

REVISIÓN DE DISEÑO PRELIMINAR

Facultad Regional Tucumán

Gallardo, Abel Florindo
Mastafá Nazar, Jeremías
Pinto, Nicolás
Juarez, Walter

27 - 06 - 2025



Contenido

1. Introducción

- 1.1 Contexto del proyecto
- 1.2 Motivación del equipo
- 1.3 Propósito del documento

2. Alcance

- 2.1 Alcance técnico
- 2.2 Limitaciones conocidas
- 2.3 Alcance temporal

3. Objetivos

- 3.1 Objetivos generales
- 3.2 Objetivos específicos
- 3.3 Indicadores de éxito

4. Datos del Equipo y Unidad Académica

- 4.1 Unidad académica
- 4.2 Integrantes del equipo
- 4.3 Enfoque de trabajo
- 4.4 Docente a cargo

5. Descripción de la Misión

- 5.1 Objetivos de la Misión Principal
- 5.2 Objetivos de la Misión Secundaria
- 5.3 Descripción del CubeSat
 - 5.3.1 *General*
 - 5.3.2 *Subsistemas*
 - 5.3.3 *Herramientas*
 - 5.3.4 *Criterios de Márgenes*
 - 5.3.5 *Presupuesto Preliminar*
- 5.4 Aseguramiento de la Misión
 - 5.4.1 *Análisis de Confiabilidad*
 - 5.4.2 *Análisis de Riesgos*

5.5 Plan del Proyecto

- 5.5.1 General
- 5.5.2 Cronograma de Actividades Realizadas
- 5.5.3 Costos

6. Anexos

- 6.1 Repositorios y enlaces relevantes
- 6.2 Diagramas y esquemas

1. Introducción

1.1 Contexto del proyecto

El Desafío CubeSat UTN 2025 es una iniciativa impulsada por la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), a través de la Secretaría de Cultura y Extensión Universitaria, con el apoyo de la Facultad Regional Haedo. El proyecto tiene por objetivo fomentar en todas las Facultades Regionales el desarrollo de nanosatélites CubeSat en el marco de una competencia técnica con alcance nacional.

La propuesta está dirigida a estudiantes universitarios y abarca principalmente contenidos curriculares vinculados a la tecnología, física y programación. A través del trabajo práctico e interdisciplinario que implica el diseño y desarrollo de un CubeSat funcional, se busca que los participantes apliquen conocimientos teóricos, fortalezcan habilidades técnicas y desarrollen competencias transversales como el trabajo en equipo, la planificación y la gestión de proyectos.

El evento final consistirá en el lanzamiento de los proyectos de cada facultad en un entorno suborbital simulado, donde se pondrán a prueba sus capacidades de adquisición de datos, autonomía y robustez estructural.

1.2 Motivación del equipo

El equipo de la Facultad Regional Tucumán se involucra en este desafío con el objetivo de aplicar conocimientos adquiridos en su formación académica en un proyecto real e innovador. Los integrantes del grupo provienen de distintas carreras de ingeniería dentro de la UTN, lo que enriquece el abordaje del diseño del CubeSat y fortalece el enfoque interdisciplinario promovido por el desafío.

Además de representar a su unidad académica en un evento de alcance nacional, el equipo busca adquirir experiencia práctica en diseño de sistemas embebidos, adquisición de datos, integración de hardware y gestión de proyectos tecnológicos. Esta participación también permite explorar el potencial de la tecnología CubeSat en aplicaciones científicas y medioambientales, y fortalecer competencias clave como el trabajo en equipo, la resolución de problemas, la toma de decisiones técnicas fundamentadas y la comunicación efectiva entre distintas áreas de conocimiento.

1.3 Propósito del documento

El presente documento constituye la Revisión de Diseño Preliminar (PDR, por sus siglas en inglés) del CubeSat desarrollado por el equipo de la Facultad Regional Tucumán. Su propósito es documentar formalmente los avances alcanzados durante la etapa inicial del proyecto, presentar el diseño conceptual propuesto y justificar su factibilidad técnica y operativa.

En esta instancia se detallan los objetivos de misión, la arquitectura general del sistema, la selección preliminar de componentes, el enfoque de diseño adoptado, los subsistemas planificados y el análisis de riesgos. Asimismo, se incluye un plan de trabajo proyectado, estimaciones de presupuesto y criterios técnicos clave. El PDR permite dejar asentadas las decisiones iniciales de ingeniería que guiarán el desarrollo futuro del CubeSat y constituye una herramienta de validación ante los organizadores del desafío.

2. Alcance

2.1 Alcance técnico

Durante esta etapa inicial del proyecto se abordan aspectos fundamentales del diseño y planificación del CubeSat. Particularmente, se trabaja en la definición de la arquitectura general del sistema, la selección preliminar de sensores y componentes electrónicos, y la validación de su integración lógica y física dentro de las restricciones dimensionales, de masa y de seguridad definidas por el desafío.

Además, se realiza un análisis conceptual de los subsistemas necesarios (censado, adquisición de datos, almacenamiento, alimentación, estructura y protección) y su factibilidad técnica. También se establecen las primeras decisiones de diseño estructural y distribución interna, con vistas a facilitar una futura integración funcional y mecánica.

2.2 Limitaciones conocidas

El proyecto enfrenta diversas limitaciones propias del contexto académico. Entre ellas se destacan:

- Recursos económicos limitados para la adquisición de componentes y materiales.
- Acceso restringido a herramientas de simulación y prototipado profesional.
- Tiempo reducido disponible, debido a la simultaneidad con cursadas universitarias.
- Nivel de conocimiento técnico en desarrollo, especialmente en áreas como telemetría, diseño estructural o análisis térmico.
- Falta de experiencia previa del equipo en proyectos de ingeniería espacial.

Estas limitaciones se abordan mediante una planificación progresiva, asignación de tareas acorde a los perfiles individuales y apoyo institucional disponible.

2.3 Alcance temporal

La fase de diseño preliminar se extenderá desde el inicio del proyecto (mayo de 2025) hasta la entrega formal del presente documento y revisión por parte de los organizadores (estimada para junio de 2025). Durante este período, las metas intermedias incluyen:

- Finalizar la selección del microcontrolador y sensores.
- Verificar la compatibilidad eléctrica y lógica entre componentes.
- Establecer un diseño preliminar del sistema estructural.
- Documentar el estado del diseño y planificar los ensayos futuros.

Esta etapa constituye la base sobre la cual se desarrollarán los subsiguientes procesos de prototipado, ensayo e integración final.

3. Objetivos

3.1 Objetivos generales

El proyecto persigue fomentar el aprendizaje práctico y la aplicación interdisciplinaria de conocimientos en tecnología, física, programación y electrónica. Asimismo, busca fortalecer las habilidades de trabajo en equipo y la colaboración efectiva entre sus integrantes, asegurando el cumplimiento de los requisitos técnicos y reglamentarios establecidos por el Desafío CubeSat UTN 2025.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y desarrollar un CubeSat capaz de medir parámetros ambientales y dinámicos críticos durante la fase de vuelo, tales como temperatura, presión atmosférica, aceleración, giroscopio y concentración de gases.
- Implementar un sistema de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos eficiente y confiable, compatible con las limitaciones de espacio y energía del CubeSat.
- Realizar simulaciones y pruebas preliminares para validar la integración funcional y física de los sensores y demás subsistemas.
- Planificar el diseño estructural y eléctrico asegurando la compatibilidad con el dispensador del evento y la seguridad operacional.
- Documentar rigurosamente todas las etapas del desarrollo para facilitar la revisión, seguimiento y continuidad del proyecto.
- Sentar las bases para el prototipado físico y los ensayos futuros, garantizando la factibilidad técnica y operativa del CubeSat.

3.3 Indicadores de éxito

El progreso y éxito de esta etapa se evaluarán mediante los siguientes criterios:

- Verificación del correcto funcionamiento y comunicación de los sensores mediante pruebas y simulaciones.
- Integración exitosa del sistema de adquisición y almacenamiento de datos, sin fallos críticos que comprometan la operación.
- Validación del diseño estructural y eléctrico dentro de las restricciones dimensionales, de masa y seguridad establecidas.
- Disponibilidad de documentación completa, clara y actualizada que refleje los avances y facilite la transición a fases posteriores.
- Cumplimiento de los plazos establecidos y entrega de los productos parciales comprometidos en la planificación del proyecto

4. Datos del Equipo y Unidad Académica

4.1 Unidad académica

El equipo pertenece a la **Facultad Regional Tucumán (FRT)** de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), una institución de referencia en la región noroeste argentino para la formación de profesionales en ingeniería y tecnología. La FRT se destaca por su compromiso con la enseñanza práctica, la investigación aplicada y la promoción de proyectos innovadores, especialmente en áreas relacionadas con la electrónica, la programación y la física. Su infraestructura y cuerpo docente especializado brindan un entorno propicio para el desarrollo de iniciativas tecnológicas como el presente proyecto CubeSat, que impulsa la participación estudiantil en actividades de alto impacto y relevancia científica y tecnológica.

4.2 Enfoque de trabajo

La dinámica de trabajo se basa en la división de tareas según la especialización de cada integrante, complementada con reuniones periódicas para coordinar avances, resolver inconvenientes y planificar próximos pasos. Para facilitar la colaboración, se utilizan herramientas digitales como repositorios en GitHub para el control de versiones, plataformas de comunicación instantánea y almacenamiento compartido de documentos.

El equipo adopta un enfoque iterativo y progresivo, priorizando la validación temprana de componentes y la documentación continua para asegurar la trazabilidad del proyecto.

4.3 Integrantes del equipo

El equipo está conformado por cuatro estudiantes de la Facultad Regional Tucumán – UTN:

Nombre completo	Contacto
Abel Florindo Gallardo	abel.gallardo@frt.utn.edu.ar
Jeremías Mastafá Nazar	jeremias.mastafa@frt.utn.edu.ar
Nicolás Pinto	nicolas.pinto@frt.utn.edu.ar
Walter Juárez	walter.juarez@frt.utn.edu.ar

Docente a cargo: Ing. Robles, Lucas Gabriel

Contacto: lucasgr93@gmail.com

5. Descripción de la Misión

5.1 Objetivos de la Misión Principal

La misión principal del CubeSat, definida por las bases del Desafío CubeSat UTN 2025, consiste en la medición y registro en función del tiempo de parámetros ambientales y dinámicos críticos durante la fase de vuelo balístico. Estos parámetros son fundamentales para el análisis del comportamiento del nanosatélite y para la obtención de datos relevantes para la comunidad científica y tecnológica. Los objetivos específicos de esta misión obligatoria son:

- Medir la **temperatura atmosférica** para estudiar las variaciones térmicas a diferentes altitudes durante el vuelo.
- Registrar la **presión atmosférica**, que permite estimar la altitud y evaluar las condiciones ambientales.
- Capturar la **aceleración en los tres ejes (X, Y, Z)** para analizar las fuerzas dinámicas que actúan sobre el CubeSat.
- Medir el **ángulo de giro** mediante giroscopios en los tres ejes, facilitando la evaluación del movimiento rotacional y la orientación.
- Determinar el **instante y valor del apogeo**, identificando el punto máximo de altura alcanzado durante el vuelo, usando datos de acelerómetros y sensores de presión.

5.2 Objetivos de la Misión Secundaria

Adicionalmente, el equipo ha definido una misión secundaria destinada a ampliar el perfil científico y ambiental del vuelo, explorando variables complementarias y fomentando la creatividad en el diseño del CubeSat. Los objetivos propuestos para esta misión secundaria incluyen:

- Medición de la **concentración de dióxido de carbono (CO₂)** en la atmósfera, permitiendo la creación de un perfil atmosférico detallado y contribuyendo a estudios ambientales.
- Registro del **campo magnético** a través del magnetómetro integrado, con posibles aplicaciones futuras en navegación, orientación o análisis geofísico.

5.3 Descripción del CubeSat

5.3.1 General

De acuerdo a las especificaciones dadas en el el reglamento CubeSats 2025, determina que todas las piezas tienen que estar unidas en el momento del lanzamiento y en funcionamiento, no obstante dicho diseño debe carecer de sistemas de Paracaídas para el evento del dicho concurso para esta edición del corriente año ya que por simplicidad volarán dentro del dispensador en todas las fases de vuelo.

No se utilizarán elementos pirotécnicos y por motivos de lanzamiento, no tendrá telemetría en tiempo real ya que todos los datos tienen que ser almacenados en una memoria interna de cada uno de los CubeSats, siendo una altura estimada de 3000 m dicho lanzamiento.

Por diversas razones de distintas variables NO se garantizará la recuperación de los CubeSats aunque se haga el máximo de los esfuerzos.

5.3.2 Subsistemas

Estructura

El diseño estructural contempla paredes de espesor considerable fabricadas en PLA RC (reformulado para mayor resistencia) y recubiertas exteriormente con una capa de fibra de carbono para mejorar la rigidez y la protección ante impactos. En el interior se incluirá un revestimiento de espuma o material acolchado para amortiguar vibraciones y golpes durante el lanzamiento y el descenso.

Se evalúa la posibilidad de implementar un sistema de doble capa, en el cual la electrónica principal y el sistema de almacenamiento de datos queden suspendidos mediante una estructura interna flotante o desacoplada, con el objetivo de incrementar la protección mecánica de los componentes más críticos.

Sensado

El sistema de sensado está compuesto por los siguientes dispositivos:

BME280: sensor digital ambiental que mide temperatura, presión atmosférica y permite estimar la altitud. Comunicación mediante protocolo I2C.

- MPU9250 / MPU6050: unidad inercial que mide aceleración (3 ejes), velocidad angular (giroscopio, 3 ejes), y en el caso del MPU9250, también campo magnético (magnetómetro, 3 ejes). Comunicación vía I2C.
- MH-Z19C: sensor de concentración de dióxido de carbono (CO₂), basado en tecnología de absorción infrarroja (NDIR). Comunicación UART.
- RTC interno o temporización por millis(): permite registrar el tiempo de cada evento o medición, actuando como base para los registros temporales (timestamps).

Cada medición incluye múltiples variables, con una estimación promedio de 40 a 60 bytes por entrada de datos. La frecuencia de muestreo varía según el sensor:

- BME280 cada 500 ms (almacenamiento cada 1 s).
- MPU cada 100 ms (almacenamiento cada 500 ms, con promediado).
- MH-Z19C cada 2 s (lectura y guardado sincronizados).

La arquitectura del sistema está diseñada para que todos los sensores se comuniquen eficientemente con el microcontrolador mediante I2C y UART, optimizando el uso de buses y recursos del sistema.

Procesamiento

El microcontrolador principal es el **ESP32 WROOM-32**, un SoC de doble núcleo que opera hasta 240 MHz y cuenta con memoria RAM interna, conectividad Wi-Fi y Bluetooth, y múltiples interfaces de comunicación digital. Su capacidad de cómputo y bajo consumo lo hacen adecuado para aplicaciones embebidas exigentes como CubeSats.

Para la comunicación con los sensores, se utilizan los siguientes protocolos:

- **I2C (Inter-Integrated Circuit)**: protocolo de comunicación serial de dos cables (SDA y SCL), utilizado para conectar el ESP32 con el BME 280, MPU 9250/6050 y otros dispositivos de bajo ancho de banda.
- **UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)**: protocolo de transmisión serie asincrónica utilizado en este proyecto para la lectura del sensor MH-Z19C.

El ESP32 también se encarga del almacenamiento de los datos recolectados y del control del flujo de la misión, garantizando la ejecución de las tareas en tiempo real y el registro de eventos críticos.

Almacenamiento

El sistema de almacenamiento estará basado en una tarjeta microSD conectada al microcontrolador mediante interfaz SPI. Esta solución permite guardar localmente los datos adquiridos durante el vuelo, dado que el desafío no permite el uso de telemetría en tiempo real.

La elección de una tarjeta SD responde a su alta capacidad, bajo consumo energético y compatibilidad con el ESP32. El sistema será capaz de registrar todos los datos sensados, junto con su correspondiente timestamp, en archivos estructurados (por ejemplo, formato CSV o binario), que podrán ser analizados posteriormente tras la recuperación del CubeSat.

Se prevé el uso de bibliotecas optimizadas para acceso rápido y seguro a la memoria, y se implementarán rutinas de verificación periódica de integridad y respaldo de datos ante cortes de energía o fallos inesperados.

Energía

El subsistema de energía del CubeSat estará basado en una batería de ion de litio recargable, cumpliendo con las especificaciones del desafío CubeSat UTN 2025, que establecen una capacidad máxima permitida de **100 Wh** y una **autonomía mínima de 4 horas** desde su activación.

En esta etapa preliminar, se ha estimado el consumo energético del sistema durante una operación típica de vuelo, considerando todos los módulos en funcionamiento continuo durante aproximadamente 2 horas. Los valores estimados de consumo promedio para cada componente son los siguientes:

Componente	Corriente estimada	Tensión de operación	Potencia estimada
ESP32 WROOM-32	~100 mA	3.3 V	~330 mW
BME280	~0.6 mA	3.3 V	~2 mW
MPU 9250 / MPU6050	~3.5 mA	3.3 V	~12 mW
MH-Z19C (sensor CO ₂)	~18 mA	5 V	~90 mW
Tarjeta microSD (activa)	~30 mA promedio	3.3 V	~100 mW
Total aproximado	—	—	~530–600 mW

Con un consumo total estimado de **~600 mW**, el sistema completo requiere alrededor de 1.2 Wh para una misión de 2 horas. Esto deja un amplio margen operativo con respecto al límite de 100 Wh permitido, incluso considerando condiciones imprevistas o funcionamiento prolongado.

En base a estas necesidades, se propone utilizar una batería de ion de litio de **3.7 V y entre 1000 y 2200 mAh**, tales como:

- LiPo 3.7 V – 1200 mAh (4.4 Wh)
- Li-Ion 18650 – 3.7 V – 2200 mAh (8.1 Wh)

Estas opciones aseguran una autonomía muy superior a la requerida, manteniéndose ampliamente dentro del límite establecido por el desafío.

Además, el sistema contará con:

- Un **interruptor de activación tipo RBF (Remove Before Flight)**, accesible hasta 2 horas antes del lanzamiento.
- Protección contra sobrecarga y sobredescarga, conforme a las prácticas seguras para el uso de baterías de litio.

En futuras etapas se evaluará la necesidad de incluir regulación de voltaje y sistemas de distribución para asegurar el suministro adecuado a cada módulo del CubeSat.

Integración

El subsistema de integración se encargará de garantizar una interconexión segura, funcional y ordenada entre todos los componentes del CubeSat. Dado el entorno dinámico del lanzamiento y el vuelo, se priorizará el uso de **conectores firmes, cables protegidos y fijaciones internas** para evitar desconexiones accidentales o interferencias.

El cableado será organizado cuidadosamente con rutas definidas para minimizar cruces, tensiones mecánicas o interferencias electromagnéticas. Se utilizarán técnicas de **sujeción con bridas, canaletas o fijaciones internas** para asegurar los cables al chasis y mantener libre el volumen útil del sistema.

La integración será una responsabilidad compartida entre los miembros del equipo, y se llevará a cabo en paralelo con el ensamblaje estructural y la validación funcional del sistema completo.

5.3.3 Herramientas

Durante esta etapa del desarrollo del CubeSat, se han definido las siguientes herramientas de software y plataformas de trabajo, seleccionadas por su compatibilidad, accesibilidad y robustez para proyectos interdisciplinarios de ingeniería:

- **Framework de desarrollo:** se utilizará el **SDK de Espressif (ESP-IDF)** como entorno principal para programar y compilar el firmware del microcontrolador ESP32, por su bajo nivel de acceso, flexibilidad y soporte oficial.
- **Lenguajes de programación:** el sistema combinará **C++**, utilizado para el desarrollo de firmware sobre microcontroladores, y **Python**, destinado a herramientas auxiliares, simulaciones y procesamiento de datos en entorno local (PC).
- **Entorno de desarrollo (IDE):** se empleará **PlatformIO**, integrado en Visual Studio Code, por su compatibilidad con ESP-IDF, gestión de dependencias, control de versiones (Git) y facilidad de integración con entornos colaborativos como GitHub.
- **Gestión y documentación del proyecto:** se usará **GitHub** para control de versiones, documentación en formato **Markdown** (.md) y seguimiento de tareas mediante **GitHub Projects**. La documentación técnica se centralizará en un repositorio compartido, con actualizaciones periódicas.
- **Diseño y simulación mecánica:** el diseño estructural del CubeSat se realizará en **SolidWorks**, herramienta seleccionada por su capacidad para modelar componentes mecánicos con precisión y realizar simulaciones estáticas. También se empleará para tareas de integración física y análisis de ensamblado.
- **Modelado de circuitos:** aún en proceso de evaluación. Se considerarán herramientas como **KiCad**, **Fritzing**, **Wokwi** o **Tinkercad Circuits** según las necesidades de simulación, documentación o diseño de PCB que surjan en fases posteriores del proyecto.

5.3.4 Criterios de Márgenes

Para garantizar la viabilidad y robustez del diseño del CubeSat, se aplican márgenes de seguridad en los siguientes aspectos clave:

- **Masa:** Se establece un margen del 5% respecto al límite máximo permitido ($1 \text{ kg} \pm 20 \text{ g}$), considerando posibles adiciones menores en etapas avanzadas del diseño e integración.
- **Potencia:** Se prevé un margen del 20% en la estimación de consumo energético, para contemplar variaciones de consumo durante picos de operación o errores de medición.
- **Almacenamiento de datos:** La capacidad de la tarjeta SD seleccionada supera ampliamente el volumen estimado de datos generados durante la misión, aplicando un margen de al menos 10 veces el requerimiento mínimo.
- **Estructura:** Se contemplan tolerancias de fabricación y ensamblado de $\pm 1 \text{ mm}$, y se evalúa un coeficiente de seguridad estructural mínimo de 1.4 en simulaciones mediante análisis FEM, conforme a lo requerido por el desafío.

Estos márgenes permiten absorber desviaciones en el diseño o condiciones no previstas durante el lanzamiento o la operación en vuelo.

5.3.5 Presupuesto Preliminar

Presupuesto de masa

Componente	Masa estimada (g)
Estructura (PLA + recubrimiento)	300
Batería (iones de litio)	200
ESP32 WROOM-32	25
BME280	5
MH-Z19C	35
MPU6050	5
Tarjeta SD + módulo	10
Cableado y conectores	20
Sistema de amortiguación	50
Otros componentes menores	30
Total estimado	680 g

Nota: Se reserva margen adicional hasta alcanzar el límite permitido ($1 \text{ kg} \pm 20 \text{ g}$) para ajustes futuros.

Presupuesto de potencia

Componente / Subsistema	Consumo estimado (mA)	Tensión (V)	Potencia estimada (mW)
ESP32 WROOM-32	150	3.3	495
BME280	1.8	3.3	6
MH-Z19C	20	5	100
MPU6050	3.9	3.3	13
Módulo SD	30	3.3	99
Otros	10	3.3	33
Total estimado	—	—	746 mW

Se prevé una batería con capacidad suficiente para alimentar el sistema durante al menos 4 horas, conforme a las bases del desafío.

Presupuesto de datos

Sensor	Frecuencia de medición	Tamaño por medición	Tiempo total	Volumen estimado
BME280 (T, P)	1 Hz	~6 bytes	10 min	~3600 bytes
MH-Z19C (CO ₂)	0.5 Hz	~2 bytes	10 min	~1200 bytes
MPU6050 (Accel+Gyro)	10 Hz (promediado a 2 Hz)	~12 bytes	10 min	~14,400 bytes
Timestamp	1 por medición	~4 bytes	—	~7200 bytes
Total estimado	—	—	—	~26 KB

La tarjeta SD utilizada puede superar fácilmente este volumen, incluso con márgenes amplios.

5.4 Aseguramiento de la Misión

5.4.1 Análisis de Confiabilidad

La confiabilidad del sistema es un aspecto clave en el diseño del CubeSat, considerando que la misión se ejecuta en un entorno no recuperable y con posibilidad limitada de intervención una vez iniciado el vuelo. En esta etapa inicial se han definido diversas medidas orientadas a maximizar la probabilidad de funcionamiento correcto y continuo del sistema durante toda la duración de la misión.

Pruebas funcionales

Se prevé la realización de pruebas funcionales por etapas, que incluirán:

- **Validación individual de sensores**, asegurando su correcto funcionamiento y comunicación (I2C/UART) con el microcontrolador.
- **Ensayos de integración por subsistemas**, combinando sensores y módulos de comunicación en condiciones controladas.
- **Simulaciones de misión**, conocidas como "Un día en la vida", que reproducen el comportamiento del sistema desde su activación hasta la fase de adquisición de datos.

Estas pruebas se realizarán tanto en simuladores virtuales y en entornos físicos reales.

Diseño orientado a tolerancia a fallos

A pesar de las restricciones de masa y volumen impuestas por el estándar CubeSat, se contemplan estrategias básicas de tolerancia a fallos:

- **Verificación continua del estado de sensores y módulos**, mediante chequeos periódicos durante la operación.
- **Reinicio automático del sistema** en caso de bloqueo o comportamiento anómalo, mediante el uso de temporizadores de vigilancia (watchdog timers).
- **Registro continuo de eventos** y uso de timestamps, para facilitar el análisis post-misión y la identificación de fallas.

Consideración de redundancia

Dado que el proyecto se encuentra en una etapa inicial y con recursos limitados, no se prevé incorporar redundancia física de componentes. Sin embargo, se implementarán mecanismos de **redundancia lógica** y validación cruzada de datos (por ejemplo, contraste entre presión y aceleración para confirmar el apogeo).

Estas acciones buscan minimizar los errores, anticipar problemas antes de la integración final y garantizar la funcionalidad del CubeSat dentro de los márgenes establecidos.

5.4.2 Análisis de Riesgos

A continuación, se presenta un análisis de los principales riesgos identificados hasta esta etapa del proyecto. Cada riesgo incluye una breve descripción, su causa probable, el posible impacto en el desarrollo del CubeSat y las acciones de mitigación propuestas.

ID	Riesgo	Causa	Impacto	Mitigación
R-01	Fallo en la lectura de sensores	Problemas en el cableado, incompatibilidad de librerías o errores en el código	Pérdida de datos críticos de misión	Validar sensores individualmente en simuladores y en prototipos reales. Pruebas por separado antes de la integración total.
R-02	Exceso de consumo energético	Uso simultáneo de múltiples sensores y módulos sin control de energía	Reducción de la autonomía durante el vuelo	Estimar consumo total. Simular funcionamiento conjunto. Incorporar gestión de energía en el software.
R-03	Incompatibilidad mecánica	Tamaño o forma de los componentes que impiden su correcta disposición	Imposibilidad de integración estructural	Modelado 3D preliminar del contenedor. Validar dimensiones reales de los módulos antes de compra/montaje.
R-04	Limitaciones de almacenamiento	Volumen de datos mayor al esperado durante la misión	Pérdida parcial de información o truncamiento de registros	Calcular memoria necesaria por sensor y establecer frecuencia óptima de muestreo y guardado.
R-05	Retrasos en la integración	Coordinación insuficiente entre áreas (electrónica, estructura, software)	Dificultad para cumplir plazos de validación y entrega	Definir hitos parciales. Mantener reuniones regulares. Documentar cada avance de forma compartida.
R-06	Daño en el hardware durante ensayos	Mala manipulación, cortocircuitos o alimentación inadecuada	Reemplazo de componentes, pérdida de tiempo y presupuesto	Realizar ensayos controlados, seguir buenas prácticas de conexión, y usar protecciones eléctricas básicas.
R-07	Comunicación deficiente en el equipo	Falta de claridad en tareas y avances	Duplicación de esfuerzos o tareas sin completar	Uso de repositorio común, tareas distribuidas claramente, uso de checklists y reuniones breves de seguimiento.

5.5 Plan del Proyecto

5.5.1 General

El desarrollo del proyecto se organiza en fases progresivas: análisis de requisitos, diseño preliminar, selección de componentes, validación funcional, integración y pruebas. Cada fase incluye puntos de control definidos (reuniones técnicas y entregables parciales) que permiten verificar el avance, corregir desvíos y asegurar la coherencia del diseño con los objetivos del desafío CubeSat UTN 2025. El equipo adopta una estrategia de mejora iterativa, combinando simulación digital, documentación técnica y ensayos prácticos.

5.5.2 Cronograma de Actividades Realizadas

A continuación, se presenta un resumen del avance del proyecto durante las primeras cinco semanas, con dos reuniones semanales combinando modalidad online y presencial:

- **Semana 1:**
 - Reunión 1 (online): lectura y análisis del reglamento técnico del desafío CubeSat UTN 2025.
 - Reunión 2 (online): recopilación de información sobre proyectos CubeSat, sensores atmosféricos y criterios de diseño.
- **Semana 2:**
 - Reunión 1 (online): definición preliminar de sensores a utilizar y materiales estructurales.
 - Reunión 2 (presencial): discusión y planificación de la misión secundaria y validación inicial de componentes.
- **Semana 3:**
 - Reunión 1 (online): avance en la estructuración y redacción del documento de Revisión de Diseño Preliminar (PDR).
 - Reunión 2 (online): organización del repositorio y coordinación del trabajo colaborativo.
- **Semana 4:**
 - Reunión 1 (online): análisis y selección de materiales para la estructura, evaluación preliminar de costos.
 - Reunión 2 (presencial): pruebas iniciales de sensores y verificación de compatibilidad eléctrica.
- **Semana 5:**
 - Reunión 1 (online): consolidación de resultados de pruebas y ajustes en el diseño.
 - Reunión 2 (presencial): revisión general del avance y planificación de próximas etapas.

5.5.3 Costos

A continuación, se presenta una estimación preliminar de los costos asociados al desarrollo del CubeSat, incluyendo sensores, componentes electrónicos, estructura y otros elementos necesarios para la integración y validación del sistema.

Categoría	Elemento	Cantidad	Costo unitario (ARS)	Costo total (ARS)
Sensores	BME280	1	\$ 23.000	\$ 23.000
	MH-Z19C	1	\$ 50.000	\$ 50.000
	MPU6050	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Procesamiento	ESP32 WROOM-32	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Almacenamiento	Módulo MicroSD	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Estructura	Filamento PLA RC + fibra de carbono	-	\$ 60.000	\$ 60.000
	Material acolchado interior	-	-	-
Otros	Cables, protoboard, conectores	-	\$ 30.000	\$ 30.000
Total estimado				\$ 213.000

Nota: Los valores son aproximados y pueden variar según disponibilidad, proveedores y costos de envío.

6. Anexos

6.1 Repositorios y enlaces relevantes

Tipo de recurso	Descripción	Enlace o ubicación
Repositorio de Documentos y Código	Proyecto principal con código fuente, documentación técnica y control de versiones	<i>Github - cubesat-utn-frt</i>
Simulación de sensores	Prototipo virtual del sistema de medición usando ESP32	
Cronograma y seguimiento	Tareas asignadas, calendario de actividades, avances y entregas	
Otros recursos técnicos	Librerías, datasheets, herramientas de cálculo	

Nota: Los enlaces serán actualizados conforme el proyecto avance y se definan los entornos definitivos de trabajo.

6.2 Diagramas y esquemas

Diagrama de Bloques

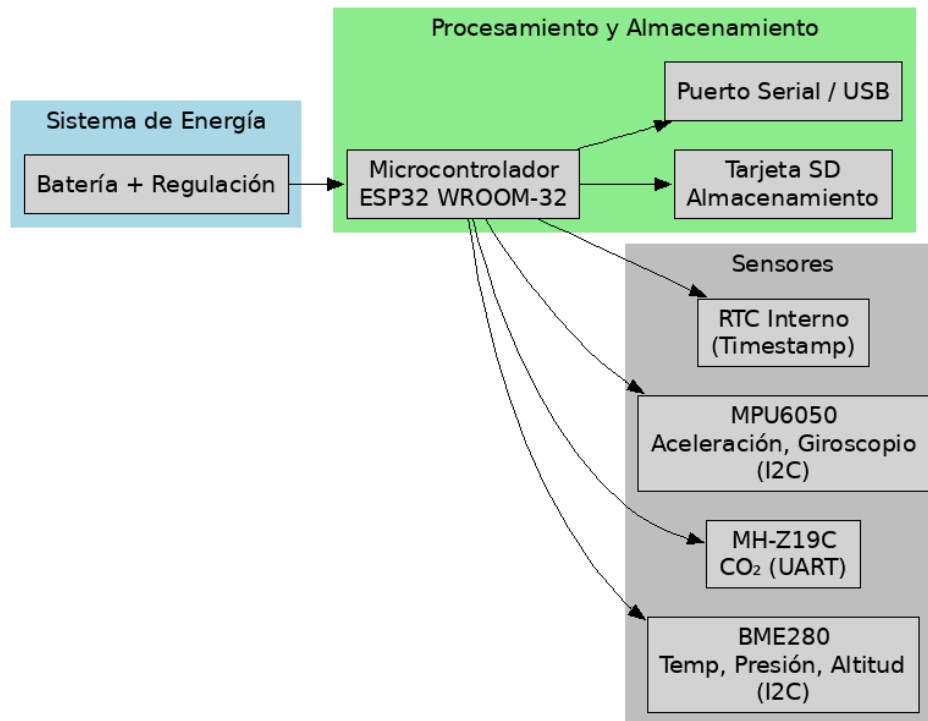
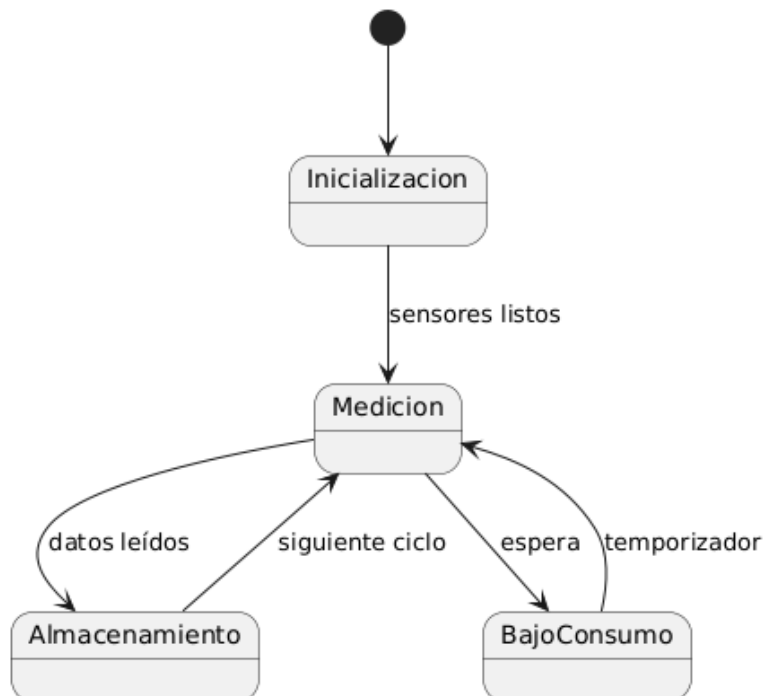


Diagrama de Estados del Sistema



Formato Exterior

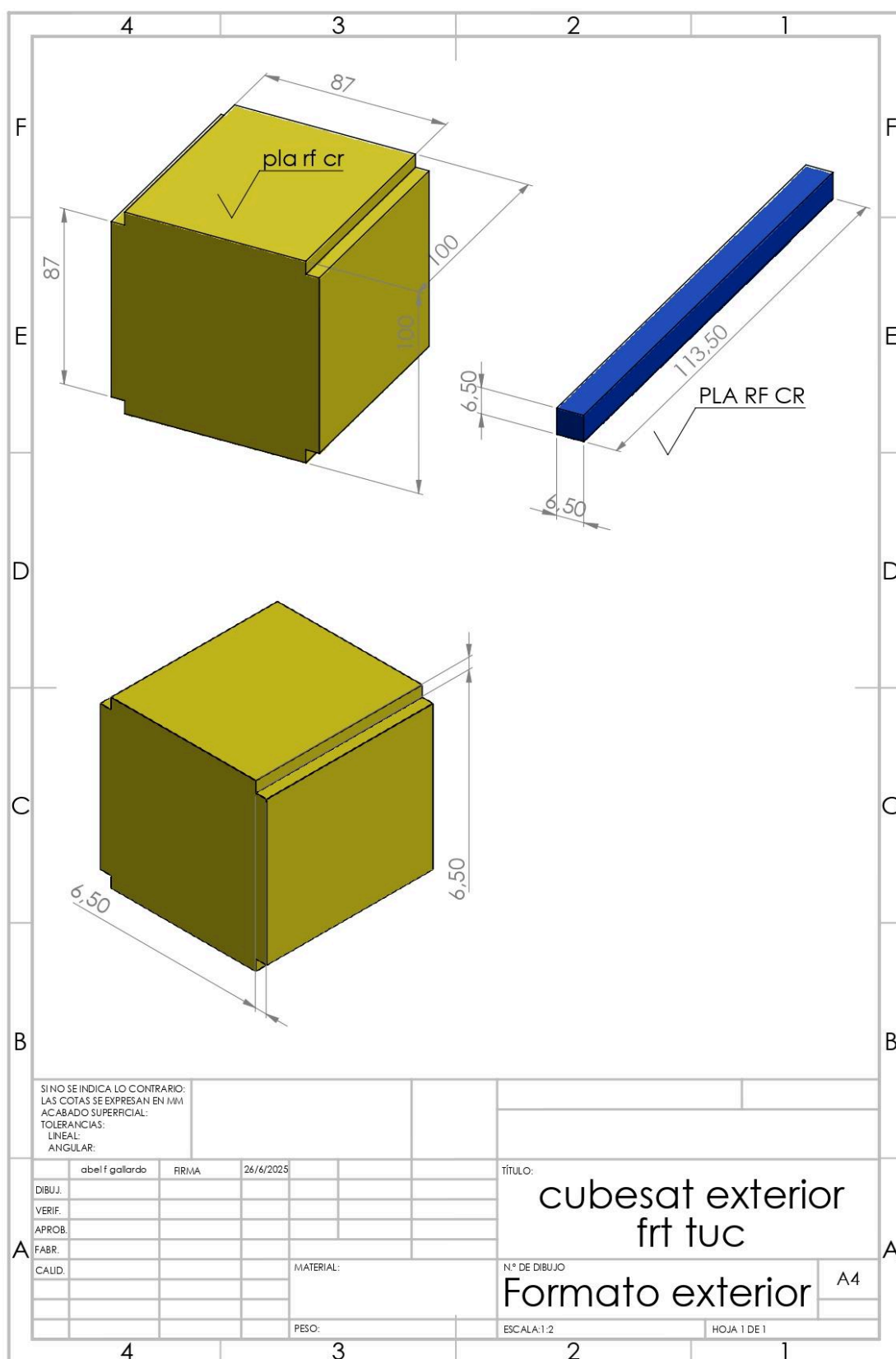


Diagrama de Arquitectura de Software

