

# ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS GNC PARA UAS DE CLASE I Y II

# Introducción

---

El crecimiento del mercado de los UAS (Unmanned Aerial System) en los últimos años ha hecho evidente la necesidad de clasificarlos en función de los requisitos específicos de la misión que deben cumplir. Un criterio común de clasificación se basa en su peso y tamaño, distinguiendo entre los UAS más pequeños (nano, micro, mini, de corto alcance) hasta los más grandes (tácticos, MALE, Medium Altitude Long Endurance, o HALE, High Altitude Long Endurance). Por otro lado, y de acuerdo a la clasificación proporcionada por la OTAN, los UAS están a su vez asociados a altitud, alcance y un misión específicos.

Por

**Antonio Gutiérrez**

Jefe del Departamento de  
Hardware y Producción  
en UAV Navigation-Grupo Oesía



CLASIFICACIÓN DE UAS DE LA OTAN						
Clase	Categoría	Empleo tipo	Altitud normal de uso	Radio normal de misión	Principal mando de operaciones	Ejemplo de plataforma
Clase III (> 600 Kg)	Ataque / Combate*	Estratégico / Nacional	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)	Teatro de operaciones	Reaper
	HALE	Estratégico / Nacional	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)	Teatro de operaciones	Global Hawk
	MALE	Operación / Teatro de operación	Hasta 45.000 ft MSL	Sin límite (BLOS)	Join Task Force	Heron
Clase II (150-600 Kg)	Táctica	Táctica Formación	Hasta 18.000 ft AGL	200 km (LOS)	Batallón	Hermes 450
Clase I (< 150 Kg)	Pequeño (> 15 Kg)	Unidad táctica	Hasta 5.000 ft AGL	50 km (LOS)	Batallón, regimiento	Scan Eagle
	Mini (< 15 Kg)	Subunidad Táctica***	Hasta 3.000 ft AGL	Hasta 25 km (LOS)	Compañía, Pelotón, Equipo	Skylark
	Micro**	Subunidad Táctica***	Hasta 200 ft AGL	Hasta 5 km (LOS)	Pelotón, Equipo	Black Widow

\*En caso de que el UAS esté armado, el operador debe cumplir con las Calificaciones de Misión Conjunta aplicables en ATP-3.3.7 (STANAG 4670) y el sistema deberá cumplir con las normas, reglamentos, políticas, tratados y consideraciones legales de aeronavegabilidad aplicables.

\*\*Es poco probable que los UAS que tienen un estado de energía máxima inferior a 66 julios causen daños significativos a menos que tengan la capacidad de manejar cargas útiles peligrosas (explosivos, toxinas, agentes químicos/biológicos, etc.)

\*\*\*Lanzamiento manual o lanzado a mano

Figura 1. Clasificación de los sistemas UAS  
Fuente: [Research Gate](#)

Para una gran mayoría de aplicaciones comerciales, normalmente asociadas a un nivel de riesgo medio, se utilizan plataformas UAS de clase I y II, gracias a su sencillez logística y a la gran versatilidad que ofrecen para realizar distintas misiones. Uno de los aspectos característicos de estas plataformas son los sistemas GNC (Guidance, Navigation and Control), basadas en consideraciones específicas de acuerdo al tipo de misión y envolvente de vuelo (p.ej., se desprecian efectos de compresibilidad aerodinámica, uso de modelo atmosférico estándar, etc.).

El sistema de control de vuelo es el encargado de realizar el guiado, control y navegación del vehículo. Se compone de dos partes: una embarcada, compuesta por el ordenador de a bordo (FCC, Flight Control Computer), cargas útiles de pago y actuadores; y una parte en tierra, compuesta por una estación de control (GCS, Ground Control System), unidad de comando (CU, Command Unit) y las interfaces necesarias para la interacción del operador en tierra.

El FCC se considera el sistema central o "cerebro" del UAV (Unmanned Aerial Vehicle), pues es un sistema compacto y autocontenido encargado, no solo de enviar comandos a los actuadores conectados a las superficies de control, sino de recibir, enviar y gestionar en tiempo real toda la información proveniente de los sistemas embarcados (sistemas periféricos, cargas de pago, etc.) y la estación en tierra (telemetría, comandos específicos del operador, etc.).

# Respecto a su arquitectura funcional, se identifican tres bloques principales

## **Sistema de Guiado**

Es el sistema encargado de calcular la trayectoria del UAV, chequear periódicamente la situación de vuelo y también de detectar cualquier cambio o evento que implique una actualización inmediata de las condiciones de vuelo (situación de emergencia, finalización del plan de vuelo, etc.).

## **Sistema de Control**

Es el sistema encargado de calcular todas las salidas de los actuadores conectados a las superficies de control, tanto para estabilizar la plataforma frente a ráfagas de viento o perturbaciones externas como para corregir los errores de trayectoria derivados del sistema de guiado.

## **Estimador**

Es el sistema encargado de predecir el estado dinámico del vehículo, definido por la posición, velocidad y orientación del vehículo en el espacio. Este cálculo se realiza haciendo uso de los distintos sensores embarcados, combinando toda la información disponible en cada momento mediante técnicas de fusión sensorial para obtener una estimación robusta y precisa.

En la siguiente figura se muestra la relación entre los distintos bloques mencionados anteriormente como parte de la arquitectura del sistema FCC:

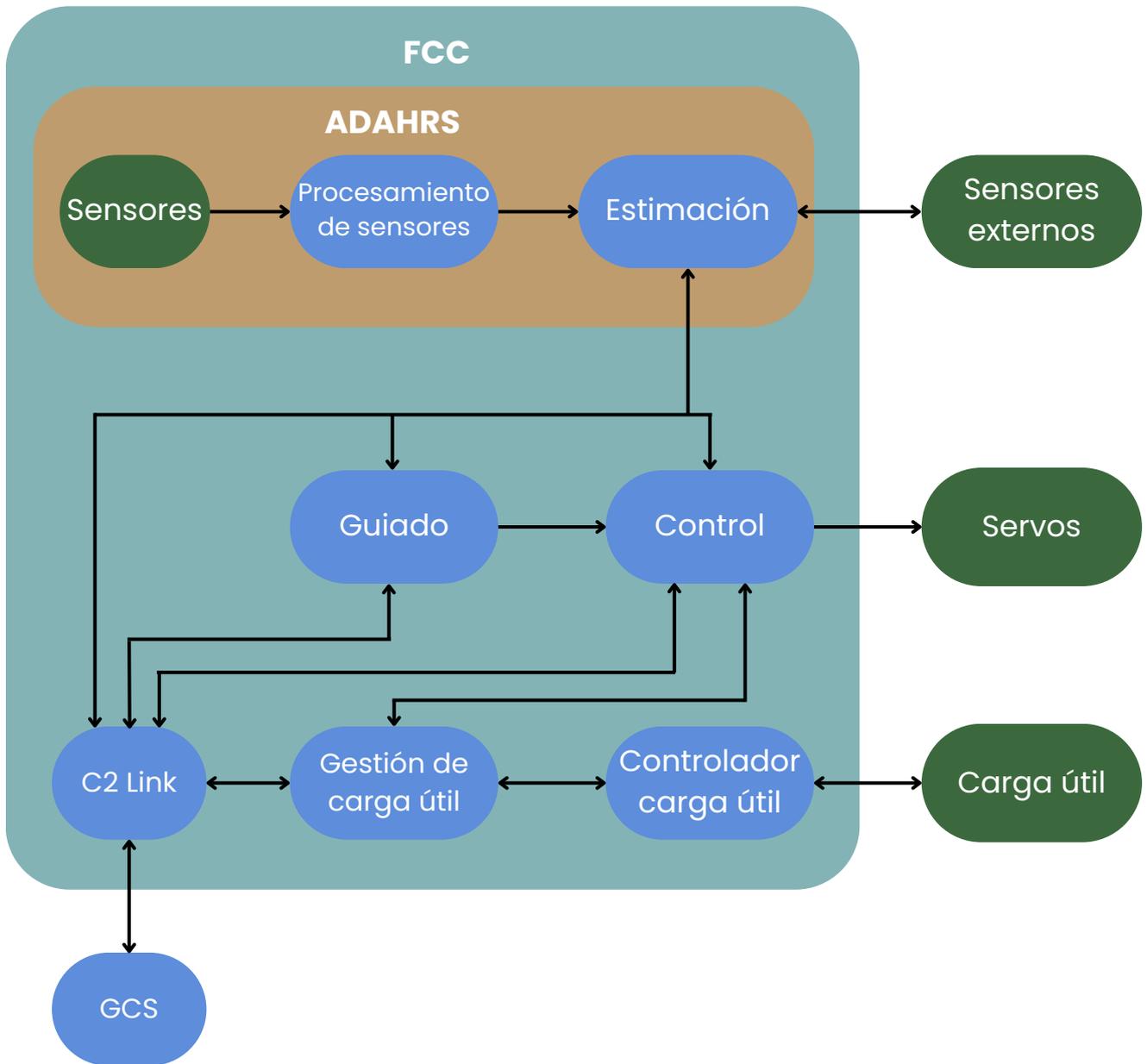


Figura 2. Arquitectura funcional de un sistema FCC genérico  
Fuente: UAV Navigation-Grupo Oesía

Respecto al proceso de estimación para UAS de tamaño pequeño y mediano, generalmente los principales sensores que intervienen son:

## **IMU (Inertial Measurement Unit) / AHRS (Attitude and Heading Reference System)**

El estado rotacional del vehículo (coordenadas angulares y tasa de rotación) se suele estimar mediante unidades de medición inerciales (IMU), que suelen consistir en un acelerómetro y un giróscopo de tres ejes. El acelerómetro mide fuerzas específicas y el giróscopo velocidades angulares, ambos en el sistema de referencia de ejes cuerpo del vehículo. También suelen incluir magnetómetros, que permiten observar el vector del campo magnético y son el método principal para estimar el rumbo del vehículo. La tecnología comúnmente utilizada para estos sensores es la tecnología MEMS (Microelectromechanical Systems), la cual ha ido evolucionando durante las últimas décadas, permitiendo soluciones de navegación con mayores prestaciones y más asequibles en términos de reducción de tamaño, coste y consumo de energía.



Por su parte, el AHRS es el sistema encargado de recibir toda la información de los sensores y, a continuación, ejecutar los algoritmos adecuados para estimar la actitud de la plataforma con respecto a un sistema de referencia inercial. Cuando se utilizan para la navegación, los sensores inerciales también proporcionan posiciones y velocidades relativas, lo que da lugar a un AHRS/INS (Inertial Navigation System) completo. Generalmente, la información de los sensores inerciales se proporciona a mayor frecuencia y es independiente de las interferencias externas. Sin embargo, son ruidosos e inestables en el largo plazo.

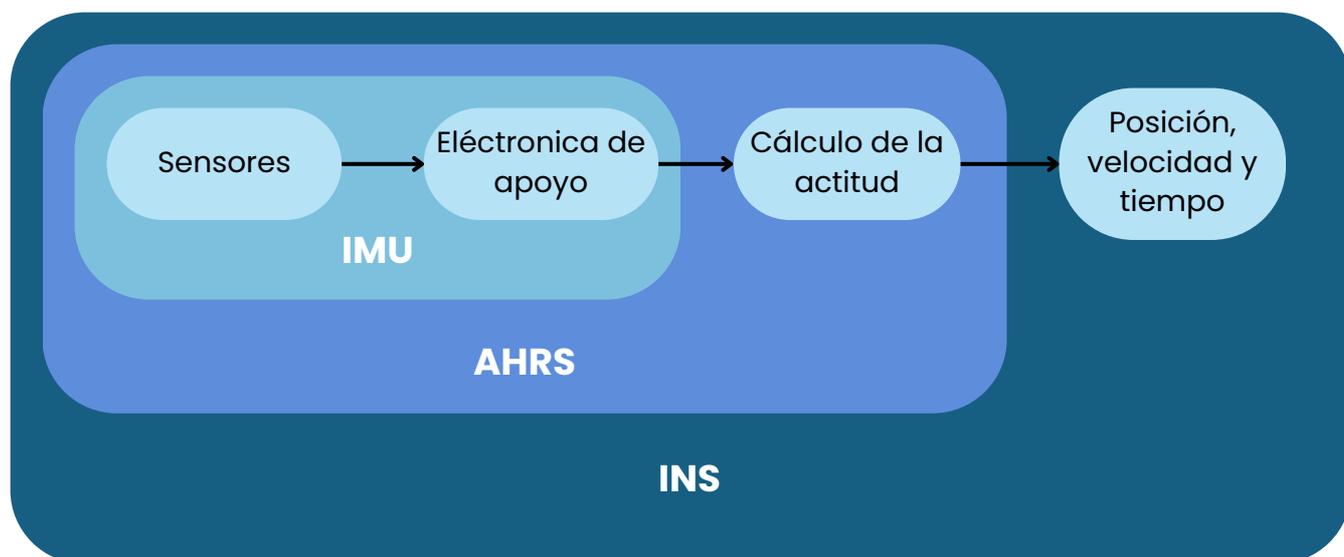
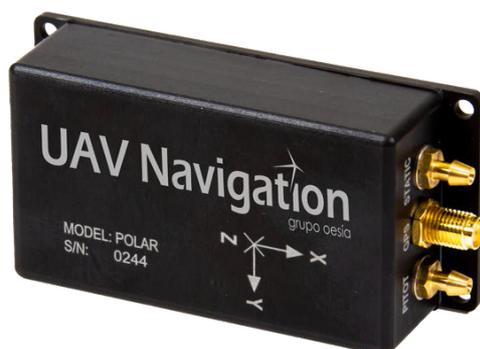
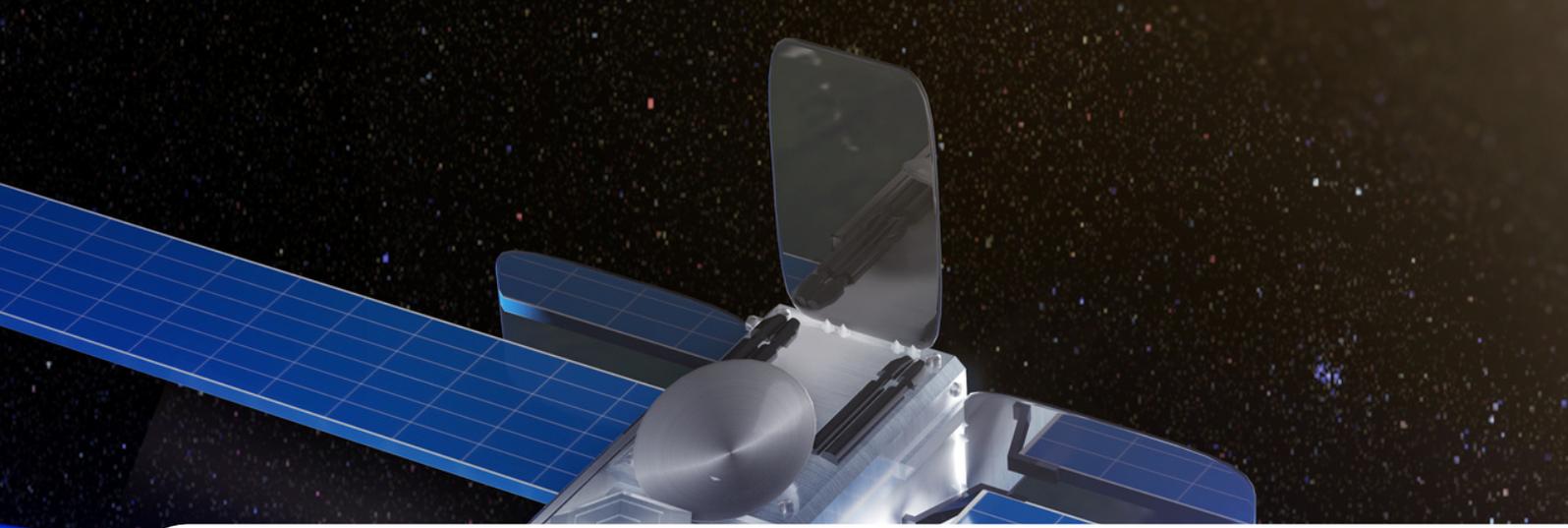


Figura 3. Arquitectura de un sistema AHRS/INS  
Fuente: UAV Navigation-Grupo Oesía





## **GNSS (Global Navigation Satellite System)**

El GNSS se utiliza principalmente para la navegación y proporciona información sobre la posición, la velocidad y el tiempo. La velocidad y la posición, definidas por su longitud, latitud y altitud, se dan en coordenadas globales, y su uso es esencial para una estimación precisa del estado traslacional del vehículo, ya que compensan la deriva de navegación causada por la integración de aceleraciones y velocidades angulares. Además, la dependencia del GNSS también se debe al hecho de que los sistemas electrónicos de abordo y las cargas útiles son cada vez más numerosos y complejos, y es necesaria una sincronización temporal precisa para la combinación de los diferentes datos recogidos. En este sentido, el sistema GNSS ha demostrado ser la mejor alternativa del sector para establecer dicha sincronización.

En este caso, aunque los sistemas GNSS son precisos, son vulnerables a interferencias externas y pueden no cumplir con la disponibilidad, continuidad e integridad de la operación. Por este motivo, los sistemas INS y GNSS suelen integrarse de forma conjunta para combinar las capacidades complementarias de ambas tecnologías.

GNSS	INS
Posición absoluta	Orientación y posición relativa
Disponible en exteriores	Disponible en exteriores/interiores
Medida estable	Medida inestable
Susceptible a interferencias	Inmune a interferencias
Requiere infraestructura externa	Sistema autónomo

Tabla 1. Comparativa entre tecnología INS y GNSS  
Fuente: UAV Navigation-Grupo Oesía

Por último, entre las distintas formas de combinar las tecnologías INS y GNSS, cabe distinguir entre integración débilmente acoplada y fuertemente acoplada. Por un lado, la integración débilmente acoplada utiliza las salidas PVT (Position, Velocity and Time) del INS y del GNSS como entradas al estimador. En cambio, la integración fuertemente acoplada utiliza como entrada los pseudorangos del GNSS junto con la salida PVT del INS y constituye un tipo de hibridación más sofisticada.

## ADS (Air Data System)

Un ADS completo está compuesto por un sensor de presión estática, un sensor de presión dinámica y un sensor OAT (Outside Air Temperature). Por un lado, el sensor de presión estática permite mejorar la precisión vertical proporcionada por el GNSS y también proporciona un medio fiable y robusto de estimar la altitud incluso en ausencia de señales GNSS. Por otro lado, el sensor de presión dinámica mide la velocidad aerodinámica del UAV y resulta útil para compensar el ruido presente en el acelerómetro debido a la aceleración centrípeta y traslacional. El OAT ayuda a estimar la densidad del aire. Sin embargo, en el caso de que no se disponga de un ADS dedicado en la plataforma o de que la plataforma esté planeando a baja velocidad, la velocidad proporcionada por el receptor GNSS, convenientemente transformada a ejes corporales, es la referencia clave para la estimación de las fuerzas inerciales.



# Retos tecnológicos

---

La seguridad sigue siendo la principal prioridad y el factor determinante para la irrupción masiva de los UAS en múltiples aplicaciones. Una operación robusta y segura, junto con la coexistencia de múltiples plataformas en espacios aéreos densamente explotados, es el principal reto tecnológico y normativo que se persigue en la actualidad.

Las operaciones robustas deben considerar tanto los requisitos de seguridad operacional como los que permitan una operación resistente frente a ataques malintencionados.

Para los primeros, deben establecerse las normas de garantía de calidad necesarias para las tecnologías asociadas. En este sentido, debe encontrarse una solución de compromiso entre los niveles requeridos que garanticen unas operaciones eficaces y seguras a un coste competitivo. Afortunadamente, se puede observar una clara tendencia en esta dirección con los nuevos grupos de trabajo de EUROCAE (*European Organization for Civil Aviation Equipment*) y los nuevos reglamentos europeos, en los que ya se han identificado diferentes categorías y empiezan a definirse criterios cuantitativos para acotar el nivel de cumplimiento de acuerdo a cada tipo de operación.

En cuanto a los segundos, los sistemas y tecnologías en los que se basan las operaciones de UAS deben estar diseñados para operar en un entorno hostil, en el que las interferencias ilícitas pueden ser una amenaza. Por ello, se hace esencial dotar a los sistemas con la capacidad de identificación y la robustez necesarias para mitigar estos ataques y con ello investigar en tecnologías combinadas que permitan la fusión inteligente de numerosas fuentes de



información, evitando los puntos simples de fallo o la excesiva dependencia en un único sistema. Un claro ejemplo de ello es la hibridación entre la información de los receptores GNSS y otros sensores autónomos a bordo.

Por otro lado, nuevos algoritmos que permitan una mayor autonomía y capacidad de decisión de las plataformas en tiempo real se identifican como una clara necesidad del futuro. En este sentido, los nuevos avances en inteligencia artificial y capacidades computacionales y de comunicación permitirán el procesamiento a bordo, pero también el envío de información masiva a través de canales de elevado ancho de banda, para su análisis y evaluación en ordenadores más avanzados y potentes, conformando un "sistema basado en la nube". De nuevo, la forma en que se protegerán estas comunicaciones y las soluciones de compromiso son puntos clave a tratar. Además, respecto a los sistemas inteligentes o autónomos, cabe destacar las implicaciones éticas y la necesidad de contar con un cierto nivel de determinismo que permita evaluar y cualificar estos sistemas antes de su operación.



Por último, el posicionamiento seguro y eficiente a través de sistemas satelitales dedicados u otras señales de oportunidad de diferentes fuentes, constituye un claro vector de evolución. Esto engloba la investigación sobre algoritmos más eficientes y avanzados para el tratamiento de señales y la determinación de la posición, sistemas de autenticación y encriptación más eficaces, resiliencia en entornos complejos, como cañones urbanos, pero también desarrollos de hardware para receptores y antenas más ligeras, con menor consumo y mejores prestaciones para operar en estos escenarios altamente saturados de señales radioeléctricas.





# UAV Navigation

grupo oesía

Para más información: [uavnavigation.com/es](http://uavnavigation.com/es)