

TRABAJO PROFESIONAL

RUSTAR

**Software para estación terrena:
Telemetría, Seguimiento y Control satelital**

26 de abril de 2025

Integrantes	Padrón	Email
Bohórquez, Rubén	109442	rbohorquez@fi.uba.ar
Davies Leccese, Alen	107084	adavies@fi.uba.ar
Lazcano, Luca	107044	llazcano@fi.uba.ar
Medone Sabatini, Juan Ignacio	103878	jmedone@fi.uba.ar

Tutor: Dr. Mariano Méndez

Co-Tutor: Ing. Pablo Deymonnaz

Co-Tutor LABi: Ing. Fernando Filippetti

Índice

1. Resumen	2
2. Palabras clave	2
3. Abstract	3
4. Keywords	3
5. Introducción	4
6. Estado del Arte	5
7. Problema detectado y/o faltante	6
8. Solución propuesta	7
9. Evaluación preliminar de impacto económico, social y ambiental	8
10. Metodología	9
11. Experimentación y/o validación	11
12. Plan de actividades	12
13. Referencias	14
14. Anexos	15
14.1. Glosario	15

1 Resumen

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo del software para una estación terrena dedicada a tareas de Telemetría, Seguimiento y Control (*TT&C*) de satélites de tipo *CubeSat*, desarrollados en el marco del proyecto Astar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. La estación terrena permitirá la comunicación con los satélites mediante un dispositivo de radio definida por software (*SDR*), debiendo implementar las modulaciones y demodulaciones necesarias para procesar las señales. El sistema deberá incorporar funciones para el seguimiento del satélite en tiempo real, permitiendo así que el sistema de rotación del brazo robot que controla la antena apunte correctamente al satélite durante su paso orbital.

Para garantizar el intercambio de datos de forma segura, eficiente y confiable, se implementará un protocolo de comunicaciones adecuado. El sistema deberá ser accesible de forma remota, dada la posibilidad de que los operadores y la estación se encuentren en ubicaciones distintas. Incluirá una interfaz gráfica de usuario (*GUI*) para facilitar la visualización del estado de la misión y el envío de comandos. El software será diseñado con un enfoque modular, extensible y basado en herramientas de código abierto, permitiendo su adaptación a distintas configuraciones y necesidades.

La finalidad de este trabajo es ofrecer una plataforma integral que optimice el accionar de los operadores y facilite la interacción con el satélite. Además, al estar vinculado con el entorno académico, el sistema contribuirá al fortalecimiento de la formación práctica en el área aeroespacial, sirviendo como herramienta de aprendizaje y experimentación para estudiantes e investigadores de la universidad.

2 Palabras clave

Astar; estación terrena; CubeSat; telemetría, seguimiento y control; TT&C; radio definida por software; SDR; Rust.

3 Abstract

This project aims to develop the software for a ground station dedicated to Telemetry, Tracking, and Command (*TT&C*) tasks for *CubeSat*-like satellites, within the Astar project at the Faculty of Engineering of the University of Buenos Aires. The ground station will enable communication with the satellites through a software-defined radio (*SDR*) device, requiring the implementation of the necessary modulations and demodulations for signal processing. The system will incorporate real-time satellite tracking functions, allowing the antenna rotation system to correctly point to the satellite during its orbital pass.

To ensure secure, efficient, and reliable data exchange, an appropriate communication protocol will be implemented. The system will be remotely accessible, considering that the station and operators may be in different locations. It will include a graphical user interface (*GUI*) to facilitate mission status visualization and commands transmission. The software will be designed with a modular and extensible approach, based on open-source tools, allowing adaptation to different configurations and requirements.

The objective is to provide a comprehensive platform that optimizes operator tasks and facilitates satellite interaction. Furthermore, as part of an academic environment, the system will contribute to strengthening practical training in the aerospace field, serving as a learning and experimentation tool for students and investigators at the university.

4 Keywords

Astar; ground station; CubeSat; telemetry, tracking and command; TT&C; software-defined radio; SDR; Rust.

5 Introducción

El presente documento describe el desarrollo de un sistema de software para una estación terrena dedicada a tareas de Telemetría, Seguimiento y Control (*TT&C*) de satélites tipo *CubeSat*. Este trabajo se enmarca en el proyecto Astar, una iniciativa del Laboratorio Abierto (LABi) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires orientada a la formación práctica y la investigación en el ámbito aeroespacial.

Actualmente, la estación terrena del proyecto Astar depende de múltiples herramientas de software independientes para su operación. Cada una de estas herramientas, como *GNU Radio* para el procesamiento de señales u *Orbitron* para el control de las antenas, debe ser operada de forma manual, lo que fragmenta el flujo de trabajo, incrementa la complejidad operativa y dificulta la formación de nuevos usuarios.

Ante esta situación, el objetivo del presente proyecto es desarrollar una aplicación integral que unifique en una sola plataforma todas las funcionalidades necesarias para operar la estación terrena. Esta solución busca centralizar y simplificar las tareas de seguimiento, recepción y transmisión de datos, facilitando así el control de las misiones satelitales y mejorando la experiencia de los operadores.

El sistema estará basado en tecnologías de código abierto y será desarrollado con un enfoque modular y extensible, permitiendo su adaptación a diferentes configuraciones de hardware. Además, contará con una interfaz gráfica amigable, diseñada para brindar una experiencia clara e intuitiva a estudiantes, docentes e investigadores.

6 Estado del Arte

Actualmente, en ambientes y organizaciones académicas y de la industria se utilizan diversas herramientas para *TT&C* en el ámbito de los *CubeSats*, por ejemplo:

- *GNU Radio*: herramienta de *SDR* altamente flexible y extensible, pero con una curva de aprendizaje pronunciada y sin una interfaz orientada específicamente a operaciones *TT&C*.
- *Orbitron* y *GPredict*: aplicaciones utilizadas para predicción y seguimiento satelital, útiles para el cálculo de efemérides y visualización de órbitas, pero no integrables directamente con procesamiento de señales ni con sistemas de gestión de telemetría.
- *SatNOGS*: red global y conjunto de herramientas open-source para estaciones terrenas automatizadas. Aunque ofrece una infraestructura avanzada, está más enfocada en redes colaborativas y recopilación pasiva de datos, lo cual limita su aplicabilidad para operaciones dedicadas y control activo de *CubeSats* en entornos académicos.

7 Problema detectado y/o faltante

Limitaciones de las soluciones actuales

El proyecto Astar cuenta actualmente con una estación terrena basada en una antena direccional y un dispositivo de (SDR), específicamente un *RTL-SDR*, que permite la recepción de señales de satélites en órbita. Sin embargo, la operación del sistema depende de un conjunto fragmentado de programas externos para el control de la antena, la recepción y demodulación de señales, y el manejo de datos.

Esta arquitectura presenta importantes limitaciones:

- **Complejidad operativa:** el uso de múltiples herramientas no integradas obliga a los operadores a realizar tareas manuales y descoordinadas, lo que incrementa la carga cognitiva y dificulta la operación fluida.
- **Falta de automatización e integración:** las aplicaciones actuales no comparten información entre sí, lo que impide acciones coordinadas como la sincronización entre el posicionamiento de la antena y la adquisición de datos.
- **Limitaciones funcionales:** el sistema actual solo permite la recepción de datos. No es posible transmitir señales, lo que imposibilita la operación de misiones que requieran *TT&C*.

Estas restricciones no solo dificultan el uso de la estación, sino que también limitan el potencial del proyecto Astar para operar satélites propios en el futuro. El enfoque actual ralentiza la toma de decisiones, reduce la eficiencia y dificulta el entrenamiento de nuevos usuarios en contextos académicos.

Oportunidad de mejora

Se identifica una oportunidad interesante para el desarrollo de una plataforma unificada, modular y extensible, que integre las capacidades necesarias para operar una estación terrena académica de forma automatizada. La solución se centrará en:

- Una interfaz gráfica intuitiva orientada a operaciones *TT&C*.
- Integración directa con hardware *SDR* y de control de antenas.
- Automatización del flujo de trabajo satelital (desde el seguimiento hasta la decodificación de datos).
- Adaptabilidad al entorno académico mediante documentación accesible, facilidad de despliegue y código abierto.

En este sentido, el sistema busca posicionarse dentro del estado del arte de las herramientas para estaciones terrenas de *CubeSats*, aportando una solución innovadora tanto por su enfoque de integración como por su adecuación a las necesidades de instituciones educativas y proyectos de investigación aplicada.

8 Solución propuesta

El sistema centralizará en una única plataforma todas las funciones necesarias para realizar tareas de *TT&C* que actualmente se encuentran distribuidas en múltiples herramientas de uso manual.

El software estará compuesto por los siguientes módulos principales:

- **Módulo de seguimiento orbital:** calculará y actualizará en tiempo real la posición del satélite a seguir utilizando modelos orbitales. También controlará automáticamente la orientación de las antenas a través del brazo robot de la estación terrena.
- **Módulo SDR:** se encargará de la transmisión y recepción de señales mediante dispositivos *SDR* compatibles. Permitirá configurar parámetros de modulación, frecuencia y ganancia, integrándose con herramientas como *GNU Radio*.
- **Módulo de telemetría y comandos:** decodificará los datos recibidos, los almacenará en una base de datos y los presentará en tiempo real a través de la *GUI*. Además, gestionará el envío de comandos al satélite de acuerdo a protocolos específicos.
- **Base de datos:** almacenará telemetría histórica, registros de eventos y parámetros de configuración, permitiendo consultas eficientes y análisis posteriores.
- **Interfaz gráfica de usuario (GUI):** permitirá a los operadores interactuar de manera intuitiva con el sistema para visualizar datos, controlar el movimiento de las antenas y gestionar las comunicaciones con el satélite.

El sistema será desarrollado utilizando **Rust** como lenguaje principal, debido a su alto rendimiento, garantías de seguridad en memoria y creciente adopción en sistemas embebidos y de control. Para el procesamiento de señales, se emplearán herramientas de código abierto como *GNU Radio*, a través de bindings o integración externa. También se utilizarán bibliotecas especializadas para el cálculo de efemérides orbitales y predicción de pases.

Las decisiones tecnológicas restantes se definirán en función de los siguientes criterios:

- Compatibilidad con el hardware disponible en el laboratorio.
- Facilidad de integración con bibliotecas existentes.
- Licenciamiento abierto y adecuación al entorno académico del proyecto.
- Soporte en plataformas Unix/Linux.

Esta solución buscará minimizar dependencias innecesarias y maximizar la modularidad del código para facilitar futuras ampliaciones o adaptaciones a otras misiones *CubeSat*.

9 Evaluación preliminar de impacto económico, social y ambiental

Impacto económico

El desarrollo de un sistema unificado de control para estaciones terrenas implica una reducción significativa en los costos operativos. En la estructura actual, es necesario recurrir a múltiples programas, lo que demanda tiempo de configuración, entrenamiento y mantenimiento. La centralización de estas funcionalidades en una única plataforma de código abierto permitirá disminuir estos costos, facilitar futuras actualizaciones y minimizar la dependencia de software propietario o licencias comerciales restrictivas.

Asimismo, el sistema podrá ser reutilizado o adaptado por otras instituciones educativas o proyectos de investigación, favoreciendo la economía de recursos en desarrollos similares.

Impacto social

La implementación de esta herramienta contribuirá al fortalecimiento del ecosistema espacial nacional, promoviendo el interés y formación de profesionales capacitados en tecnologías aeroespaciales y sistemas embebidos. Además, permitirá el acceso a tecnologías complejas a través de interfaces simples y personalizables, facilitando su uso en entornos educativos, académicos y de investigación.

El proyecto fomenta la colaboración interdisciplinaria entre áreas como la ingeniería electrónica, la informática y la aeroespacial, y puede sentar las bases para futuras iniciativas en satélites educativos, comunicaciones de emergencia o monitoreo ambiental desde el espacio.

El proyecto Astar es uno de los pioneros en su tipo en la Argentina. La construcción de un *CubeSat* por parte de la Universidad de Buenos Aires no solo representa un avance académico y tecnológico significativo, sino que también posiciona a la institución como referente en el desarrollo de tecnología espacial en el país.

Impacto ambiental

Desde el punto de vista ambiental, el impacto directo del sistema es acotado, al tratarse exclusivamente de software. No obstante, su uso eficiente puede optimizar la operación de las estaciones terrenas, reduciendo consumos energéticos innecesarios durante períodos de inactividad o mala configuración. A largo plazo, esta herramienta podría contribuir indirectamente a una mejor planificación de misiones satelitales con objetivos ambientales, como el monitoreo climático, la detección temprana de incendios o la gestión de recursos naturales desde el espacio.

10 Metodología

Metodología de trabajo

El proyecto se abordará de una forma iterativa e incremental, inspirada en los principios de las metodologías ágiles. Esto permitirá validar continuamente tanto los avances técnicos específicos como las decisiones de diseño, adaptándose a los cambios que puedan surgir durante la integración con el hardware real o la evolución de los requerimientos funcionales por parte del LABi.

El trabajo se dividirá en fases, con entregas parciales de módulos funcionales. Cada iteración incluirá etapas de análisis e investigación, diseño, desarrollo, prueba e integración, fomentando la retroalimentación constante y la mejora progresiva del sistema.

Roles

Las personas involucradas en el proyecto tendrán los siguientes roles:

- **Estudiantes desarrolladores:** serán responsables de la ingeniería del sistema, incluyendo el diseño de la arquitectura, codificación, pruebas, documentación técnica y coordinación de la integración con los distintos dispositivos físicos (antenas, motores, *SDR*, etc.).
- **Tutores académicos:** brindarán acompañamiento metodológico y técnico en general. Supervisarán las decisiones de diseño, las tecnologías seleccionadas y el cumplimiento de los objetivos del Trabajo Profesional mediante reuniones periódicas y revisión de entregas.
- **Tutores técnicos (miembros del proyecto Astar):** colaborarán de forma puntual con conocimiento experto en hardware, comunicaciones satelitales, protocolos específicos e integración con otros subsistemas del *CubeSat*. También podrán validar aspectos prácticos de la experiencia de usuario del software.

Proceso de desarrollo

Durante el proceso de desarrollo del sistema se aplicarán principios de diseño modular, separación de responsabilidades y reutilización de componentes. Los principales módulos se diseñarán como componentes acoplados de forma débil, facilitando su desarrollo en paralelo y su posterior integración. Como es necesaria la integración del sistema con varios componentes de hardware (receptores y emisores de radiofrecuencia, motores de control de la antena, etc.), se procurará que la mayor parte de los componentes sean agnósticos a los detalles específicos de cada modelo, para procurar la mayor reutilizabilidad posible de componentes de software con diversas configuraciones de hardware subyacentes.

Se utilizarán las siguientes herramientas:

- **Recopilación de proyectos de referencia e información general:** Notion.
- **Control de versiones:** Git y GitHub.
- **Gestión de tareas e hitos:** Github Projects.
- **Automatización y CI:** GitHub Actions.

- **Documentación técnica:** Markdown y LaTeX.
- **Documentación del código:** cargo doc.
- **Seguimiento de errores y bugs:** GitHub Issues.

Riesgos iniciales identificados

Dado el contexto del proyecto, identificamos los siguientes riesgos que podrían perjudicar y/o ralentizar el desarrollo del mismo:

- **Integración con hardware SDR:** las bibliotecas nativas en Rust son limitadas. Podría ser necesario usar una FFI (Foreign Function Interface) hacia librerías en C/C++ o desarrollar bindings propios, lo cual añade complejidad.
- **Disponibilidad de hardware:** el acceso limitado o demorado a componentes clave de la estación terrena podría afectar los tiempos de prueba e integración.
- **Validación en entorno real:** la posibilidad de testear funcionalidades con satélites en órbita depende de ventanas de tiempo reducidas (pasos orbitales), lo que limita las oportunidades de validación en condiciones reales.
- **Falta de recursos y herramientas existentes:** según lo investigado por el equipo, actualmente no existen muchas librerías ni proyectos relacionados al procesamiento de señales en Rust, y los existentes están aún en etapas tempranas de desarrollo, por lo que es más probable que tengamos que implementar manualmente funcionalidades que no están soportadas o no funcionan bien en las librerías disponibles.
- **Dependencia del equipo de Astar:** la colaboración fluida con el equipo del proyecto satelital es fundamental. Problemas de comunicación, solapamiento de actividades o distintas prioridades podrían afectar el regular avance del proyecto.

11 Experimentación y/o validación

A continuación, se definen un conjunto preliminar de pruebas que serán utilizadas para verificar el correcto funcionamiento del software desarrollado para la estación terrena. Estas pruebas serán refinadas a lo largo del proyecto en función del avance del desarrollo y de las decisiones de diseño adoptadas.

- **Prueba de recepción de datos desde SDR:** Verificar la capacidad del sistema para recibir señales desde un dispositivo *SDR*. Validar que los datos crudos sean correctamente capturados y almacenados.
- **Prueba de demodulación:** Confirmar que las señales recibidas puedan ser correctamente demoduladas según el esquema utilizado. Comparar datos de entrada y salida para validar integridad.
- **Prueba de decodificación y validación de telemetría:** Asegurar que los datos ya demodulados puedan ser interpretados correctamente según el protocolo definido. Validar detección de errores, campos de control y estructura de paquetes.
- **Prueba de transmisión de comandos:** Validar que el sistema pueda codificar y modular correctamente comandos hacia el satélite. Validar el flujo desde la interfaz de usuario hasta la señal enviada por *SDR*.
- **Prueba de seguimiento orbital:** Simular un paso orbital y verificar que el sistema actualice la posición esperada del satélite en tiempo real. Confirmar integración con herramientas de predicción y control de antena.
- **Prueba de operación remota:** Ejecutar el sistema desde un entorno remoto y validar que todas las funcionalidades sean accesibles. Asegurar comunicación segura y fluida entre el cliente remoto y el servidor local.
- **Pruebas de robustez y tolerancia a fallos:** Simular condiciones adversas como pérdida de señal, interrupciones en la recepción/transmisión o errores en los datos. Verificar que el sistema responde adecuadamente y conserva la integridad de su estado.
- **Prueba de interfaz de usuario:** Evaluar la usabilidad y funcionalidad de la interfaz para operadores. Verificar que todas las operaciones básicas (recepción, transmisión, seguimiento, monitoreo) estén disponibles y sean fácilmente accesibles.

12 Plan de actividades

Proceso de desarrollo de software

El desarrollo del software para la estación terrena se organizará en torno a una metodología ágil adaptada al contexto académico y a la naturaleza del proyecto. Se utilizará una variante de *Scrum*, con iteraciones continuas, revisiones periódicas y entregas incrementales, lo que permite una mejora constante del producto y flexibilidad frente a cambios en los requisitos.

Metodología de trabajo

El trabajo se dividirá en sprints de corta duración (longitud exacta a determinar), ajustables en función de la carga académica y el avance del proyecto. Cada sprint incluirá las siguientes etapas:

- Planificación del sprint.
- Desarrollo de funcionalidades.
- Revisión del avance.
- Documentación técnica y funcional.

Al final de cada iteración se realizará una reunión de seguimiento para evaluar avances, detectar obstáculos y ajustar estimaciones. También se mantendrán reuniones periódicas con los tutores y los interesados del proyecto para asegurar la alineación con los objetivos generales.

Se buscará obtener un producto mínimo viable (MVP) en etapas tempranas, que cumpla con los requerimientos más críticos del sistema. A partir de allí, el desarrollo continuará de forma incremental hasta alcanzar la solución completa.

Gestión de alcance, tiempo y calidad

El alcance del proyecto se define como la entrega de un sistema funcional que permita la recepción, procesamiento y envío de datos entre la estación terrena y el satélite, integrando una interfaz de usuario y funciones de control remoto. Se gestionará a través de una lista priorizada de funcionalidades, organizadas en entregables parciales.

Los tiempos se estimarán al inicio de cada sprint y se ajustarán iterativamente en función del desempeño actual. Como indicadores de avance se utilizarán: número de funcionalidades completadas, cumplimiento de hitos, cobertura de pruebas, porcentaje de documentación técnica y cantidad de errores detectados y resueltos.

La calidad del software se garantizará mediante revisiones de código entre pares, pruebas automatizadas, validaciones funcionales y documentación exhaustiva. Además, cada funcionalidad entregada deberá cumplir con criterios de aceptación previamente definidos.

Gestión de riesgos

Se identificaron posibles riesgos técnicos y organizativos, mencionados en la sección anterior. Estos riesgos serán abordados mediante pruebas tempranas de viabilidad, prototipos rápidos y definición de soluciones alternativas. Se llevará un registro actualizado de los riesgos y su tratamiento.

Gestión de cambios

Los cambios en los requisitos o en la planificación serán evaluados durante las reuniones de revisión de sprint. En caso de ser aceptados, se actualizará el backlog del proyecto y se ajustará la planificación futura.

Documentación

El proyecto mantendrá una documentación completa y organizada, se tendrá:

- Documentación funcional y de usuario: descripción de módulos, flujos, funcionalidades y uso general.
- Documentación técnica del sistema: estructura de carpetas, API, arquitectura, protocolos, interfaz con *SDR*, etc.
- Minutas de reuniones internas y con tutores.
- Manual de instalación, despliegue y operación del sistema.

Toda la documentación se almacenará en el repositorio compartido y versionado, junto con el código fuente.

Hitos de avance

1. Análisis de requisitos y diseño general del sistema.
2. Primer prototipo con recepción de señales desde *SDR*.
3. Implementación inicial del protocolo de comunicaciones.
4. Transmisión y control remoto básico.
5. Pruebas integradas con flujos de datos simulados.
6. Desarrollo de la interfaz de usuario.
7. Validación funcional y entrega final.

El producto final incluirá el código fuente del sistema, su documentación técnica y funcional completa, scripts de instalación, manual de usuario y un conjunto de pruebas automatizadas y manuales para su verificación y validación.

13 Referencias

Aveni, L. D., Topp, A. G., & Verdejo Bosch, M. (2024). *Estación terrestre para seguimiento satelital* [Trabajo Práctico Profesional, Universidad de Buenos Aires]. Manuscrito no publicado.

Aveni, L. D., Topp, A. G., & Verdejo Bosch, M. (2024). *Manual de uso - Estación terrestre para seguimiento satelital*. Universidad de Buenos Aires. Manuscrito no publicado.

GNU Radio. (2024, septiembre 4). *Tutorials*. GNU Radio Wiki. Recuperado de <https://wiki.gnuradio.org/index.php/Tutorials>

Innovative Solutions In Space. (2016). *ISIS Ground Station* (Versión 2.2.1). Recuperado de https://www.cubesatshop.com/wp-content/uploads/2016/06/ISIS.GSK_.DS_.01.01_V2.2.1.pdf

International Organization for Standardization. (2017). Space systems - Cube satellites (CubeSats) (ISO Standard No. 17770:2017). Recuperado de <https://www.iso.org/standard/60496.html>

International Telecommunication Union. (2018). *Definitions of software-defined radio (SDR) and cognitive radio system (CRS)* (Recommendation ITU-R SM.2117-0). Recuperado de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.2117-0-201809-I!!PDF-E.pdf

Kelso, T. S. (1998, enero). Frequently asked questions: Two-line element set format. *Satellite Times*, 4(3), 52-54. Recuperado de <https://celestrak.org/columns/v04n03>

NASA. (2000). *Two-Line Element (TLE) definition*. Recuperado el 1 de marzo de 2000, de https://web.archive.org/web/20000301052035/http://spaceflight.nasa.gov/realdata/sightings/SSapplications/Post/JavaSSOP/SSOP_Help/tle_def.html

Nuand. (2023, noviembre 30). *bladeRF Wiki*. GitHub. Recuperado de <https://github.com/Nuand/bladeRF/wiki>

Habets, T. (2025, marzo 3). *Crate rustradio documentation*. Docs.rs. Recuperado de <https://docs.rs/rustradio/0.12.0/rustradio/>

14 Anexos

14.1 Glosario

Analog-Digital Converter (ADC): Conversor analógico-digital. Es un dispositivo de hardware que transforma señales analógicas a un formato digital (binario).

CubeSat: Satélite pequeño, compuesto de unidades cúbicas de 10 cm de lado y de masa menor a 2 kg, generalmente construidos con componentes estándar de mercado. Definido en el estándar ISO 17770:2017.

Estación terrena: Infraestructura terrestre equipada para comunicarse con satélites mediante enlaces de radiofrecuencia. Se encarga de transmitir comandos, recibir datos de telemetría y rastrear la trayectoria orbital de los satélites.

Software Defined Radio (SDR): Radio definida por software. Se trata de un sistema compuesto de un receptor de radiofrecuencia, un conversor análogo-digital y un programa de computadora. Este último se encarga de realizar por medio de software diversos tipos de procesamiento sobre la señal que antiguamente se solían hacer por medio de hardware.

TT&C (Telemetría, Seguimiento y Control): conjunto de funciones esenciales en operaciones satelitales que permite monitorear el estado del satélite (telemetría), calcular y predecir su posición (seguimiento), y enviarle comandos desde la estación terrena (control).