simultáneo que requiere la misión pudiendo mejorar el rendimiento si estos estuvieran dotados de una gama de formatos de interfaces estándar y no estándar (RS232, USB, SPI, I2C y GPIOs). Según estas ideas es que se propone el SBC (single-board computer) PCduino4 Nano que incluye un ARM (Advanced RISC -Reduced Instruction Set- Machine) H3 que ha sido desarrollado específicamente para tareas en tiempo real con gran desempeño gráfico, incluyendo un GPU y 1GB de RAM el que posibilita ser gestionado tanto con una gama de sistemas operativos basados en Linux. Prefiriendo por su pequeño tamaño y masa para el segmento dirigible.

Otra opción es el equipo Orange Pi Plus 2E (introduciendo el mismo ARM H3) que extiende las funcionalidades de este último a 2GB de RAM y puerto WiFi OnBoard, que si bien parecen ventajas sustanciales, el tamaño y el peso también se incrementan aunque esto pueda llegar a ser despreciable y convertirse en un candidato también para el segmento de vuelo.

En esta primera opción introducimos entonces la solución de usar estos equipos para llevar adelante la totalidad de las operaciones propuestas por los requerimientos en C&DH. Pensando que puedan estar combinados en forma PCduino 4 nano/Orange Pi Plus 2E, o en

la opción de utilizar dos equipos idénticos Orange Pi Plus 2E, distribuidos en el segmento Dirigible y en el segmento Estación Terrena.

Ventajas: El uso de SBC se traduce en equipos altamente portables y dota de capacidades de procesamiento alineadas con las necesidades RTOS y acordes del modelo de ingeniería.

Desventajas: Poseen un consumo de energía un tanto elevado, y no brindan demasiado margen en este sentido, entonces si la energía bajará de lo solicitado la SBC dejaría de responder. Las SBC son equipos principalmente para desarrollo y cualquier uso que se le quiera dar requiere de elaboraciones anexas con todo lo que ello conlleva.

Opción OBC-H3/PC

Como segunda solución se dispondría una de las SBC indicadas en la opción anterior como OBC, pero en combinación con una PC ubicada en Estación Terrena, pudiendo ser ésta tanto un ordenador de escritorio, una portátil, como un dispositivo móvil.

Ventaja: La utilización de equipos portátiles simplifica las tareas evitando el desarrollo de hardware y los diseños agregados que acarrea el uso de las SBC. Contando también que al sumar una PC se suma una mayor capacidad de cálculo lo que reduciría el uso de la RAM de la OBC pudiéndose realizar estas operaciones en tierra.

Desventajas: Dependiendo del dispositivo; los ordenadores con periféricos conllevarían organizar una logística para su traslado. Las portátiles tanto como los dispositivos móviles, no ofrecen opciones amigables de comando como lo hace un joystick o similar y en el último caso tampoco es virtuoso el reducido espacio de visualización que ofrece un celular, motivo por el que se recomienda, que llegado el caso el dispositivo fuera una tablet.

Opción OBC-M0+/SBC-PC

En esta opción introducimos una variante a las anteriores en el segmento dirigible, contando con que entre las OBC disponibles, dentro de las soluciones de comunicación se introduce un equipo portando un carrier LoRaWAN que viene equipado con un ARM Cortex M0+ el cual podría officiar de OBC en el segmento Dirigible.

Ventaja: Reducir drásticamente tanto el consumo de masa como el de energía.

Desventaja: No está pensado ni especialmente preparado para las tareas gráficas y aunque el protocolo LoRaWAN, si bien es de largo alcance, no permitiría la transmisión de video en tiempo real debido al tamaño de sus tramas, el uso de esta OBC para todas las tareas

implicaría un riesgo para la misión mitigado sólo a través del desarrollo de hardware adicional para redundancia.

Opción OBC/Microcontrolador

Esta versión que incluye algunas de las OBC indicadas, sería un modelo de menor complejidad y menores capacidades, pudiendo introducir Arduino Nano para las tareas.

Ventajas: Reducido el tiempo de desarrollo para el segmento de tierra. Produce una mitigación de riesgos más alta en consecuencia.

Desventajas: Genera desvíos de requerimientos.

Opción Microcontrolador/Microcontrolador

Esta versión sería la versión más simplificada de las posibles, sería un modelo de menor complejidad y menores capacidades aunque el anterior, pudiendo introducir dos Arduino Nano para las tareas de comando y telemetría, pero excluyendo el video.

Ventaja: Más simple, menos tiempo, menos riesgoso, mucha menor masa utilizada.

Desventajas: Genera desvíos de requerimientos.

Opción Alta Redundancia

Esta versión incluiría un despliegue mayor de equipos los cuales podrían desarrollar las mismas tareas de forma análoga, tanto como en estación terrena cualquier equipo de los citados podría adquirir los datos e interactuar con el dirigible para obtener su control, esto por medio de un sistema de prioridades.

Ventajas; Riesgos altamente mitigados

Desventajas: Mayores consumo de masa y potencia, en el segmento dirigible, mayor tiempo de desarrollo y mayor complejidad del sistema.

10. Subsistema de Estación Terrena

El Subsistema de Estación Terrena es la encargada de gestionar comandos, almacenamiento de la información tanto datos crudos como procesados y brindar soporte gráfico para visualizar los datos (telemetría y telemandos) provenientes de la computadora de a bordo, del

sistema de guiado, navegación & control y demás sensores de la carga útil. También de operar al dirigible tanto en ascenso, descenso y maniobras en vuelo.

10.1 Abordaje de los requerimientos:

En la **Tabla X** se listan las bases para el diseño de la Estación Terrena, junto con los requerimientos de los que ellas se originan.

Tabla X: Soluciones generales de diseño basadas en los requerimientos de sistema/subsistema.

ID	Solución de diseño
D-GST-010, F-GST-020, F-GST-021, P-GST-030, P-GST-040, F-GST-050	Se propone disponer de un equipo para gestionar comandos, almacenamiento de datos y brindar soporte de visualización, con equipo de comunicación inalámbrico con antena para intercambiar datos e imagen de video, y con un dispositivo de control a distancia para manejar el dirigible.
D-GST-010	Se propone que la frecuencia de comunicación entre la Estación Terrena y el dirigible esté entre los 433 MHz y 5 GHz, para llegar a obtener una latencia de hasta TBD ms.
F-GST-020	Se considera que la Estación Terrena esté conectada a la tensión de línea de 220V o bien que lleve baterías cargadas garantizando así su funcionamiento durante toda la operación.
F-GST-021	Se propone que la Estación Terrena cuente con sistemas inalámbricos (antenas) para comunicarse con el dirigible, y así recibir la telemetría de este.
P-GST-030	Se propone que el Hardware y el Software de la Estación Terrena permita visualizar las imágenes y datos provenientes del dirigible.
P-GST-031	Se propone que el Hardware de la Estación Terrena cuente con monitor o pantalla de TBD pulgadas en adelante. Estos tamaños permitirán poder apreciar con claridad las imágenes y datos del vehículo.

P-GST-040	Se propone que la unidad de almacenamiento de la Estación Terrena sea memoria sólida con una capacidad que supere los 8 GB y robusta para evitar que se pueda extraviar o dañar.
F-GST-050	Como parte de la Estación Terrena, se propone utilizar un mando de control a distancia para manejar el dirigible.

Versiones de diseño:

Para el diseño de las soluciones sugeridas a los requerimientos presentamos las siguientes opciones:

Opción 1 Notebook/ Tablet:

Se propone la utilización de una notebook para gestionar comandos y almacenamientos de datos crudos y procesados, de la computadora de a bordo, del sistema de guiado, navegación & control y demás sensores de la carga útil. Su robustez garantizará la integridad de los datos, el mismo es fácilmente adquirible en el mercado local y fácil de transportar. El subsistema de comunicaciones, nos indico que emplearemos LoRa/WIFI, para ello utilizaremos un Router para WI-FI, permitirá comunicar la notebook con la computadora de abordó del dirigible. Contando con un Router nos asegurará tener señal para establecer las comunicaciones y así no preocuparnos si en el lugar donde ensayaremos, haya señal de WIFI o no.

Para visualizar las imágenes de la carga útil se propone utilizar una tablet, con el WI-FI de la misma se podrá comunicar con la cámara del dirigible. La ventaja de utilizar este dispositivo es su portabilidad, de manejo intuitivo, se consiguen equipos con muy buena definición en la imagen y fácilmente adquirible en el mercado local.

Por último para controlar el dirigible utilizaremos la misma tablet la cual llevará un módulo de LoRaWAN con su antena para las comunicaciones. La misma tablet se encargará del procesamiento de la información, la ventaja es que son pocos dispositivos, pero el manejo de la tablet puede ser llegar a ser dificultoso y susceptible de cometer errores, teniendo dos

funciones a la vez, de visualizar las imágenes de la cámara y manejar el dirigible. Además la programación de los mismos puede llegar a ser dificultoso.

Opción 2 Notebook/ Teléfono Celular:

Se propone la utilización de una notebook para gestionar comandos y almacenamientos de datos crudos y procesados, de la computadora de a bordo, del sistema de guiado, navegación & control y demás sensores de la carga útil. Su robustez garantizará la integridad de los datos, el mismo es fácilmente adquirible en el mercado local y fácil de transportar. El subsistema de comunicaciones, nos indico que emplearemos LoRa/WIFI, para ello utilizaremos un Router para WI-FI, permitirá comunicar la notebook con la computadora de abordo del dirigible. Contando con un Router nos asegurará tener señal para establecer las comunicaciones y así no preocuparnos si en el lugar donde ensayaremos, haya señal de WIFI o no.

Para visualizar las imágenes de la carga útil se propone utilizar un teléfono celular, con el WI-FI del mismo se podrá comunicar con la cámara del dirigible. La ventaja de utilizar este dispositivo es su portabilidad, de manejo intuitivo, se consiguen equipos con muy buena definición en la imagen y fácilmente adquirible en el mercado local.

Por último para controlar el dirigible utilizaremos un control remoto el cual llevará un módulo de LoRaWAN con su antena para las comunicaciones, también se podrá utilizar este sistema como redundante para comunicar el celular con las imágenes del payload del dirigible, continuando con la sugerencia del subsistema de comunicaciones, un OBC tipo Orange Pi Plus 2E, esto vendría de la indicación de la gente de C&DH de utilizar OBC-H3/SBC, esto es para el procesamiento de la información, un portapila para pila 18650 con salida de cables para Arduino, y modulos Joystick analógico con pulsador arduino para la interfaz que usará el usuario, tiene la ventaja de ser portable, bajo peso y fácil de manipular.

Opción 3 Tablet/ Teléfono Celular:

Se propone la utilización de una Tablet para gestionar comandos y almacenamientos de datos crudos y procesados, de la computadora de a bordo, del sistema de guiado, navegación & control y demás sensores de la carga útil. Es portable, fácilmente adquirible en el mercado local y fácil de transportar. Pero también al ser poco robusto es susceptible a poder dañarse fácilmente a una imprevista caída. El subsistema de comunicaciones, nos indico que emplearemos LoRa/WIFI, para ello utilizaremos un Router para WI-FI, permitirá comunicar la notebook con la computadora de abordo del dirigible. Contando con un Router nos asegurará tener señal para establecer las comunicaciones y así no preocuparnos si en el lugar donde ensayaremos, haya señal de WIFI o no.

Para visualizar las imágenes de la carga útil se propone utilizar un celular, con el WI-FI de la misma se podrá comunicar con la cámara del dirigible. La ventaja de utilizar este dispositivo es su portabilidad, de manejo intuitivo, se consiguen equipos con muy buena definición en la imagen y fácilmente adquirible en el mercado local.

Por último para controlar el dirigible utilizaremos la misma tablet la cual llevará un módulo de LoRaWAN con su antena para las comunicaciones. La misma tablet se encargará del procesamiento de la información, la ventaja es que son pocos dispositivos, su portabilidad, desventajas susceptible a dañarse más fácilmente a una imprevista caída. Además la programación de los mismos puede llegar a ser dificultoso.

11. Subsistema de GN&C

Abordaje de los requerimientos:

F-GNC-010, F-GNC-020

Para responder a estos requerimientos se propone la utilización de sensores de aceleración en los tres ejes, sensores de distancia en el eje z y sensores de distancia en x e y para poder realizar correcciones y ajustes al acelerómetro.

Opción MPU

Se propone la utilización de integrados del tipo MPU6050 o MPU9250 que aportan además de los acelerómetro en tres ejes, aceleración angular y magnetómetro en tres ejes. Lo cual ayudaría en el ajuste para el cálculo de navegación.

Ventajas: El dispositivo es económico y fácilmente adquirible en el mercado local.

Desventajas: El dispositivo al ser económico carece de buenos materiales y manufactura lo que lo torna poco preciso.

Opción 3 Ultrasonidos

Se consideran los sensores de distancia ultrasónicos para cumplimentar la tarea de medir la distancia del dirigible al suelo (normal al dirigible, Z-) y hacia X+ e Y+,.. Para esto se prevé que puedan ser 3 para ajustar las distancias de cada eje.

Ventajas: Dotar al dirigible de un modo autónomo

Desventajas: Agregado de masa y alto costo.

Opción 2 Ultrasonidos

Esta es una versión reducida de la anterior en donde uno cumpla con sensar el eje Z- y el otro dotado con capacidad de rotación (90°min , 360°max) cubra X e Y en forma de radar. Pudiendo también utilizarse de otro modo, uno en Z- y otro en Z+ para mitigar el riesgo de colisión con el techo.

Ventajas: se abarata el costo.

Desventaja: se agrega un motor que consume potencia y masa.

Opción Ultrasonido

Una versión más simple es solo aportar un sensor en Z para conocer la distancia nadir del dirigible.

Ventaja: simplifica la implementación y reduce la masa y el costo.

Desventaja: el sistema de navegación se torna menos preciso.