

MISIÓN FACSAT-2: Avance del programa espacial colombiano

POR: TENIENTE CORONEL SONIA RUTH RINCÓN URBINA, MAYOR JUAN MANUEL CÁRDENAS,
ING. KAREN NICOLE PIRAZAN VILLANUEVA*

La industria espacial dejó de ser terreno inexplorado para Colombia desde la puesta en órbita y operación del nanosatélite FACSAT-1, en noviembre del 2018. Este activo espacial, que es operado desde el Centro de Operaciones Espaciales SpOC - Jefatura de Operaciones Espaciales, y con ubicación en las instalaciones de la Escuela de Aviación Marco Fidel Suarez (EMAVI) en la ciudad de Santiago de Cali, ha tomado alrededor de 2.800 imágenes satelitales con resolución de 30 metros por pixel, ofreciendo una cobertura aproximada de 448.436 km² del territorio nacional¹.

conglomerado de 12 naciones latinoamericanas que cuentan con esta capacidad. Con este satisfactorio precedente, desde la Dirección de Ciencia y Tecnología - Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales CITAE se da continuación al programa con el diseño y desarrollo de la Misión FACSAT-2 “SAT Chiribiquete”.

En esta oportunidad, no solo se busca poner en órbita otro nanosatélite de observación, también se desea generar la capacidad técnica y administrativa para desarrollar y estandarizar los procedimientos de diseño, adquisición, producción y pruebas de satélites. Es por esto, que el proyecto se formuló desde el marco de una transferencia de conocimientos (ToK) con el aliado tecnológico GomSpace, empresa danesa que había manufacturado el FACSAT-1.

Para la misión FACSAT-2, la FAC codesarrolló y co-diseñó un CubeSat de seis unidades, con medidas de 10x30x20 centímetros, llamado SAT-Chiribiquete. Este tendrá como carga principal un sensor óptico con resolución de 4.7 metros por pixel y efecto de barrido (*push-broom*) capaz de generar imágenes de 19 km de ancho con un largo en función del tiempo de exposición. Como carga secundaria, incorporará un espectrómetro con capacidad de tomar información radiométrica para el análisis de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en el rango de 1.000 a 1.700 nanómetros, sobre el territorio colombiano, esta segunda carga útil gracias a una alianza de cooperación con Ecopetrol.



El lanzamiento y operación del activo espacial FACSAT-1, primer hito del programa espacial CTeI de la Fuerza Aérea Colombiana, otorgó a Colombia el estatus de Operador Satelital; ahora el país hace parte del

El nombre del SAT-Chiribiquete hace alusión al Parque Nacional Natural Serranía del Chiribiquete. Esta serranía es una mega reserva biológica ubicada en el extremo noroccidental de la Cuenca Amazónica y fue declarado patrimonio mixto de la humanidad, por su gran biodiversidad, recursos hídricos y las pinturas rupestres encontradas elaboradas por las comunidades que se asentaron allí.

La metodología de desarrollo de la misión sigue el enfoque *New Space*, que ofrece ciclos de implementación rápidos y de bajo costo de nanosatélites, dentro del marco normativo ECSS (Cooperación Europea para la Estandarización Espacial) para la generación de productos espaciales. Esta metodología de ciclo de vida, está dividida en siete fases que permite la aplicación de técnicas ágiles o *Scrum* facilitando la gestión de cambios. A continuación, se presentan los avances más significativos obtenidos por la FAC, en cada una de las fases de la misión FACSAT-2.

Análisis de misión y estudio de factibilidad

En el año 2019, se inició la misión FACSAT-2 con la búsqueda del aliado tecnológico que impartiría la transferencia de conocimientos y daría soporte a las actividades de diseño y desarrollo del nanosatélite. Esta exploración concluye con la selección de la empresa GomSpace en enero del 2021.

De acuerdo con la metodología de “*diseño y análisis de misión espaciales*”, las tareas de esta fase se centran en entender la necesidad de la misión, identificar los usuarios potenciales, definir los casos de uso, determinar funciones de alto nivel, establecer el concepto general de la misión e incluso el concepto operacional.

Para continuar con las estrategias de apropiación de conocimiento, la FAC fortaleció el capital humano con un programa de transferencia de conocimiento, enfocada en unos roles definidos en conjunto con el aliado. Como resultado, un equipo interdisciplinar de Ingenieros y físicos, constituido por nueve oficiales de la fuerza.



Oficiales fuerza aérea y el CEO de GomSpace Niels Buus.
Fuente: GomSpace

A través de metodología de entrenamiento en el trabajo “*on the job training*” desarrollaron habilidades y conocimientos en las siguientes áreas:

- **Project Management:** gestión de aspectos administrativos, presupuesto y tiempos de entrega del proyecto y del equipo.
- **System Engineering:** definición de la misión, revisión y evaluación de los aspectos técnicos del sistema para asegurar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos. Caracterización de la generación y consumo eléctrico.
- **Software Engineering & Encryption:** apropiación de la arquitectura de software, acorde a los protocolos CSP y desarrollo del software de encriptación para las cargas útiles.
- **RF & Ground Station Engineering:** definición y caracterización del Sistema de comunicaciones, así como la arquitectura de estación en tierra. Desarrollo del software de control y monitorización del satélite.
- **Optical Payload Engineering:** caracterización de las cargas útiles y definición del concepto operacional de la misión.
- **ADCS Engineering:** caracterización, pruebas y calibración del sistema de determinación y control de actitud del satélite.
- **Mechanical Engineering:** diseño y análisis de las estructuras del satélite, y ejecución de campaña de pruebas ambientales.

- **AIT:** ensamble, integración y pruebas del sistema, según los estándares internacionales y las buenas prácticas del aliado.
- **OBDH Engineering:** apropiación de la arquitectura y protocolos de comunicación para los subsistemas del satélite.

No obstante, al equipo de militares lo acompañan profesionales especializados en comunicaciones satelitales, entorno espacial, diseño de arquitecturas de software y análisis de datos, que refuerzan las actividades de Ingeniería, investigación y divulgación científica. Además participan en proyectos de I+D+I, que promueven el desarrollo de nuevas tecnologías. Así mismo, un equipo encargado de la gestión de proyectos, gestión financiera, asesores en regulaciones espaciales, son parte fundamental para el cumplimiento del desarrollo de la misión.



Inauguración Centro de Operaciones Espaciales
Fuente: EMAVI

La Fuerza Aérea Colombiana invierte sus esfuerzos en la misión FACSAT-2, con el propósito de consolidar su estrategia para el desarrollo aéreo y espacial 2042, abriendo así las puertas a la formulación de convenios específicos de cooperación de ciencia y tecnología que permiten la participación de industrias nacionales como Ecopetrol, la compañía petrolera más grande de Colombia y la segunda de Latinoamérica, la cual se

interesó en el banco de información que provendría de la segunda carga útil del satélite, una vez sea puesto en órbita.

De acuerdo con su plan de descarbonización “Cero Emisiones 2050”, analizaría los datos obtenidos, con el fin de identificar su aporte en la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para tomar acciones de mitigación y posterior reducción de dióxido de carbono y gas metano.

El estado colombiano al intensificar su presencia en el espacio ultraterrestre con la operación de dos satélites de observación aumentaría su gobernanza espacial, trayendo consigo beneficios directos a organizaciones gubernamentales, universidades, organizaciones de agricultura, Unidades Nacionales para la Gestión de Riesgo, Institutos Geográficos (IGAC), Unidades de Planeación Territorial e Institutos Ambientales (IDEAM), pues disminuiría su dependencia de imágenes satelitales provenientes de terceros.

Las imágenes satelitales se han incorporado en la industria 4.0 a través del uso de Inteligencias Artificiales, el Deep Learning y el manejo de Big Data, que permiten la corrección de los errores habituales como lo son la baja resolución, nubosidad e incluso el bandeo producido por el sensor.

El centro de investigación a través de una de sus oficiales estudiante de doctorado, ha impulsado la creación de algoritmos para la detección de actividades ilegales a través del reconocimiento de patrones aplicados a minería ilegal y detección de maquinaria amarilla. Los productos obtenidos también fortalecen las actividades de ordenamiento territorial, vigilancia ante desastres naturales, actualización de catastro, soporte para operaciones, logística y maniobras, vigilancia de cuerpos de agua, entre muchas otras.

Con todo lo anterior, fue posible identificar el concepto de operación de la misión para satisfacer las necesidades de los usuarios. En síntesis, el Chiribiquete orbitará a 500km sobre la superficie terrestre de forma polar, ofreciendo dos oportunidades de pase diario sobre el

territorio colombiano, para efectuar tareas de monitoreo, operación o descarga de imágenes desde el centro de operaciones (SPoC Space Operation Center).

El SpOC, inaugurado el 28 de julio del 2022 en EMA-VI, es un edificio minimalista de cinco pisos con forma de nanosatélite, que será el centro de operaciones para el comando y control del Chiribiquete. Contará también con la capacidad de analizar la información obtenida desde el espacio, integrando procesamiento de datos y análisis de Big Data.

“ *El nombre del SAT-Chiribiquete hace alusión al Parque Nacional Natural Serranía del Chiribiquete, serranía ubicada en el extremo noroccidental de la Cuenca Amazónica.* ”

Diseño preliminar y Diseño Crítico

Bajo el uso de elementos COTS o componentes comerciales estándar, manufacturados y testeados por el aliado tecnológico, se caracterizaron los subsistemas eléctricos (EPS), de control y determinación de actitud (ADCS), computador a bordo (OBC), y comunicaciones en banda S y X, sustentados por el análisis de funcionamiento, desempeño y definición de interfaces.

En paralelo, a través de la vigilancia tecnológica y el estudio de mercado, se hizo la selección de las cargas útiles que cumplirían con los requerimientos de la misión. La carga útil principal seleccionada, ofrece las mejores prestaciones para satélites de 6 unidades, generando imágenes con alta definición en bandas espectrales del rango visible e infrarrojo cercano.

Las tareas de diseño del Chiribiquete lideradas por la FAC, incluyen las modificaciones de la estructura estándar para la integración de la carga principal y la

producción de tarjetas electrónicas para la comunicación entre la carga útil y uno de los computadores a bordo del nanosatélite.

Debido al tamaño de la carga útil principal, fue necesario el rediseño de la estructura y la creación de nuevos montantes. Además, los requerimientos térmicos que permitirán que las imágenes tengan la mejor calidad, demandaron la selección de materiales de recubrimiento. Todos estos diseños de Ingeniería se realizan de acuerdo con los estándares ECSS. Así mismo, el diseño de las tarjetas PCB, deben cumplir satisfactoriamente las pruebas medioambientales, con el fin de obtener la calificación de componente de grado espacial.

Otro hito importante, y que supone uno de los pilares de las capacidades espaciales que pretende construir la FAC, es el avance en los desarrollos de software. La Fuerza Aérea apropió lo necesario para la integración de sensores a través de protocolos CSP (Cubesat Satellite Protocol), que le permitirá en un futuro tener la autonomía necesaria para liderar este tipo de actividades.

Así mismo, desarrolló un software de encriptación para la información de las cargas útiles, que permitirá descargar los datos de forma segura. Este software cuenta con estándares para sistemas satelitales, sin embargo, los algoritmos pueden ser aplicado en otras tecnologías.

El nanosatélite también contará con un software de control de misión desarrollado por la FAC, que permitirá monitorizar y controlar el satélite y las cargas útiles desde tierra. Este desarrollo se encuentra actualmente en etapa de pruebas y pretende ser la plataforma de control para FACSAT-1 y FACSAT-2.

Ensamble, integración y pruebas (AIT)

En la actualidad, el Chiribiquete se encuentra en su fase AIT en las instalaciones del aliado tecnológico en Aalborg, Dinamarca. De acuerdo con la ECSS, previa a la integración, se debe asegurar de manera individual

la funcionalidad de cada uno de los componentes del bus satelital y de las cargas útiles. Una vez culminadas estas actividades, se da inicio al ensamble del nanosatélite que cuenta con la participación activa del personal de la FAC. Cada uno de los subsistemas es instalado en las estructuras, se carga la última versión del software para cada componente y se conectan los arneses que fueron diseñados específicamente para el nanosatélite.



La FAC y GomSpace ejecutando el test óptico de la carga principal para misión FACSAT-2, previo a su integración.
Fuente: CITAE

Los laboratorios de integración y pruebas ofrecen confiabilidad a los procesos realizados para proyectos satelitales. En el caso particular de las tecnologías espaciales, se debe asegurar la ausencia de agentes contaminantes e incluso descargas electroestáticas debido a que pueden comprometer los componentes electrónicos y los sensores ópticos.

Los estándares internacionales proponen el manejo de estas tecnologías en áreas con calificación ISO 7 e ISO 8. En este sentido la FAC, ha proyectado para el

año 2024 la construcción y puesta a punto de instalaciones AIT para el ensamble, integración y prueba que serán llamadas CUBO-2 y estarán ubicadas en la EMAVI, con el propósito de tener la capacidad de certificar sus propios desarrollos.

La FAC reconoce el compromiso que tiene al liderar el programa espacial, así que los laboratorios estarán al servicio de organizaciones privadas, públicas y académicas a través de convenios de investigación.

Lanzamiento

El lanzamiento del SAT-Chiribiquete está proyectado para realizarse en febrero de 2023, a través de la compañía SpaceX, en una misión de carga compartida a bordo del cohete Falcon-9. Una vez puesto en órbita se proyecta que el nanosatélite tendrá una vida operativa de 5 años por sus componentes electrónicos y una vida orbital de al menos 10 años. Las actividades que se llevarán a cabo antes del lanzamiento incluyen la completa certificación del satélite, la puesta a punto del SpOC para la operación y monitoreo del satélite, la asignación de radiofrecuencia por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), obtención de certificados para la exportación y aseguramiento del nanosatélite.

A través del programa FACSAT, se espera construir las capacidades que requiere el país para el fortalecer el sector espacial. Al tener la posibilidad de realizar más misiones, construir y dotar los laboratorios de ensamble, integración y pruebas de satélites de hasta 100 Kg e integrar el primer satélite completamente desarrollado y calificado en Colombia, impactará positivamente en la generación de conocimiento y en el crecimiento económico del país. ▲

* **Teniente Coronel Sonia Ruth Rincón Urbina**, Ingeniera Metalúrgica especialista en Ensayos no Destructivos, con maestría en Manufactura Aeroespacial de la Universidad de Cranfield del Reino Unido, actual Jefe del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE). **Mayor Juan Manuel Cárdenas García**, Ingeniero Mecánico, especialista de Mantenimiento y armamento aéreo con experiencia en operación de aeronaves no tripuladas, especialista operacional de investigación en el CITAE. **Ing. Karen Nicole Pirazan Villanueva**, Ingeniera Aeronáutica reconocida como joven investigador por Minciencias 2022.

1 Fecha de corte 2022-1: Esta Información fue provista por el CITAE, primer operador del FACSAT-1.