

MÓDULO 7: PERFORMANCES DE VUELO DE LOS UAS

1. Resumen Estratégico Ejecutivo

Premium Context

Dominar el rendimiento de vuelo de los Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (**UAS Flight Performance**) es fundamental para garantizar la seguridad y la legalidad de las operaciones dentro de la Categoría Específica (**Specific Category**). Ya sea cumpliendo con los límites de la envolvente de vuelo bajo los Escenarios Estándar STS-01 o STS-02, u optimizando la masa, el centro de gravedad y la gestión energética, cada misión comercial depende de cálculos físicos rigurosos. Este módulo proporciona a los operadores profesionales los marcos críticos necesarios para interpretar la carga de masa, prever la autonomía y satisfacer los estándares de cumplimiento normativo establecidos por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (**EASA**) y la Autoridad Nacional de Aviación (**NAA**, p. ej., AESA en España, DSAC en Francia).

2. Desglose Conceptual Básico

1. Masa, Equilibrio y Envolvente de Masas

El comportamiento dinámico y la estabilidad longitudinal de una Aeronave no Tripulada (**Unmanned Aircraft - UA**) dependen directamente de su distribución de masa:

- **Masa Máxima al Despegue (Maximum Take-Off Mass - MTOM):** El límite absoluto estructural y legal establecido por el fabricante y la certificación de clase (p. ej., marcas C5/C6). Superar la MTOM constituye una infracción grave que acarrea responsabilidad penal para el Operador de UAS (**UAS Operator**).
- **Centro de Gravedad (Center of Gravity - CG):** El punto de equilibrio de la aeronave. Un CG adelantado induce respuestas de control pesadas y una pérdida excesiva de altitud; un CG retrasado genera inestabilidad crónica y un peligro incontrolable de entrada en pérdida (stall).

- **Distribución de Carga Útil:** La integración de sensores ópticos, LiDARs o módulos externos debe calcularse rigurosamente para evitar desplazar el CG fuera de los límites permitidos de la envolvente.

2. Rendimiento Energético y Autonomía de Vuelo

La planificación de misiones en la Categoría Específica requiere una modelización precisa del consumo de la fuente de energía (baterías de polímero de litio):

- **Consumo en Vuelo Estacionario vs. Traslación:** El vuelo estacionario (**Hovering**) exige una producción de potencia mecánica continua y máxima, mientras que la traslación aerodinámica optimiza la eficiencia energética para plataformas de ala fija o VTOL híbrido.
- **Reservas de Energía Regulatorias:** Imposición obligatoria de márgenes de seguridad en la capacidad de la batería (típicamente programando un Regreso al Punto de Inicio cuando los niveles caen al 25-30% o de acuerdo con las especificaciones del Manual de Operaciones - **OM**) para dar cuenta de contingencias meteorológicas imprevistas.
- **Impacto del Viento en la Autonomía (Velocidad sobre el Suelo vs. Velocidad Aerodinámica):** El regreso contra un viento en contra fuerte acelera drásticamente el agotamiento de amperios-hora, arriesgando el agotamiento de la batería antes del aterrizaje.

3. Envolvente de Vuelo y Limitaciones Cinemáticas

La envolvente de vuelo define los límites operativos que nunca deben superarse para evitar fallos estructurales o pérdida de control:

- **Velocidad Máxima de Crucero (V_{no} / V_{max}):** Límites de velocidad permitidos diseñados para prevenir vibraciones excesivas, flameo (flutter) de las palas o saturación del controlador de vuelo.
- **Factor de Carga (Load Factor - G):** Medida de las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre la estructura durante giros agresivos o maniobras bruscas. Los giros con ángulo de bancada elevado incrementan la carga estructural y las velocidades de pérdida.
- **Límites de Altitud y Densidad:** Estricta observancia del techo de altura legal (120 metros AGL) combinado con un rendimiento del motor disminuido en grandes altitudes o temperaturas ambiente elevadas.

4. Rendimiento de Despegue, Transición y Aterrizaje

Las fases de vuelo de transición concentran la mayor probabilidad de incidentes técnicos o violaciones del volumen operativo de contención:

- **Distancia de Despegue y Franqueamiento:** La distancia horizontal sobre el terreno requerida para despejar y superar un obstáculo virtual de referencia, crítica para entornos confinados bajo STS-01.
- **Fase de Transición VTOL:** Para aeronaves híbridas, la fase de transición de rotor basculante entre el vuelo vertical y el vuelo horizontal sustentado por alas exige un monitoreo riguroso de la velocidad aerodinámica y la actitud.

3. Trampas Críticas de Examen

CRITICAL EXAM TRAP: Trampas Clásicas de Rendimiento en EASA

1. **Confundir la Masa Máxima con la Capacidad de Carga Útil:** Una pregunta clásica de opción múltiple sugiere que los operadores pueden acoplar accesorios pesados siempre que la batería esté completamente cargada. Esto es falso. El cumplimiento de la Masa Máxima al Despegue (MTOM) es una obligación legal integrada en las especificaciones de clase CE (C5/C6) independientemente del estado de carga de la batería.
2. **El Efecto de un Centro de Gravedad Retrasado:** El examen evalúa con frecuencia el conocimiento sobre estabilidad. Una trampa común afirma que un CG retrasado mejora la autonomía al reducir la resistencia aerodinámica. Esto es peligroso: aunque la resistencia pueda disminuir ligeramente, la consiguiente inestabilidad longitudinal imposibilita el pilotaje y provoca un accidente.
3. **Cálculos de Reserva de Batería:** Un problema de examen propone un plan de vuelo de 20 minutos utilizando una batería calificada para exactamente 20 minutos de tiempo máximo teórico de vuelo estacionario. Los candidatos a menudo consideran esto válido. Esto es falso: las regulaciones y los SOP imponen estrictos márgenes de seguridad energética (reservas de emergencia).

4. Matrices de Referencia y Comparación

La siguiente tabla resume los parámetros clave de rendimiento de vuelo, sus unidades normativas y los impactos operativos críticos en la ejecución de misiones STS.

Parámetro de Rendimiento	Unidad Normativa / Indicador	Impacto Operativo en la Misión
Masa Máxima (MTOM)	Kilogramos (kg) / Gramos (g)	Establece la clase legal de UAS y las restricciones de transporte de carga útil.
Centro de Gravedad (CG)	Porcentaje de cuerda / Ejes X-Y	Garantiza la estabilidad longitudinal y la maniobrabilidad de la aeronave.
Autonomía Energética	Minutos / Porcentaje (%)	Rige el radio operativo y dicta los disparadores de Regreso al Punto de Inicio (RTH).
Velocidad Máxima (\$Vmax\$)	Metros por segundo (m/s) o km/h	Limita el rendimiento de crucero y preserva la integridad estructural de las palas.

5. Plan Operativo para Pilotos Profesionales

PRO TIP: Cálculo Dinámico de Reservas Energéticas frente a Viento en Contra

Los pilotos a distancia novatos calculan frecuentemente la autonomía de vuelo basándose puramente en las calificaciones nominales del fabricante en aire en calma. En operaciones de campo profesionales (como en la costa de Martinique o entornos ventosos), los vuelos de ida con vientos de cola consumen energía mínima, pero los vuelos de regreso contra vientos en contra pueden duplicar las tasas de consumo de amperios-hora.

El Estándar EuroDrones: Aplique siempre la regla empírica profesional: "Asigne el 40% de su batería para el trayecto de ida (con viento de cola o neutro), el 40% para el trayecto de regreso contra el viento en contra, y retenga un 20% de capacidad incompresible como reserva absoluta de emergencia para seguridad." Esta disciplina en la gestión de energía previene aterrizajes forzosos fuera de la Zona Terrestre Controlada (CGA) y garantiza un cumplimiento operativo impecable durante las auditorías de la DSAC.