



Proyecto BIFROST

REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS DE SISTEMA (SRR)

Resumen técnico de CONOPS

- Descripción general del sistema
- Escenario operacional nominal
- Restricciones del sistema

Requerimientos

- Requerimientos de usuario
- Requerimientos de sistema
- Matriz de trazabilidad

Plan de ensayos

Evaluación de riesgos

Estimación de costos

Pasos futuros

Objetivo de esta presentación

Revisión del estado del proyecto

Definición final de requerimientos

Establecer la línea de base del sistema

Habilitar el paso a la fase de Diseño Preliminar (PDR)

Resumen técnico del CONOPS

Descripción general del sistema

Carga útil de comunicaciones tipo Store & Forward

Integrada en plataforma CubeSat 12U

Recepción UHF desde estaciones remotas

Almacenamiento temporal de datos a bordo

Descarga diferida a estaciones terrenas vía Banda S

Escenario de operación nominal

Recepción de datos en 401 - 403 MHz

Identificación del mensaje y decodificación

Almacenamiento de datos de 16 GB

Control de zona definida para recepción y descarga de mensajes

Transmisión de datos por banda S (2200 MHz)

Restricciones del sistema

Restricciones de plataforma:

- Potencia ≤ 10 W
- Masa ≤ 3 kg
- Volumen $\leq 20 \times 20 \times 10$ cm

Restricciones del entorno:

- Órbita LEO (~650 km)
- Radiación
- Efecto Doppler

Requerimientos de usuario

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
UR-01	1.1	El sistema deberá proveer un servicio Store & Forward satelital, almacenando datos durante su orbita para ser descargados en una estación terrestre.	Alta	Alto	Media	Funcional	Propuesto
UR-02	1.2	El sistema deberá soportar un enlace downlink desde el satélite hacia estaciones terrenas en territorio chileno.	Alta	Medio	Baja	Funcional	Propuesto
UR-03	1.2	El sistema deberá soportar un enlace uplink desde estaciones remotas de monitoreo meteorológico, sísmológico y/o vulcanológico hacia el satélite para la recolección de datos.	Alta	Medio	Baja	Funcional	Propuesto
UR-04	1.2	El sistema deberá ser compatible con el estándar internacional para recolección de datos ambientales por satélite utilizado por estaciones remotas autónomas de meteorología, sísmología, vulcanología, etc.	Alta	Medio	Media	Proceso	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
UR-05	1.1	El sistema deberá asegurar la integridad de los datos durante su recepción, almacenamiento y transmisión.	Media	Bajo	Baja	Funcional	Propuesto
UR-06	1.2	El sistema deberá ser compatible con plataforma CubeSat 12U en órbita terrestre baja (LEO) sol síncrona a una altitud nominal aproximada de 650 km con una inclinación de 96°.	Alta	Alto	Baja	No funcional	Propuesto
UR-07	1.1	El sistema deberá cubrir el territorio chileno continental, zonas extremas, territorio insular y territorio antártico.	Media	Bajo	Baja	Funcional	Propuesto
UR-08	1.2	El sistema deberá permitir el uso de componentes COTS siempre que cumplan con: (a) funcionamiento en órbita probada, (b) tolerancia a la radiación verificada, o (c) mitigaciones de diseño que reduzcan el riesgo a un nivel aceptable para la misión.	Alta	Alto	Media	No funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
UR-09	1.1	El sistema deberá ser de carácter experimental, con proyección a futuras aplicaciones comerciales.	Baja	Bajo	Baja	No funcional	UR-09
UR-10	1.1	El sistema deberá presentar una arquitectura modular, reutilizable y escalable.	Baja	Bajo	Media	No funcional	UR-10
UR-11	1.1	El sistema debe garantizar una vida útil operativa mínima de 5 años en el entorno de radiación LEO definido.	Alta	Alto	Media	No funcional	UR-11
UR-12	1.1	El sistema debe ser validado mediante pruebas funcionales en tierra y demostración en órbita.	Baja	Bajo	Baja	Proceso	UR-12
UR-13	1.0	El sistema deberá ser compatible con el sistema de separación del lanzador seleccionado EXOpod 12U, cumpliendo con las restricciones geométricas, mecánicas y de seguridad.				No funcional	UR-13

Requerimientos de sistema

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-01	1.2	El sistema deberá permitir la recepción de paquetes de datos con una tamaño desde 32 a 256 bits, con una tasa de datos de 400 bps.	Alta	Alto	Media	Funcional	Propuesto
SR-02	1.4	El sistema deberá operar como receptor en el rango de frecuencias 401 -402 MHz utilizado por estaciones remotas, con una polarización circular y una cobertura angular de 88°.	Alta	Alto	Media	No funcional	Propuesto
SR-03	1.3	El sistema deberá ser compatible con la estructura de datos enviado por las estaciones remotas , incluyendo modulación, canalización y protocolos, además de las variaciones en frecuencia por efecto Doppler.	Alta	Alto	Media	Funcional	Propuesto
SR-04	1.3	El sistema deberá almacenar al menos 1.000.000 mensajes de durante un tiempo máximo de 15 órbitas y sin pérdidas hasta establecer contacto con una estación terrestre para la descarga.	Media	Medio	Baja	Funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-05	1.2	El sistema deberá mantener la asociación temporal de los datos almacenados.	Baja	Bajo	Baja	Funcional	Propuesto
SR-06	1.2	El sistema deberá permitir la descarga de al menos 10.000 mensajes almacenados hacia estaciones terrestres cuando exista conectividad disponible.	Media	Medio	Baja	Funcional	Propuesto
SR-07	1.3	El sistema deberá entregar los datos al subsistema de comunicaciones de la plataforma (Transponder Banda S) para el enlace downlink.	Media	Medio	Baja	Proceso	Propuesto
SR-08	1.2	El sistema deberá gestionar una tasa de transferencia hacia el OBC compatible con el bus del satélite (ej. >1 Mbps sobre CAN/SPI).	Alta	Alto	Media	No funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-09	1.3	El protocolo de comunicación interno deberá soportar control de flujo y retransmisión para asegurar la entrega al OBC.	Media	Bajo	Baja	Funcional	Propuesto
SR-10	1.2	El sistema deberá implementar mecanismos de integridad de datos en todas las etapas, con un error de bit menor a 0.01% y control de acceso a la descarga de datos por estaciones terrestres.	Media	Medio	Baja	Interfaz	Propuesto
SR-11	1.2	El sistema deberá comunicarse con el OBC del CubeSat 12U mediante CANBUS y reportar su estado periódicamente.	Alta	Alto	Baja	Interfaz	Propuesto
SR-12	1.1	El sistema deberá escuchar activamente en las zonas definidas por la misión y transmitir cuando el OBC lo ordene.	Media	Medio	Baja	Funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-13	1.2	El sistema deberá consumir un máximo de 10 W en operación nominal y ser alimentado por el sistema de potencia del satélite de forma continua.	Alta	Alto	Media	No funcional	Propuesto
SR-14	1.1	El sistema deberá tener dimensiones máximas 20 cm x 20 cm x 10 cm.	Alta	Alto	Baja	No funcional	Propuesto
SR-15	1.2	El sistema deberá tener una masa máxima de 3.0 kg y mantener su Centro de Gravedad (CoG) a ± 2 mm del centro geométrico.	Alta	Alto	Baja	No funcional	Propuesto
SR-16	1.1	El sistema deberá cumplir con requisitos de EMI/EMC compatibles con operación satelital, evitando interferencias internas y externas durante todo el proceso de lanzamiento, despliegue y operación.	Alta	Alto	Media	No funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-17	1.2	El sistema deberá diseñarse de forma modular y permitir la actualización de firmware en vuelo (OTA).	Media	Bajo	Baja	No funcional	Propuesto
SR-18	1.2	El sistema deberá certificarse mediante prueba térmicas, mecánicas y eléctricas en las instalaciones de Centro Espacial Nacional y ser validado en órbita.	Media	Bajo	Media	Proceso	Propuesto
SR-19	1.0	El sistema deberá ser respetar la envolvente interna permita, los volúmen prohibidos y las restricciones sobre protrusiones, mecanismos móviles y bordes activos, asegurando la integración con la plataforma.				No funcional	Propuesto
SR-20	1.0	El sistema deberá soportar los ambientes mecánicos de lanzamiento (cargas cuasiestáticas, vibración y shock) definidos por el lanzador y deployer seleccionados.				No funcional	Propuesto

ID	Versión	Descripción del Requerimiento	Prioridad	Riesgo	Dificultad	Tipo	Estado
SR-21	1.0	El sistema deberá implementar Watchdog Timers externos e independientes para reinicio ante eventos SEU/Latch-up.				Funcional	Propuesto
SR-22	1.0	Protección electrónica contra Single Event Latch-up (SEL) mediante limitación de corriente activa.				No funcional	Propuesto
SR-23	1.0	El sistema deberá utilizar componentes y materiales no metálicos que cumplan con un TML < 1.0% y un CVCM <0.1%				No funcional	Propuesto

Matriz de trazabilidad

	SR-01	SR-02	SR-03	SR-04	SR-05	SR-06	SR-07	SR-08	SR-09	SR-10	SR-11	SR-12	SR-13	SR-14	SR-15	SR-16	SR-17	SR-18
UR-01	X			X		X												
UR-02				X		X												
UR-03						X			X									
UR-04	X	X	X															
UR-05				X	X			X		X								
UR-06											X	X	X	X	X	X		
UR-07		X					X											
UR-08																X	X	
UR-09																	X	
UR-10																	X	
UR-11																X	X	
UR-12																		X

Resumen de requerimientos

Total de requerimientos de usuario y sistema acotados

Requerimientos alineados con la función Store & Forward

Requerimientos de alto nivel a nivel sistema

- Funcionalidad
- Interfaces
- Restricciones físicas y operacionales

Trazabilidad completa desde CONOPS

Plan de ensayos

Pruebas en tierra

Ensayos realizados en instalaciones del CEN

Objetivo:

- Verificar desempeño funcional
- Validar interfaces
- Asegurar robustez ambiental

Tipos de ensayos:

- Funcionales y eléctricos
- Ambientales térmicos
- Mecánicos y dinámicos
- Compatibilidad electromagnética (EMC)

Ensayos Funcionales y Eléctricos

Validación de operación nominal y manejo de fallas

Consumo de potencia y corrientes de arranque

Desempeño RF UHF

Integridad de datos y almacenamiento

Interfaces con OBC y Banda S

Mecanismos de seguridad y recuperación

Ensayos Ambientales y Mecánicos

Ciclado térmico y vacío térmico (TVAC)

Vibración aleatoria y sinusoidal

Verificación de masa y centro de gravedad

Prueba de mecanismos y despliegue de antenas

Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Auto-compatibilidad electromagnética

Emisiones conducidas en potencia

Susceptibilidad frente a transmisiones RF

Coexistencia con la plataforma

Validación en Órbita (IOV)

Ejecutada posterior a LEOP

Verificación de enlace y recepción de datos

Demostración Store & Forward en órbita

Descarga vía Banda S

Actualización de firmware en vuelo

Evaluación de riesgos

ID	Impacto	Probabilidad (%)	Nivel Impacto	Nivel Probabilidad	Valor Riesgo	Clasificación	Mitigación Propuesta
UR-01	Alto	20	3	2	6	Alto	Diseño de memoria no volátil con margen ≥50%, simulación de carga orbital y pruebas de estrés en tierra
UR-02	Medio	10	2	1	2	Bajo	
UR-03	Medio	15	2	2	4	Medio	Validación temprana con transmisores representativos y pruebas HIL
UR-04	Medio	20	2	2	4	Medio	Revisión de estándar ARGOS y asesoría INVAP
UR-05	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
UR-06	Alto	15	3	2	6	Alto	Análisis de interfaces mecánicas/eléctricas y revisión PDR con proveedor de plataforma
UR-07	Bajo	5	1	1	1	Bajo	
UR-08	Alto	25	3	2	6	Alto	Selección COTS con validación espacial y mitigación por redundancia y watchdogs
UR-09	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
UR-10	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
UR-11	Alto	30	3	2	6	Alto	Pruebas de estrés, análisis térmico y pruebas de vida aceleradas
UR-12	Bajo	10	1	1	1	Bajo	

ID	Impacto	Probabilidad (%)	Nivel Impacto	Nivel Probabilidad	Valor Riesgo	Clasificación	Mitigación Propuesta
SR-01	Alto	15	3	2	6	Alto	Prototipo temprano del receptor y pruebas BER en laboratorio
SR-02	Alto	10	3	1	3	Medio	Verificación de front-end RF y filtros certificados
SR-03	Alto	25	3	2	6	Alto	Simulación Doppler y pruebas con generador de señales
SR-04	Medio	20	2	2	4	Medio	Margen de memoria $\geq 50\%$ y control de overflow
SR-05	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
SR-06	Medio	15	2	2	4	Medio	Ensayos de descarga en peor escenario
SR-07	Medio	10	2	1	2	Bajo	
SR-08	Alto	25	3	2	6	Alto	
SR-09	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
SR-10	Medio	20	2	2	4	Medio	CRC, ACK/NACK y control de acceso
SR-11	Alto	20	3	2	6	Alto	Pruebas de compatibilidad CAN con OBC real
SR-12	Medio	15	2	2	4	Medio	Validación de lógica de estados y temporización

ID	Impacto	Probabilidad (%)	Nivel Impacto	Nivel Probabilidad	Valor Riesgo	Clasificación	Mitigación Propuesta
SR-13	Alto	30	3	2	6	Alto	Presupuesto de potencia con margen $\geq 25\%$
SR-14	Alto	15	3	2	6	Alto	Revisión de layout 3D y mockup mecánico
SR-15	Alto	10	3	1	3	Medio	Simulaciones CAD para estimaciones de masas y revisión periodica de masa en el prototipo
SR-16	Alto	20	3	2	6	Alto	Mediciones EMI/EMC y separación RF
SR-17	Bajo	10	1	1	1	Bajo	
SR-18	Bajo	10	1	1	1	Bajo	

Resumen de la evaluación

Parámetros considerados

- Impacto
- Probabilidad de ocurrencia

Clasificación de riesgos

- Bajo
- Medio
- Alto

Riesgos relevantes

- Integración con la plataforma
- Operación durante la misión

Estimación de costos

Ítem	Descripción	Costo estimado (USD)
Recursos humanos	2 ingenieros x 2000 USD/mes x 12 meses	48.000
Componentes y materiales	Electrónica, mecánica y materiales	50.000
AIT	Integración, pruebas funcionales y ambientales	15.000
Logística	Transporte, envíos, importaciones y soporte	20.000
Total		133.000

Pasos futuros

Definición de
arquitectura de
funcional



Definición de
interfaces



Diseño de
diagramas de
alto nivel

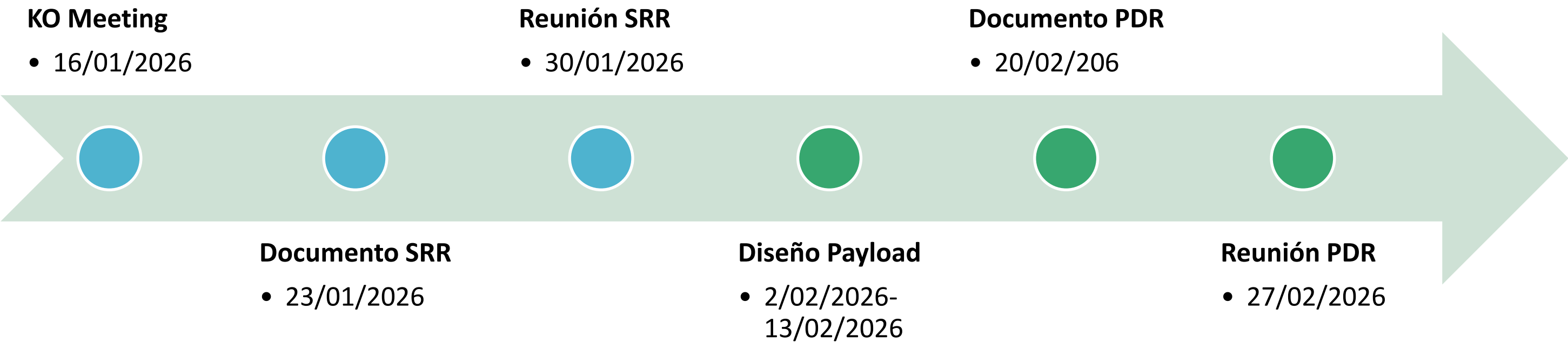


Diagrama de
bloques de bajo
nivel



Diseño
preliminar





Proyecto BIFROST

REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS DE SISTEMA (SRR)