AIRLAB *FPV*

Manual del usuario

Simulador de vuelo VTOL y FPV para el navegador, con los modos de vuelo de ArduPilot, lógica de drones tipo Betaflight, radio por USB, OSD configurable y enlaces de radio y vídeo simulados.



Versión 1.2 · octubre de 2026
Javier Ruiz-Calderón

Índice

1 Qué es AIRLAB FPV

2 Requisitos y primer arranque

3 El menú de inicio

4 La interfaz durante el vuelo

5 Conectar y configurar la radio

6 Volar los aviones: VTOL, 4+1, ala fija y ala volante

7 Los modos de vuelo de ArduPlane

8 Volar los drones FPV y el multirrotor

9 Rates y expo

10 Parámetros de ArduPilot

11 El OSD

12 Enlace de radio y de vídeo

13 Cámaras

14 Escenario, hora y meteorología

15 Fallos simulados y failsafes

16 Aprender: lecciones y retos

17 Misiones en modo AUTO

18 Fotogrametría y teledetección

19 Análisis: caja negra y logs reales

20 Sonido y voz

21 Gráficos y rendimiento

22 Uso en el móvil

23 Atajos de teclado

24 Solución de problemas

25 Glosario

26 Guía paso a paso: telemetría ELRS MAVLink por WiFi

27 Conexiones, ArduPilot real (SITL), visor en el móvil e instructor remoto

28 Misiones de trabajo

29 Logbook del piloto, nivel y certificados

30 Planeador: aerorremolque, térmicas, ladera y variómetro

31 Zonas UAS de ENAIRE: planificación legal y avisos en vuelo

32 Batería realista y failsafe de batería

33 Clima variable durante el vuelo

34 Terreno real en cualquier sitio del mundo

35 Concursos de planeador

36 Normativa de drones EASA/AESA

37 Mundo real: tiempo, tráfico y ladera

38 Clip vertical para Instagram

39 Centro de operaciones: dron en caja

40 Configurar el Stallion VTOL en ArduPilot

> **Cómo leer este manual**
>
> Si es tu primera vez, lee los capítulos 2, 3, 5 y 6 y haz las lecciones del capítulo 16 en orden. El resto es material de consulta: cada capítulo se puede leer por separado.

1 Qué es AIRLAB FPV

AIRLAB FPV es un simulador de vuelo que funciona dentro del navegador. Reproduce aviones con la lógica de los modos de vuelo de ArduPlane (un VTOL tilt-rotor, que despega en vertical, inclina los motores y vuela como un avión; QuadPlanes 4+1; un tailsitter que despega sentado sobre la cola; alas fijas y alas volantes de la gama de Flightory) dos drones FPV con lógica de vuelo tipo Betaflight y tres multirrotores de trabajo (inspección, limpieza cautiva y jaula) con los modos de ArduCopter. Toda la interfaz y este manual están en español y en inglés.

Aeronaves incluidas

Aeronave	Tipo	Lógica de vuelo	Para practicar
Stallion VTOL	Tilt-rotor de tres motores: dos delanteros basculantes y uno trasero	Modos de ArduPlane (QSTABILIZE, QHOVER, QLOITER, FBWA, AUTO...)	Despegue vertical, transición a avión y vuelta, failsafes, misiones
QuadPlane 4+1	Cuatro motores de elevación en X y un motor de avance en el morro, sobre el mismo ala	Modos de ArduPlane con QuadPlane	La transición de un VTOL «de motores separados», el más habitual
Ala fija	Avión de dos motores tractores y cola en V, sin VTOL	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Lanzamiento a mano, despegue automático y aterrizaje de panza
Super Stingray	Ala volante en flecha con winglets, empujador y elevones, sin timón	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Vuelo de ala volante: centro de gravedad crítico, elevones, lanzamiento a mano
Super Stingray VTOL	La misma ala en configuración 4+1, con dos largueros de carbono	Modos de ArduPlane con QuadPlane	Un 4+1 ligero y rápido, con los parámetros del manual de Flightory
Mini Plank	Ala volante recta de 650 mm con derivas en las puntas y empujador	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Un ala volante ligera y viva, de parque
Lark	Cola clásica en un larguero de carbono, empujador detrás del ala	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Vuelo largo y tranquilo con alerones, profundidad y timón
pico Talon	Cola en V compacto de 905 mm con empujador	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	FPV ligero: cola en V con mezcla de timón y profundidad
Talon 1400	Cola en V de 1,3 m con empujador	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Un avión muy estable y sin trim para misiones largas
Stork	Cola en V de 1,62 m y alargamiento 8,3 con empujador	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Planeo eficiente, misiones de mapeo

Stork VTOL	El mismo Stork en 4+1, con dos largueros de 500 mm	Modos de ArduPlane con QuadPlane	Un 4+1 de cola en V de alargamiento alto
Moose	Bimotor tractor en el ala con cola en V, 1,6 m	Modos de avión de ArduPlane, con TAKEOFF	Avión de carga pesado (hasta 4,5 kg)
Riflebird	Tailsitter de ala volante con dos motores fijos	Modos de ArduPlane con tailsitter (Q_TAILSIT_*)	Despegue sobre la cola, transiciones de tailsitter
Mario 5	Dron FPV de 5" freestyle, 6S	Tipo Betaflight: ACRO, ANGLE y HORIZON	Vuelo acrobático, rates, gas
Mario Fold 8	Dron FPV de 8" long range, 6S2P Li-ion	Tipo Betaflight, con GPS Rescue	Vuelo de distancia, enlace de vídeo, vuelta a casa
Multirrotor de inspección	Cuadricóptero de trabajo de unos 4 kg, hélices de 15", 6S 16 000 mAh, cardán RGB y térmico	Modos de ArduCopter: STABILIZE, ALT_HOLD, LOITER, FLOWHOLD, RTL, LAND y AUTO	Inspección de cerca con posición fija, barridos en AUTO, vuelo sin GPS, misiones de trabajo
Dron cautivo de limpieza	Multirrotor pesado de unos 60 kg con manguera hasta un camión y lanza de agua	Modos de ArduCopter	Limpieza de palas: el peso de la manguera, el viento y el empuje del chorro
Dron con jaula	Dron de 2,4 kg dentro de una jaula de 52 cm, con focos	Modos de ArduCopter, sin GPS	Espacios confinados: depósitos, calderas, interiores

Qué simula

- **Física de 6 grados de libertad** con aerodinámica calculada a partir de la geometría del avión: sustentación, resistencia, pérdida, efecto suelo y turbulencia.
- **Batería** con tensión por celda, caída por resistencia interna, consumo en mAh y autonomía estimada.
- **Controladores** que imitan el comportamiento de los de ArduPilot y Betaflight (no son su código).
- **ArduPilot real (SITL)**: con AIRLAB Conector, el ArduPlane de verdad vuela el Stallion VTOL o el ala fija con la física del simulador, con el `.param` de prueba o con el tuyo (capítulo 27).
- **Misiones de trabajo**: doce encargos reales (rescate con cámara térmica; inspección de un tendido, una presa, aerogeneradores, un avión en hangar con damage chart, una planta solar, un depósito, una torre de telecomunicaciones y un puente; limpieza de palas con dron cautivo; cubicación y rescoldos), con cámara en cardán, nota e informe PDF (capítulo 28).
- **Enlace de radio** (calidad LQ y RSSI) y **enlace de vídeo** digital o analógico que se degradan con la distancia y los obstáculos.
- **Meteorología**: viento con perfil de altura, rachas, turbulencia y estela de los obstáculos; hora del día, nubes, niebla y lluvia.

> **Importante**
>
> AIRLAB FPV sirve para practicar modos, transiciones, recuperaciones y rutinas de vuelo. Sus coeficientes son estimados y sus controladores son imitaciones: no sustituye a los ensayos reales y no garantiza que tu aeronave real se comporte igual. Con ArduPilot real (capítulo 27) el autopiloto es el de verdad, pero la física sigue siendo un modelo.

2 Requisitos y primer arranque

Qué necesitas

- **Navegador**: Chrome o Edge actualizados en un ordenador. Son los que leen la radio por USB (Gamepad API). Firefox y Safari funcionan con teclado y mando, pero la radio puede no detectarse bien.
- **Tarjeta gráfica** con WebGL. Cualquier ordenador de los últimos años vale; en equipos modestos activa el escenario ligero (capítulo 21).
- **Radio** (recomendado): una emisora EdgeTX u OpenTX conectada por USB en modo joystick. También vale un mando de consola o el teclado.
- **Móvil o tableta** (opcional): se maneja con sticks táctiles o con un mando Bluetooth (capítulo 22).

Abrir el simulador

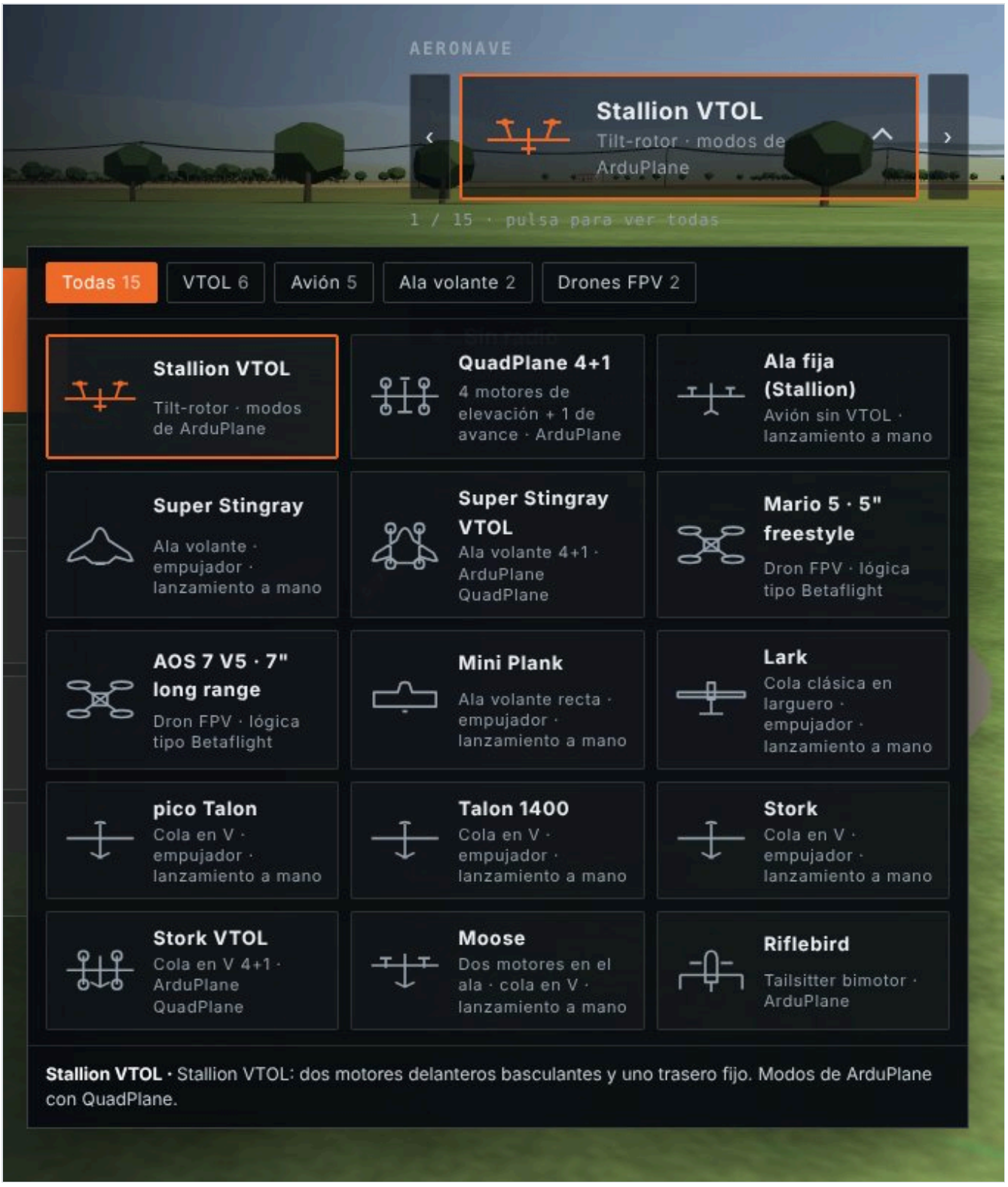
1. Entra en la web con tu cuenta y pulsa **Abrir el simulador**. El simulador solo puede estar abierto en un dispositivo a la vez; si lo abres en otro, el primero se cierra.
2. Verás el logo con una barra de carga mientras se prepara el escenario 3D.
3. Aparece el **menú de inicio**. La primera vez arranca la **guía interactiva**, que te enseña cada parte del programa en un par de minutos.
4. Conecta la radio por USB y mueve un stick para que el navegador la detecte (capítulo 5).

> **Tus ajustes se guardan solos**
>
> La asignación de la radio, los parámetros, los rates, el OSD, la voz y el resto de opciones se guardan en este navegador. Si cambias de ordenador o de navegador, tendrás que configurarlos de nuevo.

3 El menú de inicio



El menú de inicio. Bajo «Vuelo libre», el selector de escenario; de fondo, la aeronave elegida girando sobre el campo de vuelo; abajo a la derecha, el chat del Capitán Pitot.



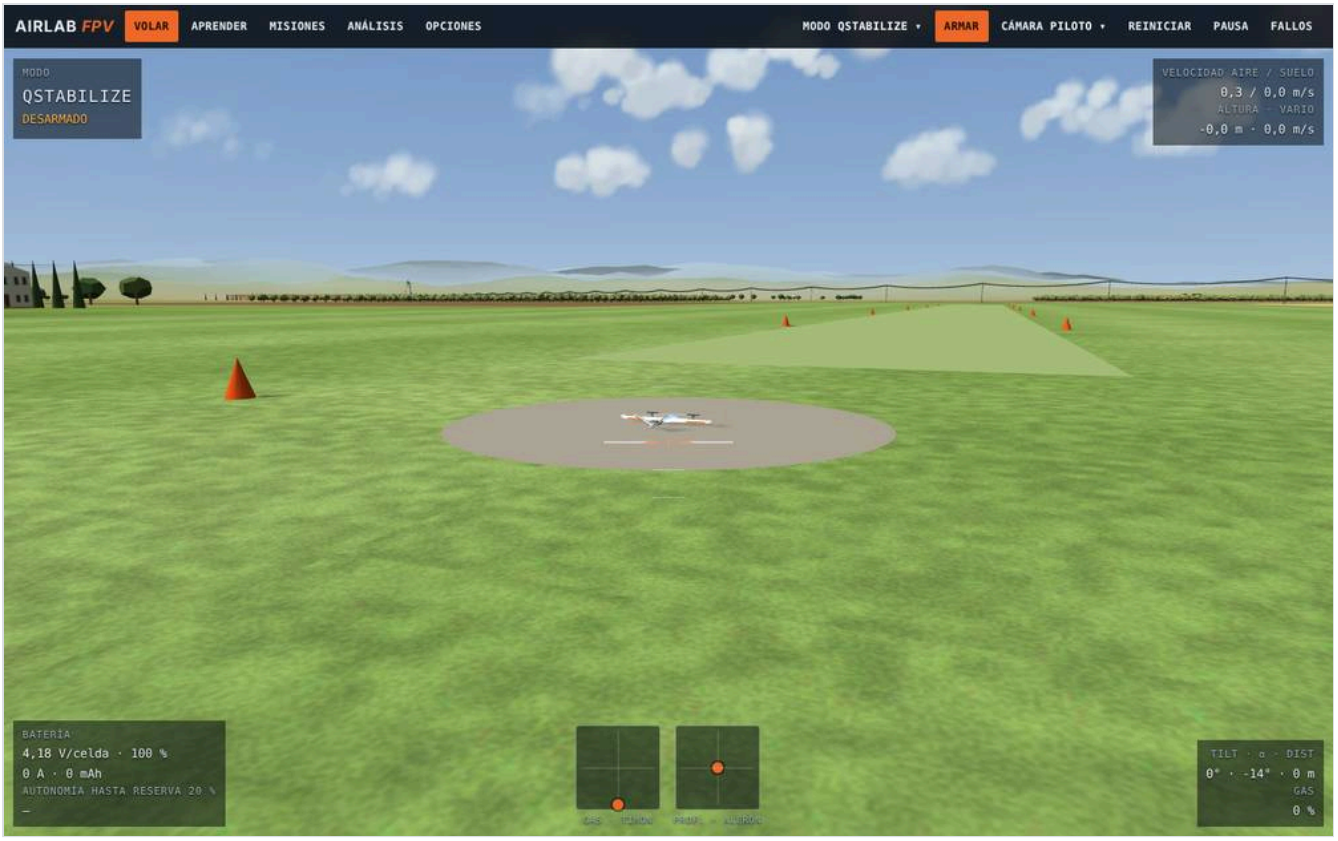
El selector de aeronave desplegado, con los filtros por tipo y la ficha de la aeronave bajo el ratón.

Elemento	Qué hace
Vuelo libre	Entra a volar con la configuración actual. Debajo resume la aeronave, el escenario, la hora y el viento. También con `Intro`.
Escenario	Desplegable bajo «Vuelo libre»: elige dónde vuelas (campiña de Osuna, acantilado en la costa, sierra y valle, cañón del río, cantera o presa y embalse). Capítulo 14.

Lecciones	Cinco lecciones guiadas paso a paso para el Stallion, con tu progreso.
Retos	Pruebas cronometradas con puntuación de 0 a 100 y tu mejor marca.
Misiones	Trabajos de dron con un encargo, nota sobre 100 e informe.
Planificar	Planificador de misiones para el modo AUTO, con las zonas UAS.
Opciones	Radio, aeronave, rates, OSD, escenario, meteorología, gráficos y sonido.
Aeronave	Selector desplegable con las 18 aeronaves. La tarjeta muestra la elegida; con las flechas ‹ › pasas a la anterior o a la siguiente, y al pulsarla se abre un menú con todas (Stallion VTOL, QuadPlane 4+1, ala fija, Super Stingray de ala fija o VTOL, Mini Plank, Lark, pico Talon, Talon 1400, Stork de ala fija o VTOL, Moose, Riflebird, Mario 5 y Mario Fold 8), con filtros por tipo (VTOL, avión, ala volante y drones FPV) y la ficha de la que tengas bajo el ratón. Se maneja también con el teclado (flechas, Intro y Esc). La de fondo cambia al instante.
Capitán Pitot	Abajo a la derecha, el chat del instructor: pregúntale por cualquier función del simulador (capítulo 19).
Radio	Estado de la radio en directo. Si está conectada pero sin configurar, ofrece el asistente.
Manual, guía e idioma	Descarga este manual en PDF, vuelve a ver la guía interactiva o cambia el simulador a inglés (botón **English**; en la versión inglesa, **Español**). El idioma elegido se recuerda.

Durante el vuelo, `Esc` te devuelve al menú de inicio y pausa el simulador. Pulsar el logo AIRLAB FPV de la barra superior hace lo mismo.

4 La interfaz durante el vuelo



Pantalla de vuelo con el Stallion en cámara piloto y el OSD clásico «AirLab FPV».

La barra superior

A la izquierda están las secciones del programa, en el orden en que trabaja un piloto. Cada una responde a una pregunta:

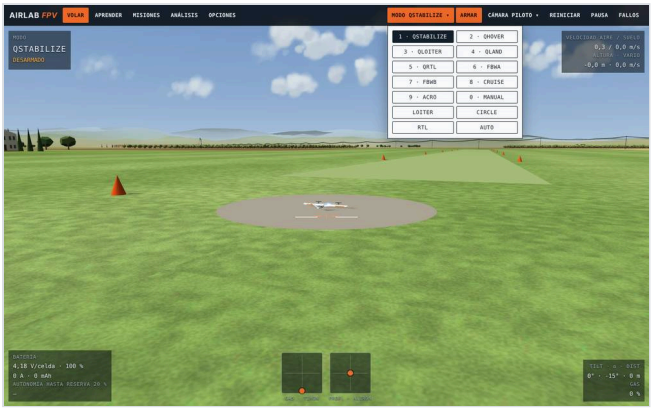
Pestaña	Para qué	Qué hay dentro
Volar	Quiero volar ya	El vuelo, con los modos, la cámara y los fallos en la barra.
Aprender	Quiero aprender	Lecciones, normativa de drones (teoría, prácticas y simulacro), retos, concursos de planeador y el Capitán Pitot (instructor en vivo, misiones a medida y plan de entrenamiento).
Misiones	Quiero un trabajo con objetivo y nota	Misiones de trabajo y ejercicios de teledetección.
Planificar	Quiero preparar un vuelo	Planificador de misiones AUTO con las zonas UAS de ENAIRE, y el barrido de fotogrametría y teledetección.
Análisis	Quiero revisar lo que he volado	Caja negra, registro de eventos, laboratorio de teledetección y logbook con certificados.
Conectar	Quiero conectar algo	AIRLAB Conector, ArduPilot real (SITL), vuelo real con instructor, visor en el móvil e instructor remoto.

Opciones	Quiero configurar	Radio, aeronave y parámetros, rates, OSD, escenario, meteorología y batería, gráficos y sonido.

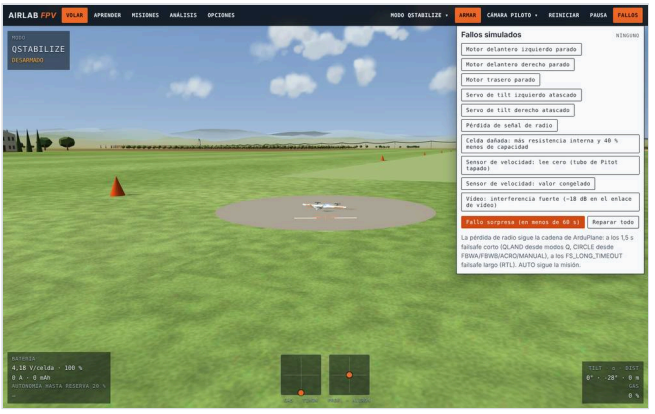
Arriba de cada pestaña, unos botones llevan a cada sección sin hacer scroll. Al salir de Volar el simulador se pausa solo, y al volver se reanuda.

A la derecha, solo en Volar, están los mandos de vuelo:

Botón	Función
● **Grabar**	Graba el vuelo en vídeo (sección siguiente). Tecla `V`.
Modo ▾	Abre la lista de modos de la aeronave. El modo activo aparece en el botón.
Armar / Desarmar	Arma o desarma los motores. En rojo cuando está armado. Tecla `Espacio`.
Cámara ▾	Piloto, persecución, FPV o libre. Tecla `C` para pasar de una a otra.
Reiniciar	Devuelve la aeronave a la plataforma, desarmada y con la batería llena. Tecla `R`.
Pausa	Congela la simulación.
Fallos ▾	Abre el panel de fallos simulados. Si hay alguno activo, aparece marcado en la barra.

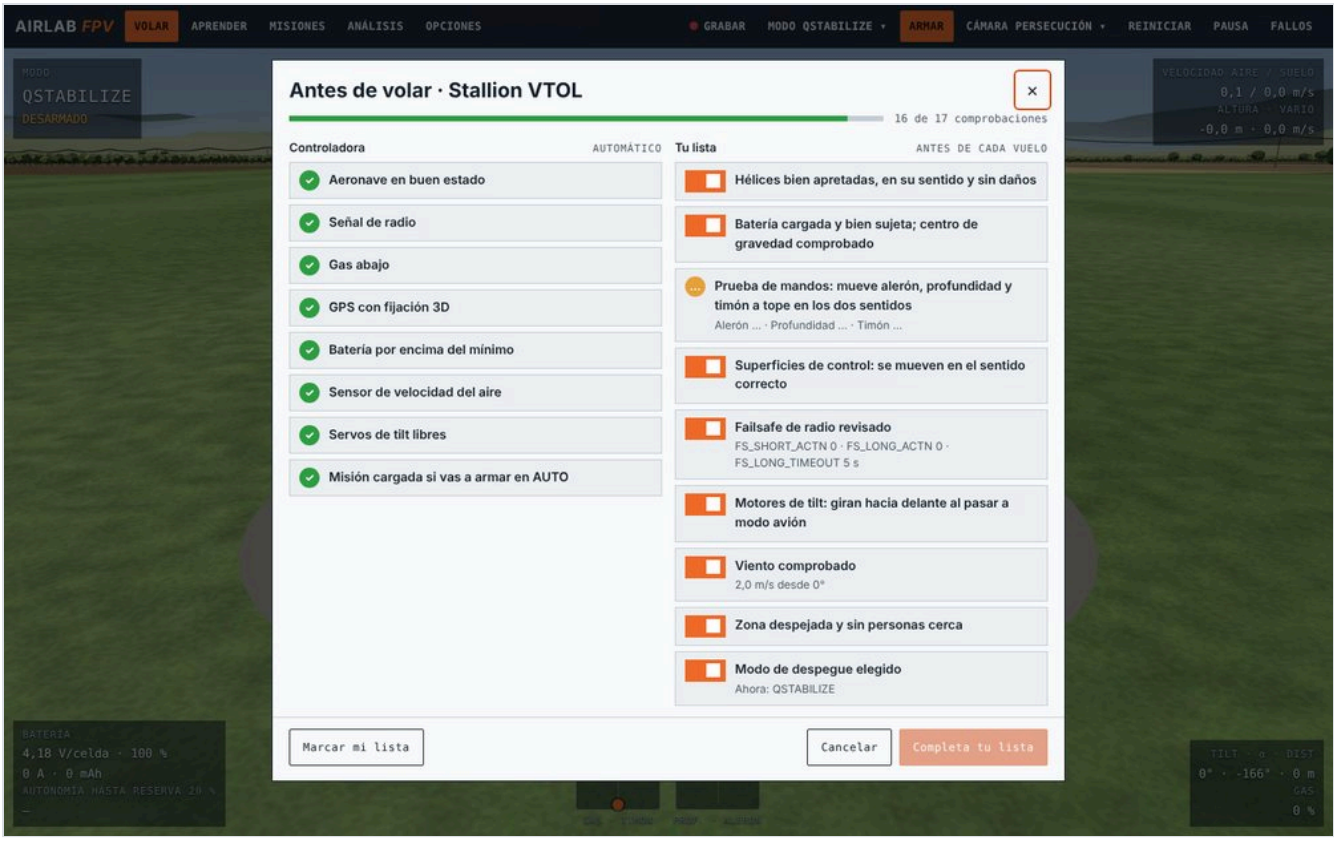


Menú de modos. Las cifras son las teclas de acceso directo.



Panel de fallos simulados.

Comprobaciones antes de armar



Al pulsar Armar aparece la lista «Antes de volar»: a la izquierda lo que comprueba la controladora, a la derecha tu lista.

Como en una controladora real, el simulador no arma si algo no está bien. Al pulsar **Armar** se abre la ventana **Antes de volar**, con dos columnas:

- **Controladora (automático)**: aeronave sin daños, señal de radio, gas abajo, GPS con fijación 3D (al arrancar tarda unos segundos en ver 6 satélites), batería por encima de 3,6 V por celda, sensor de velocidad del aire, servos de tilt (solo en el tilt-rotor) y misión cargada si vas a armar en AUTO. Si algo falla verás el mensaje tal como lo daría ArduPlane («PreArm: …») o Betaflight en los drones.
- **Tu lista**: hélices, batería y centro de gravedad, prueba de mandos (se marca sola al mover alerón, profundidad y timón a tope en los dos sentidos), superficies, failsafe de radio con tus valores de `FS_SHORT_ACTN` y `FS_LONG_ACTN`, motores de tilt, viento actual, zona despejada y modo de despegue. **Marcar mi lista** las marca todas de una vez.

El botón **Armar** se activa cuando todo está en verde. Tu lista se pide **antes del primer vuelo** cada vez que abres el simulador; después solo se comprueba lo de la controladora. En Opciones › Radio › **Comprobaciones al armar** eliges entre controladora + tu lista antes del primer vuelo, controladora + tu lista antes de cada vuelo, solo la controladora (un aviso en pantalla y por voz dice qué falla) o ninguna.

Si al abrir el simulador el interruptor de armado de tu radio ya está subido, no arma: bájalo y vuelve a subirlo. Los atajos de teclado (como `Espacio` para armar) no actúan mientras escribes en un campo de texto.

Grabar el vuelo en vídeo

Pulsa ● **Grabar** en la barra (o la tecla `V`; en el móvil, el botón ● **REC**). Mientras graba, el botón muestra el tiempo. Al pulsarlo otra vez, el vídeo se descarga solo con un nombre del tipo `AIRLAB-FPV-20261014-`

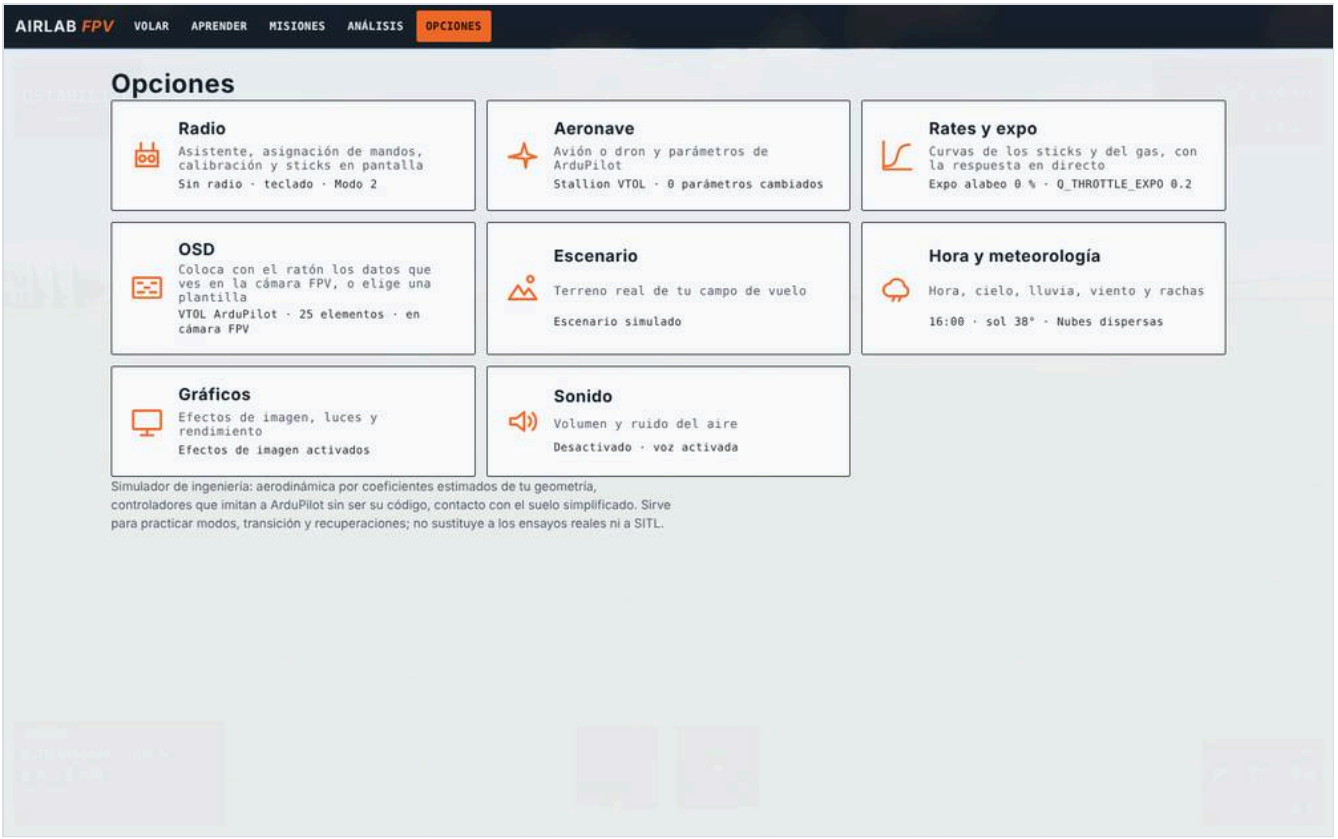
`183005.mp4`.

- Se graba lo que ves: la imagen 3D con los efectos del enlace de vídeo, el OSD, los avisos, los sticks en pantalla y el sonido de motores y viento. La voz no se graba porque el navegador no lo permite.
- Formato MP4 si el navegador lo admite (Chrome y Edge recientes, Safari); si no, WebM.
- En Opciones › Gráficos eliges la calidad (hasta 1080p a 10 Mb/s, o 720p a 6 Mb/s) y si lleva la marca AIRLAB FPV en la esquina.

El OSD y los sticks en pantalla

Sobre la imagen se ve el OSD: modo, velocidades, altura, batería y el resto de datos que elijas (capítulo 11). Abajo en el centro puedes mostrar dos cuadros con la posición de tus sticks, útiles para comprobar la radio y para grabar vídeos (Opciones › Radio).

Opciones



Opciones: cada tarjeta resume cómo está configurado ese apartado.

5 Conectar y configurar la radio

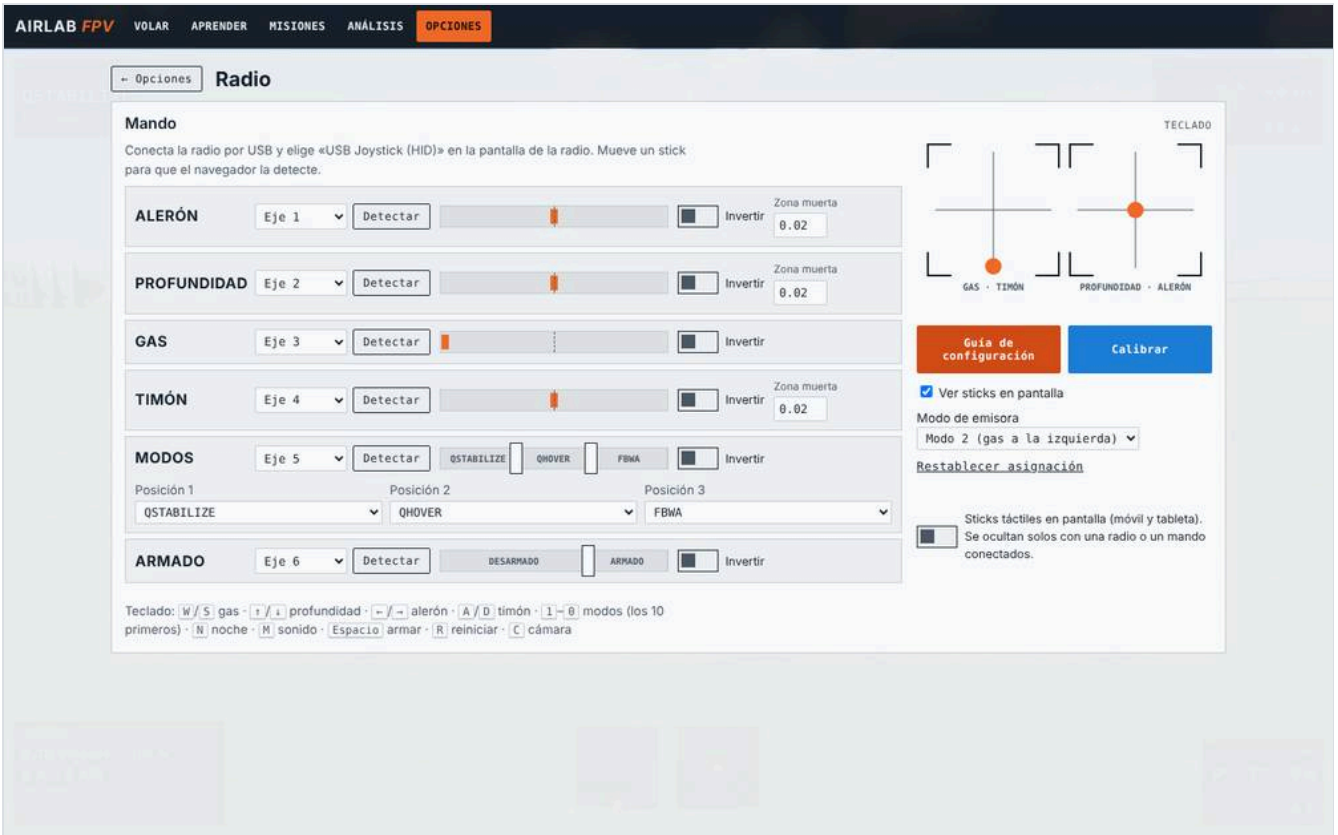
Preparar la emisora EdgeTX

1. Conecta la emisora al ordenador con un cable USB de datos.
2. En la pantalla de la emisora elige **USB Joystick (HID)**.
3. En el modelo, en **SYS › USB Joystick** (o en el ajuste del modelo, según la versión), deja el modo **Classic** para que mande los canales tal cual, o configura el modo **Advanced** asignando cada canal como **Axis** (eje) o **Btn** (botón).
4. Mueve un stick con el simulador abierto: el navegador solo descubre la radio cuando recibe un movimiento.

> **Canales que necesitas**
>
> Alerón, profundidad, gas y timón, un interruptor de 3 posiciones para los modos y un interruptor para armar. Si el armado está configurado como botón (Btn) en EdgeTX, el simulador también lo acepta.

El asistente de configuración

Es la forma más rápida. Ábrelo desde el menú de inicio o desde Opciones › Radio › **Guía de configuración**. Te pide mover, uno a uno, el gas, el timón, la profundidad, el alerón, el interruptor de armado y el de modos; detecta qué eje o botón es cada uno, si hay que invertirlo, y termina con la calibración de recorridos.



Opciones › Radio: asignación de canales, rangos de los interruptores, sticks y calibración.

Ajuste manual

Columna	Para qué sirve
Canal y **Detectar**	Elige el eje o botón de cada función, o pulsa Detectar y mueve ese mando durante 4 segundos.
Barra	Muestra en directo la posición del mando ya procesada.
Invertir	Cambia el sentido. La profundidad suele necesitarlo: stick hacia delante debe bajar el morro.
Zona muerta	Alerón, profundidad y timón. Ignora pequeños movimientos alrededor del centro (0,02 por defecto) y reescala el resto para que no haya saltos.
Rangos de los interruptores	Arrastra los límites para decidir qué posición del interruptor activa cada modo o el armado. La marca negra es la posición actual.
Posición 1, 2 y 3	Qué modo de vuelo activa cada posición del interruptor de modos.

Calibrar

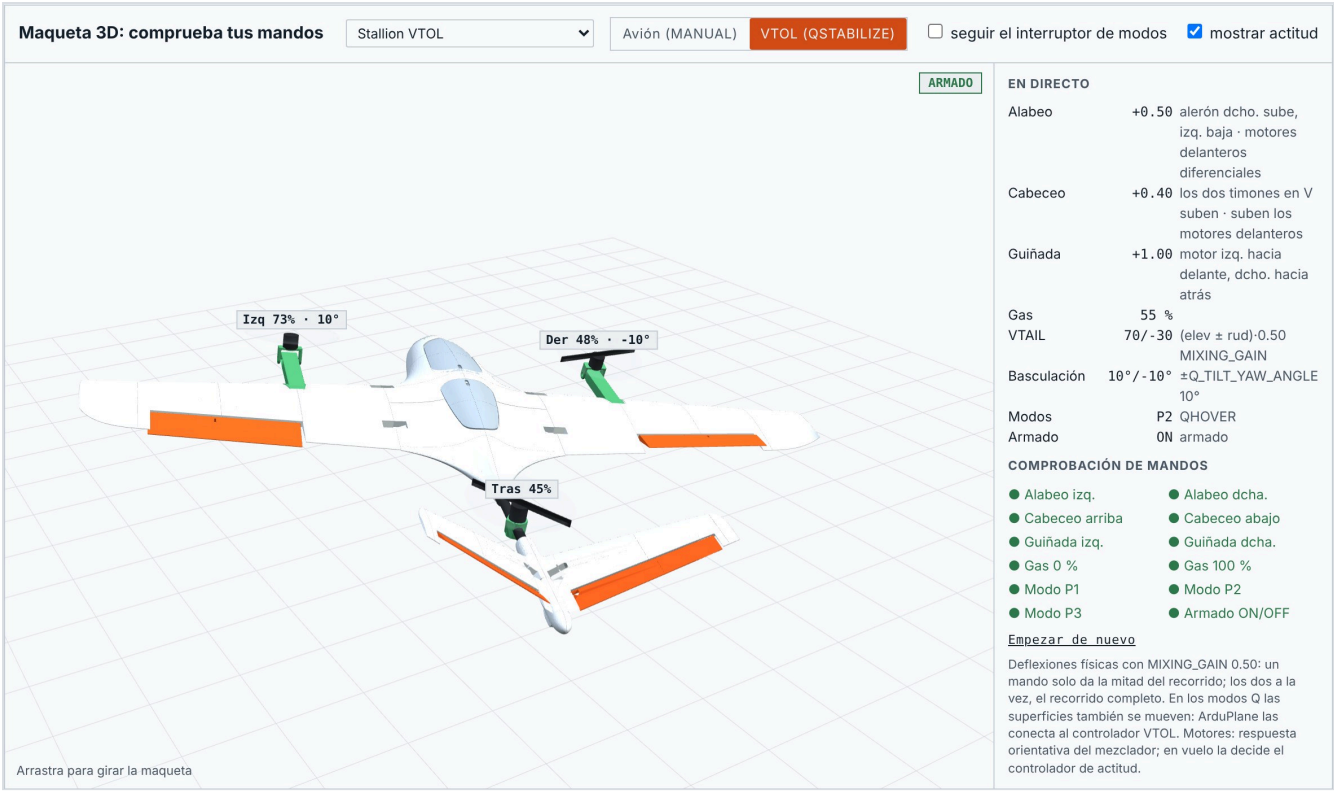
Pulsa **Calibrar**, mueve todos los sticks y mandos a sus extremos varias veces y vuelve a pulsar. Corrige radios cuyos ejes no llegan a ±1.

Modo de emisora

Elige Modo 2 (gas a la izquierda, el más habitual) o Modo 1 (gas a la derecha). Afecta a los sticks en pantalla y a los sticks táctiles.

Maqueta 3D: comprueba tus mandos

Debajo de la asignación de canales hay una aeronave en 3D que se mueve con tus sticks. Sirve para hacer en el simulador la misma comprobación que en el campo se hace con la aeronave en la mano (y las hélices quitadas): que cada mando mueve la superficie o el motor correcto y en el sentido correcto. Es el mismo modelo 3D que vuela en el simulador: arriba eliges cualquiera de sus aeronaves (Stallion tilt-rotor, 4+1, alas volantes, colas en V, bimotor, tailsitter, drones…) y, en los VTOL, el modo: **Avión (MANUAL)** o **VTOL (QSTABILIZE)**. Con **seguir el interruptor de modos** marcado, cambia sola a VTOL cuando la posición del interruptor activa un modo Q. La maqueta se queda quieta y solo se mueve con tus mandos; arrastra con el ratón o el dedo para verla desde otro ángulo.



Maqueta 3D del Stallion en VTOL con alabeo, cabeceo y guiñada a la derecha: los motores delanteros basculan ±Q_TILT_YAW_ANGLE en sentido contrario, la cola en V mezcla profundidad y timón con MIXING_GAIN y la lista de comprobación se marca sola.

Mando	Qué debes ver
Alabeo a la derecha	Alerón derecho arriba e izquierdo abajo. En VTOL, además, sube el motor izquierdo (tilt-rotor y 4+1). En el tailsitter en estacionario el alabeo se hace con los motores: sube el izquierdo.
Cabeceo arriba (stick atrás)	Los dos paneles de la cola en V (o los dos elevones) suben. En VTOL suben los motores delanteros y baja el trasero.
Guiñada a la derecha	Panel derecho de la cola en V abajo e izquierdo arriba (con cola convencional, el timón de dirección a la derecha). En el tilt-rotor en VTOL, el motor izquierdo bascula hacia delante y el derecho hacia atrás. En el 4+1 y el dron, aceleran las hélices que giran en sentido antihorario (en naranja; las horarias, en azul). En el bimotor, el motor izquierdo acelera RUDD_DT_GAIN %.
Gas	En MANUAL mueve los motores de avance; en VTOL, todos los de sustentación.

El mezclador es el de ArduPlane: cola en V = (profundidad ± timón)·MIXING_GAIN y elevones = (profundidad ∓ alerón)·MIXING_GAIN, saturados al recorrido máximo. Con MIXING_GAIN = 0,5 (por defecto) un mando solo da media deflexión y los dos a fondo, la completa; por eso no satura. En los modos Q las superficies también se mueven, porque ArduPlane las conecta al controlador VTOL. Los porcentajes de motor son la respuesta orientativa del mezclador: en vuelo los decide el controlador de actitud.

> **Armado**
>
> Fuera de la pantalla de vuelo (Opciones, Aprender, Misiones…) los interruptores de la radio no arman la aeronave del simulador ni cambian su modo; solo la maqueta los refleja. Desarmar sí funciona. Mientras está abierta la lista prevuelo tampoco cambian el modo: si lanzas una misión, sigue en AUTO aunque muevas sticks e interruptores para la comprobación. Al volver a volar el modo no cambia hasta que muevas el interruptor (como ArduPilot, que solo reacciona a los cambios de posición) y, si el de armado quedó arriba, hay que bajarlo y subirlo para armar. La maqueta sí se arma con tu interruptor de armado (si no tienes interruptor asignado, pulsa la etiqueta ARMADO/DESARMADO de la esquina). Armada, los motores de sustentación giran al ralentí aunque el gas esté a cero, como en ArduPilot (Q_M_SPIN_ARM, 0,10 por defecto; MOT_SPIN_ARM en ArduCopter y dshot_idle_value 5,5 % en Betaflight), y cada motor muestra su porcentaje. Desarmada, los motores no giran y los motores basculantes no se mueven en VTOL (en la aeronave real solo lo hacen con Q_OPTIONS bit 10, «Disarmed Yaw Tilt»). Las superficies sí se mueven desarmado, como en ArduPlane. La lista de comprobación se marca cuando llevas cada eje a los dos extremos, el gas a 0 y 100 %, el interruptor de modos a sus tres posiciones y el de armado arriba y abajo.

Sin radio: teclado o mando

Con el teclado: `W`/`S` gas, flechas arriba y abajo profundidad, flechas izquierda y derecha alerón, `A`/`D` timón. Un mando de consola se asigna igual que la radio.

6 Volar los aviones: VTOL, 4+1, ala fija y ala volante

El Stallion es un tilt-rotor: los dos motores delanteros giran de vertical a horizontal y el trasero solo trabaja en vuelo vertical. El autopiloto (ArduPlane con QuadPlane) mezcla motores y superficies según el modo y la fase de vuelo; tú solo mandas con los sticks y el interruptor de modos.

Primer despegue

1. Selecciona **QHOVER**. En QHOVER el gas al centro mantiene la altura, arriba sube y abajo baja.
2. Gas abajo del todo y **arma**.
3. Sube el gas por encima del centro hasta despegar y estabiliza a unos 10 m.
4. Con alerón y profundidad inclinas el avión para moverte; con el timón giras sobre ti mismo.
5. Para aterrizar, baja el gas por debajo del centro y toca suelo a menos de 1 m/s. Después desarma.

La transición a avión

Desde un modo de vuelo vertical, cambia a un modo de avión (FBWA, por ejemplo) con algo de altura, al menos 25 m:

Fase	Qué pasa	Qué ves
1. Inicio	Los motores delanteros se inclinan hasta `Q_TILT_MAX` y el avión acelera. Los motores siguen sosteniendo el peso.	`TRANSICIÓN · esperando AIRSPEED_MIN`
2. Velocidad mínima	Al superar `AIRSPEED_MIN`, el ala ya sustenta y el autopiloto retira la ayuda vertical poco a poco, en `Q_TRANSITION_MS`.	`TRANSICIÓN · xx % VTOL`
3. Vuelo de avión	Motores totalmente horizontales y motor trasero parado.	«Transición completa: vuelo en avión»

> **Consejo**
>
> Durante la transición mantén el morro recto y algo de gas. Si la velocidad no sube, el avión se queda esperando en la fase 1 consumiendo mucha batería.

Volver a VTOL

Con un modo Q (QHOVER, QLOITER, QLAND, QRTL), los motores vuelven a vertical a `Q_TILT_RATE_UP` mientras el avión frena. Cuando están verticales, aparece «Motores verticales: vuelo en VTOL». Entra despacio y alineado con el viento.

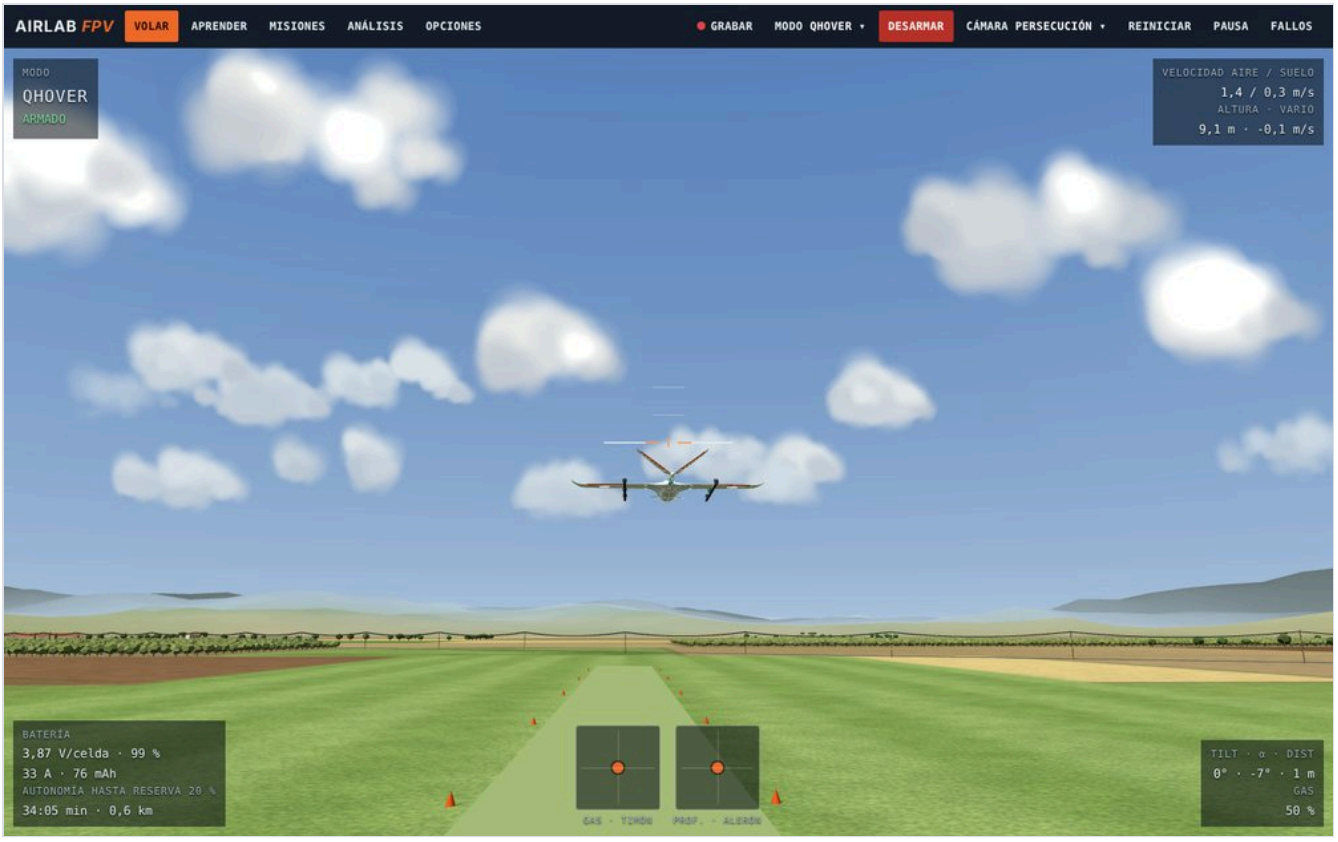
Batería y autonomía

El OSD muestra la tensión por celda, el consumo y la autonomía hasta la reserva del 20 %. Si la autonomía para volver a casa se agota, aparece «VUELVE YA». En vuelo vertical el consumo es varias veces mayor que en avión: haz las transiciones pronto.

Peligros típicos

- **Pérdida**: en avión, por debajo de la velocidad mínima o con demasiado ángulo, el ala deja de sustentar y aparece «PÉRDIDA». Baja el morro y da gas.
- **Anillo de vórtice**: en vertical, bajar rápido sobre tu propio aire hace que el avión caiga sin control. Desciende despacio o avanzando.
- **Viento**: en hover el viento te arrastra; en avión, aterriza siempre de cara al viento.

QuadPlane 4+1



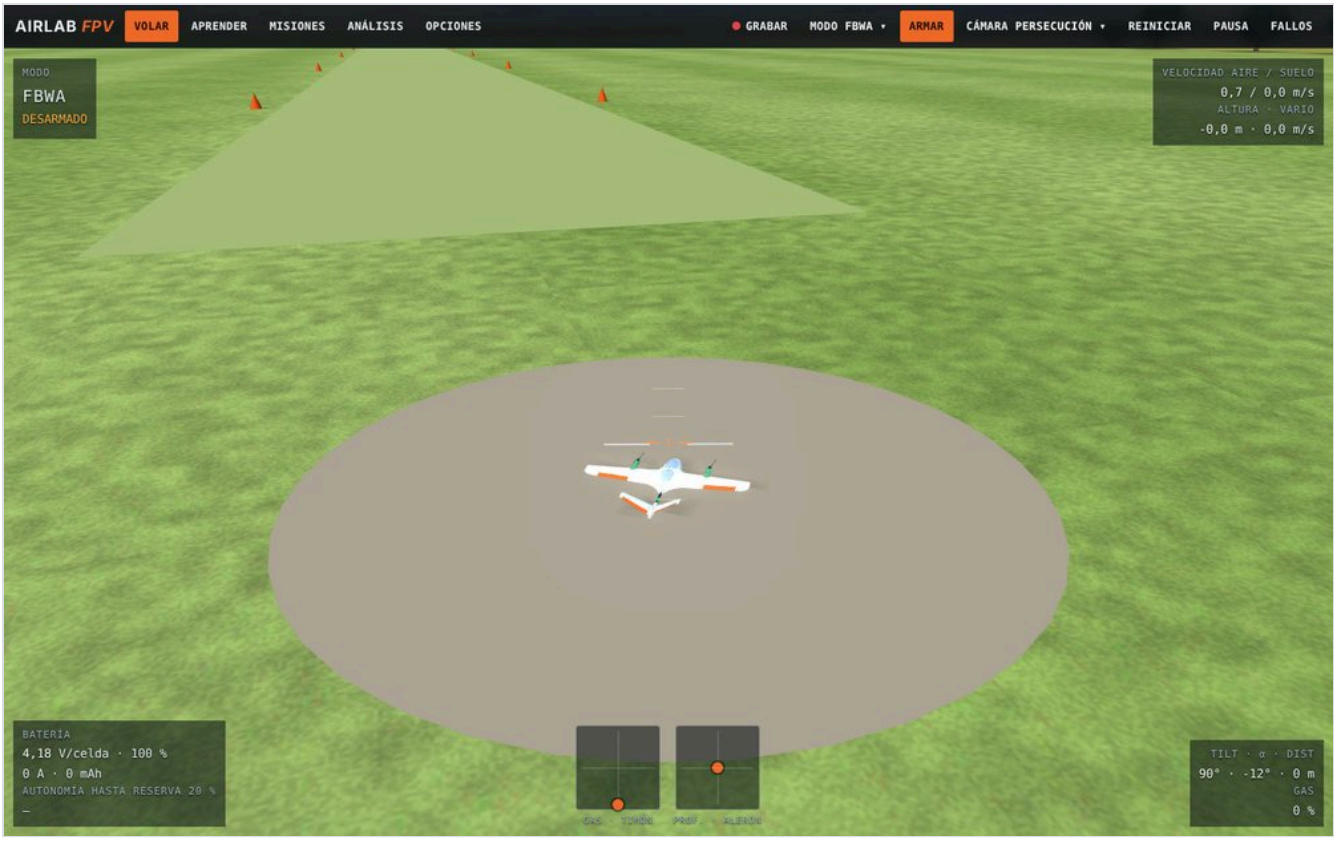
QuadPlane 4+1 en QHOVER: cuatro motores de elevación en dos largueros y el motor de avance en el morro.

Es la configuración VTOL más común: cuatro motores fijos que solo empujan hacia arriba, montados en X en dos largueros bajo el ala, y un motor aparte para volar en avión. No hay motores que basculen. Usa el mismo ala que el tilt-rotor, pesa más (3,0 kg estimados) y los largueros añaden resistencia.

- **En vertical** manda como un cuadricóptero: alabeo y cabeceo con la diferencia de empuje entre motores, y la guiñada con el par de reacción de las hélices (gira más despacio que el tilt-rotor, que guiña inclinando los motores).
- **Transición**: al pasar a un modo de avión, el motor de avance acelera mientras los cuatro de elevación sostienen la altura. Al superar `AIRSPEED_MIN`, los de elevación se van apagando en `Q_TRANSITION_MS`. Verás los mismos mensajes que en el tilt-rotor.
- **Vuelta a VTOL**: al elegir un modo Q, el motor de avance se para y mandan los cuatro de elevación al momento: no hay que esperar a que giren los motores.

Las lecciones, los retos y las misiones con VTOL_TAKEOFF y VTOL_LAND funcionan igual que con el tilt-rotor.

Ala fija: lanzamiento a mano, TAKEOFF y aterrizaje



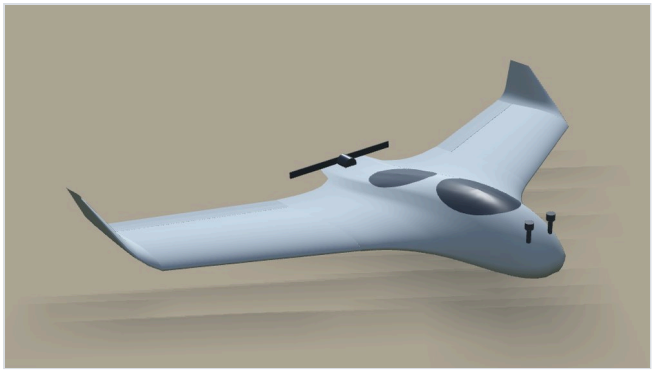
El ala fija en tierra, lista para lanzar.

Avión de dos motores tractores y cola en V, sin motores de vuelo vertical (2,0 kg). Solo tiene los modos de avión de ArduPlane más **TAKEOFF**; si eliges un modo Q en el interruptor, el simulador usa su equivalente (QSTABILIZE → MANUAL, QHOVER → FBWB, QLOITER → LOITER, QRTL → RTL) y te lo dice en el registro.

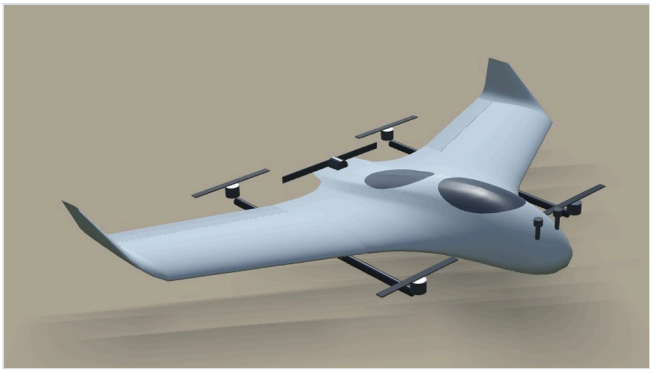
- **Lanzamiento a mano**: arma en FBWA y sube el gas por encima de la mitad; a los 0,6 s el avión sale lanzado a unos 11 m/s con el morro algo arriba. Sube con poca inclinación y no tires de la profundidad hasta tener velocidad.
- **Modo TAKEOFF**: arma en TAKEOFF y, a los 2 s, un ayudante lo lanza (en el avión real, la sacudida que detecta `TKOFF_THR_MINACC`). Sube con gas a tope a `TKOFF_LVL_PITCH`, con el alabeo limitado a `LEVEL_ROLL_LIMIT` hasta `TKOFF_LVL_ALT`, hasta `TKOFF_ALT`, y luego da vueltas a `TKOFF_DIST` por delante del punto de lanzamiento. Los valores por defecto (15°, 20 m, 50 m, 50 m) son los habituales para un avión de este tamaño.
- **Aterrizaje**: a mano, aproxímate de cara al viento con poco gas y endereza justo antes de tocar; el avión aterriza de panza y se frena por rozamiento. En AUTO, el comando **LAND** lo hace solo (capítulo 17).

Las lecciones y los retos son de VTOL, así que no están disponibles con el ala fija. El RTL vuelve a casa y da vueltas a `RTL_ALTITUDE`, sin aterrizar.

Ala volante: Super Stingray y Super Stingray VTOL



Super Stingray: ala volante con empujador.

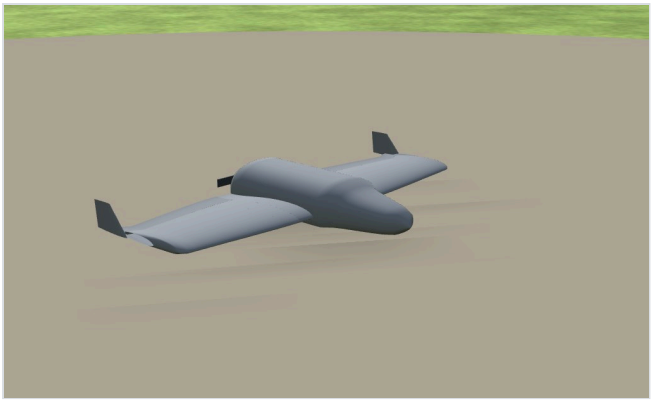


Super Stingray VTOL: 4+1 con largueros de carbono.

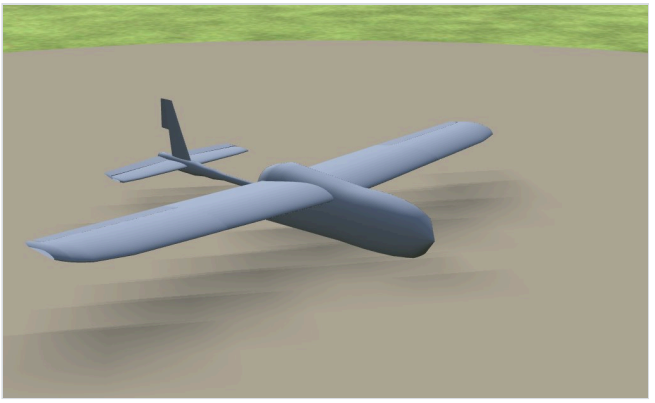
Ala volante en flecha de 1.130 mm, sin cola ni timón: se gobierna con dos **elevones**, que hacen de alerón y de profundidad a la vez, y la estabilidad direccional la dan los winglets. Un solo motor empuja desde la cola.

- **De dónde salen sus datos**: geometría de la planta del manual de Flightory (envergadura, 31 dm², cuerda de raíz 305 mm, cuerda media 271 mm), perfil Selig S5020 y centro de gravedad a 60 mm del borde de ataque en la raíz. La aerodinámica se calcula sobre esa geometría y se ajusta al análisis CFD del manual: pendiente de sustentación ≈ 3,9 por radián, margen estático del 4,7 % de la cuerda media y momento nulo a 0° de ataque. El tamaño de los winglets, los recorridos de los elevones (±20°) y los pesos son estimados.
- **Masas**: 1,25 kg el ala fija y 1,65 kg el VTOL, con batería 4S2P Li-ion de 7 Ah (4S en el simulador). Cambia la masa en Parámetros si tu montaje pesa otra cosa: entre 1 y 2,5 kg según el manual.
- **Cómo vuela**: crucero a unos 22 m/s (80 km/h) con un 40 % de gas y unos 6 A, cerca de lo que da Flightory (70-90 km/h, 40 %, 5 A). La pérdida está en torno a 8 m/s con 1,25 kg. Con poco margen estático es muy viva en cabeceo: en MANUAL y ACRO pide mano suave.
- **Ala fija**: se lanza a mano como el ala fija (gas por encima de la mitad, TAKEOFF o AUTO) y aterriza de panza. Flightory recomienda lanzarla hacia atrás, por detrás de la espalda, sujetándola por el borde de ataque con las dos manos.
- **VTOL**: cuatro motores 2306 1700 KV con hélices de 7" en X sobre dos largueros de 16 × 500 mm, como en el pack de conversión. Los motores delanteros quedan más cerca del centro de gravedad que los traseros, así que en vuelo vertical trabajan más. Trae los parámetros del manual de Flightory: `AIRSPEED_MIN` 17, `AIRSPEED_MAX` 35 y `Q_TRANSITION_MS` 3000.
- Cada aeronave guarda sus propios parámetros: lo que cambies en una no afecta a las demás.

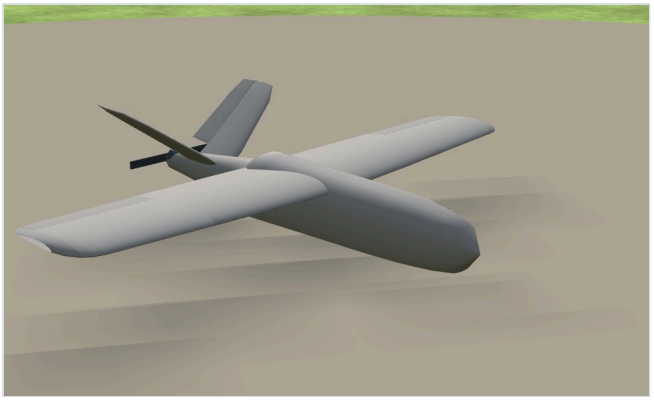
Más aviones de Flightory



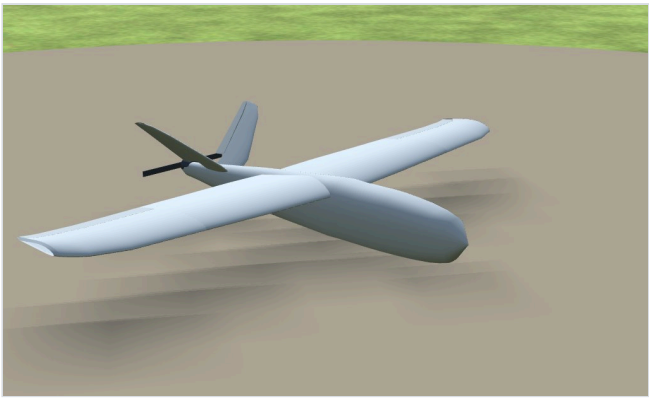
Mini Plank: ala volante recta.



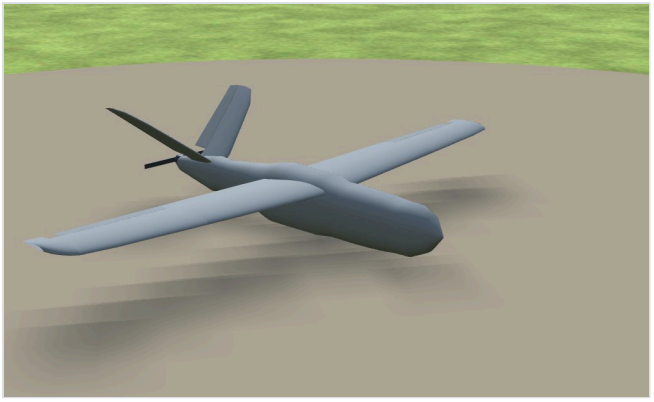
Lark: cola clásica en larguero.



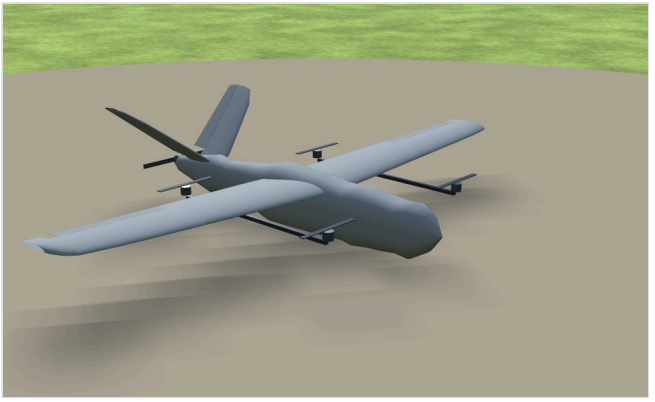
pico Talon: cola en V compacto.



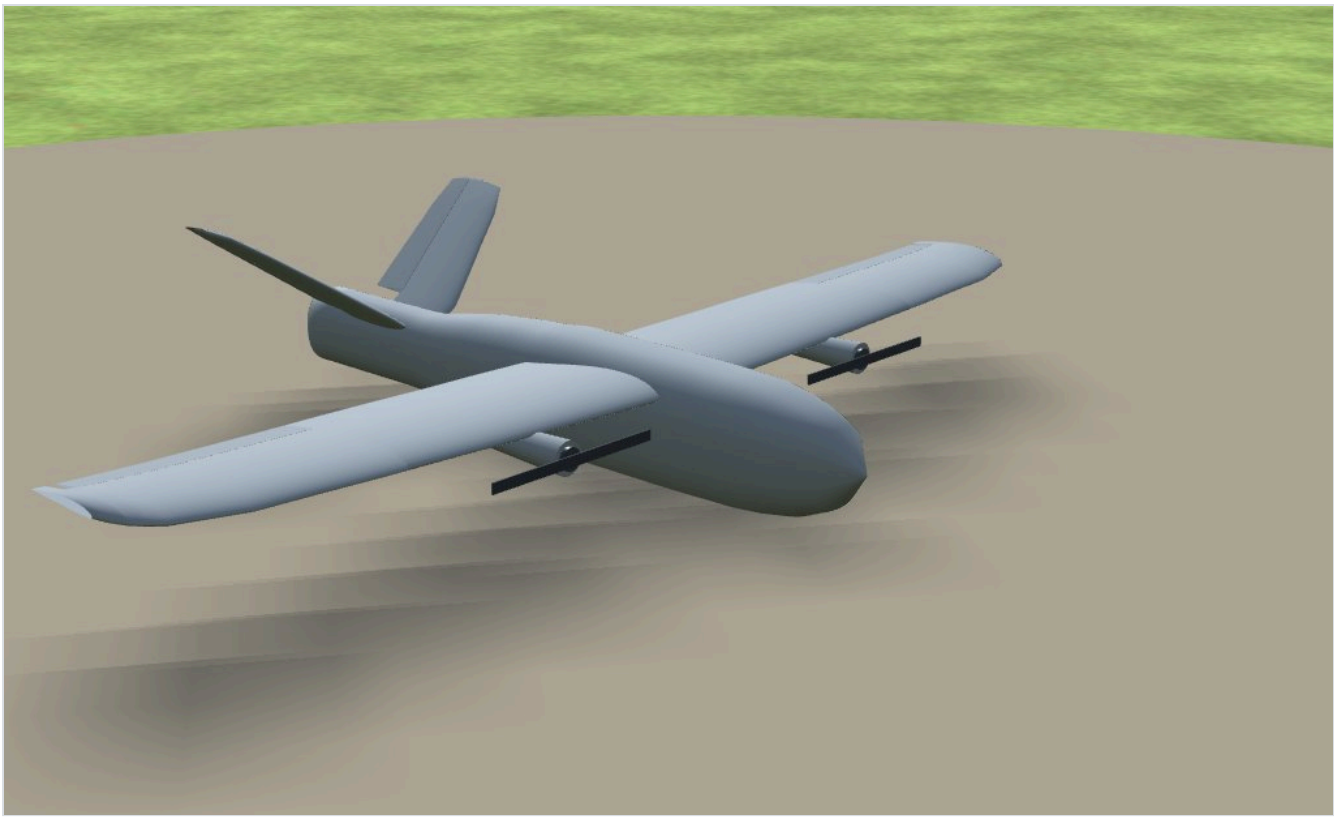
Talon 1400: cola en V de 1,3 m.



Stork: alargamiento 8,3.



Stork VTOL: 4+1 con largueros de 500 mm.



Moose: dos motores tractores en el ala.

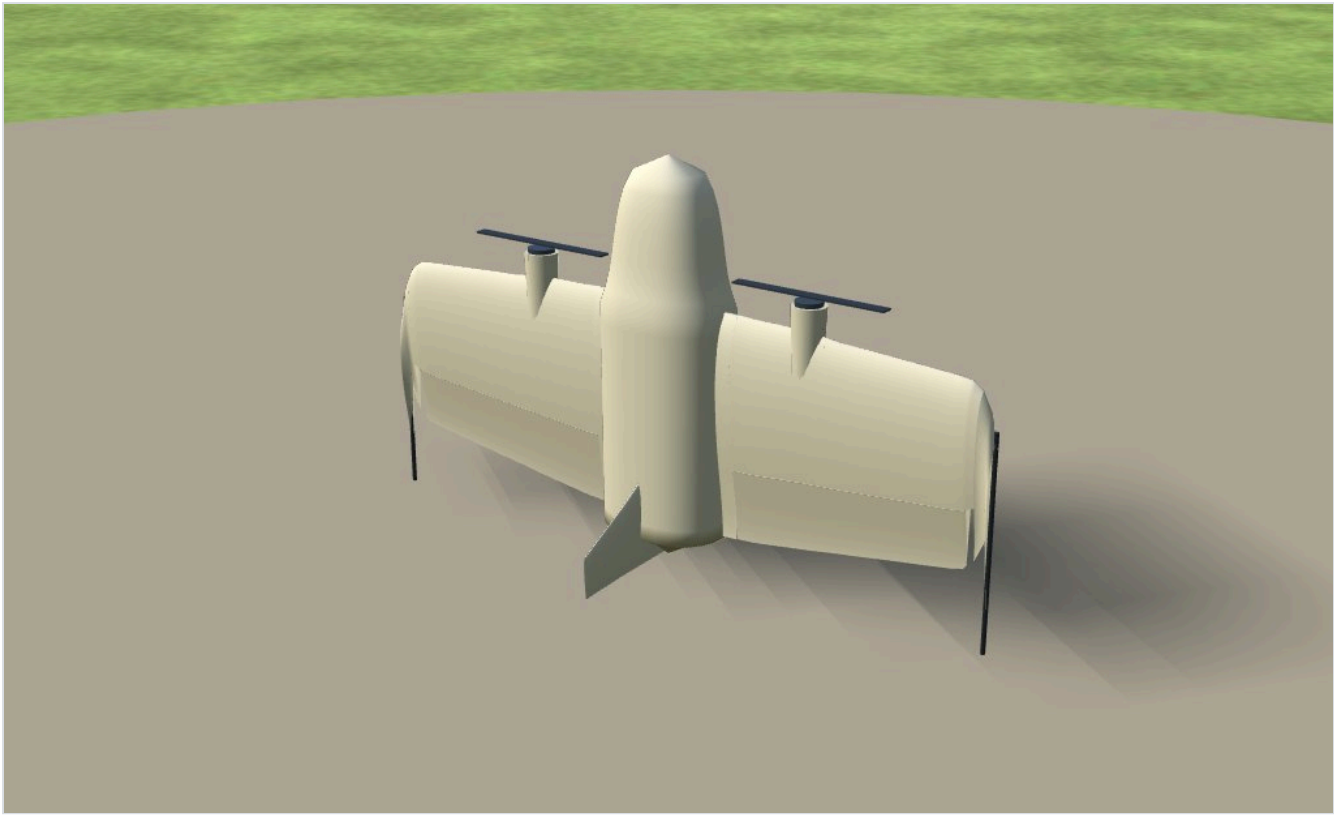
Siete aviones más, sacados de los manuales de Flightory con el mismo método que el Super Stingray: la planta se digitaliza de la vista superior del manual (ala, cola y fuselaje), la aerodinámica se calcula sobre esa geometría (ala, colas y fuselaje juntos) y se ajusta al análisis CFD que publica el diseñador: pendiente de sustentación, margen estático, momento nulo a 0° y la polar CL–CD en el punto de crucero, con un poco más de resistencia por antenas, juntas y patines. Las masas, las baterías y los ángulos de la cola en V son estimados (dentro de los rangos de cada manual).

Avión	Envergadura · superficie	Perfil · CG	Masa en el simulador	Crucero en AUTO
Mini Plank	650 mm · 12,5 dm²	PW75* · 35 mm	0,35 kg, 3S 3 Ah	14 m/s, 23 % de gas, 1,2 A
Lark	1290 mm · 24 dm²	E193 · 66 mm	2,0 kg, 4S 10,5 Ah	16 m/s, 27 %, 3,3 A (el manual da unos 30 % y 4 A)
pico Talon	905 mm · 15 dm²	S3021 · 40 mm	0,9 kg, 4S 3,5 Ah	17 m/s, 19 %, 1,7 A
Talon 1400	1305 mm · 27,5 dm²	E205 · 63 mm	2,4 kg, 4S 14 Ah	17 m/s, 28 %, 3,7 A
Stork	1620 mm · 31 dm²	S3021 · 47 mm	2,2 kg, 4S 10,5 Ah	17 m/s, 24 %, 3,5 A (el manual: menos del 50 %)
Stork VTOL	1620 mm · 31 dm²	S3021 · 47 mm	2,8 kg, 4S 10,5 Ah	17 m/s, 32 %, 5,8 A; unos 45 A en estacionario
Moose	1600 mm · 36,5 dm²	S3021 · 48 mm	3,2 kg, 4S 14 Ah	18 m/s, 22 %, 5,8 A (el manual: menos del 50 %)

* El perfil PW75 no está publicado en las bases de datos de perfiles: se usa el MH60, otro perfil reflex de alas volantes del mismo grosor, y el resultado se ajusta al CFD del manual. CG: distancia desde el borde de ataque en la raíz del ala.

- **Todos se lanzan a mano** como el ala fija (gas por encima de la mitad, TAKEOFF o AUTO) y aterrizan de panza; el Stork VTOL despega y aterriza en vertical como el QuadPlane 4+1. Los más pesados (Lark, Talon 1400, Moose) salen de la mano casi a la velocidad de pérdida: tira suave de la profundidad nada más soltarlos, o usa TAKEOFF.
- **Cola en V** (pico Talon, Talon 1400, Stork, Moose): los dos timones en V hacen de profundidad cuando se mueven juntos y de timón cuando se mueven al revés. El simulador hace esa mezcla, como ArduPilot con las funciones de servo de cola en V.
- **El Stork y el Moose tienen mucho margen estático** (33 % y 25 % de la cuerda media según su CFD): son muy estables y piden más profundidad para enderezar al aterrizar. El Talon 1400 y la Mini Plank, con un 5 %, son mucho más vivos.
- Las ganancias del piloto automático se escalan a la autoridad de mando de cada avión, y cada uno guarda sus propios parámetros.

Tailsitter: Riflebird



Riflebird sentado sobre la cola, listo para despegar.

Ala volante de 777 mm y 16,5 dm² que despega y aterriza en vertical **sentada sobre la cola**, apoyada en las patas de las puntas y en las derivas dorsal y ventral. Los dos motores (T-Motor F60 1750 KV con hélices 7×5) están fijos: para volar como avión, todo el avión se inclina 90°. Masa 1,0 kg con 4S Li-ion de 4 Ah; aerodinámica ajustada al CFD del manual (margen estático 7,6 %).

- **En VTOL** (QSTABILIZE, QHOVER, QLOITER, QLAND, QRTL) vuela con el morro hacia arriba y el vientre mirando hacia delante, como la «vista VTOL» de ArduPilot: el alabeo se hace con **empuje diferencial** entre los dos motores y el cabeceo y la guiñada con los **elevones**, que trabajan en la estela de las

hélices aunque el avión esté quieto. Es la configuración `Q_TAILSIT_ENABLE` = 1 con `Q_FRAME_CLASS` = 10 (bimotor).

- **Transición a avión**: al pasar a un modo de avión, el morro baja a `Q_TAILSIT_RAT_FW` (50 °/s) manteniendo la altura, y la transición termina cuando el cabeceo pasa de `Q_TAILSIT_ANGLE` (45° desde la vertical). Pierde unos metros mientras coge velocidad: hazla con al menos 30 m de altura.
- **Vuelta a VTOL**: el morro sube a `Q_TAILSIT_RAT_VT` (50 °/s) con el gas de estacionario hasta que el cabeceo de avión pasa de `Q_TAILSIT_ANG_VT` (con 0, el mismo `Q_TAILSIT_ANGLE`); después el control VTOL lo lleva a la vertical a la misma velocidad. Si vuelas deprisa, el avión sube mucho al levantar el morro: reduce antes la velocidad.
- Los cuatro parámetros están en Parámetros → Tailsitter. Durante las transiciones los sticks no mandan, como en ArduPilot.

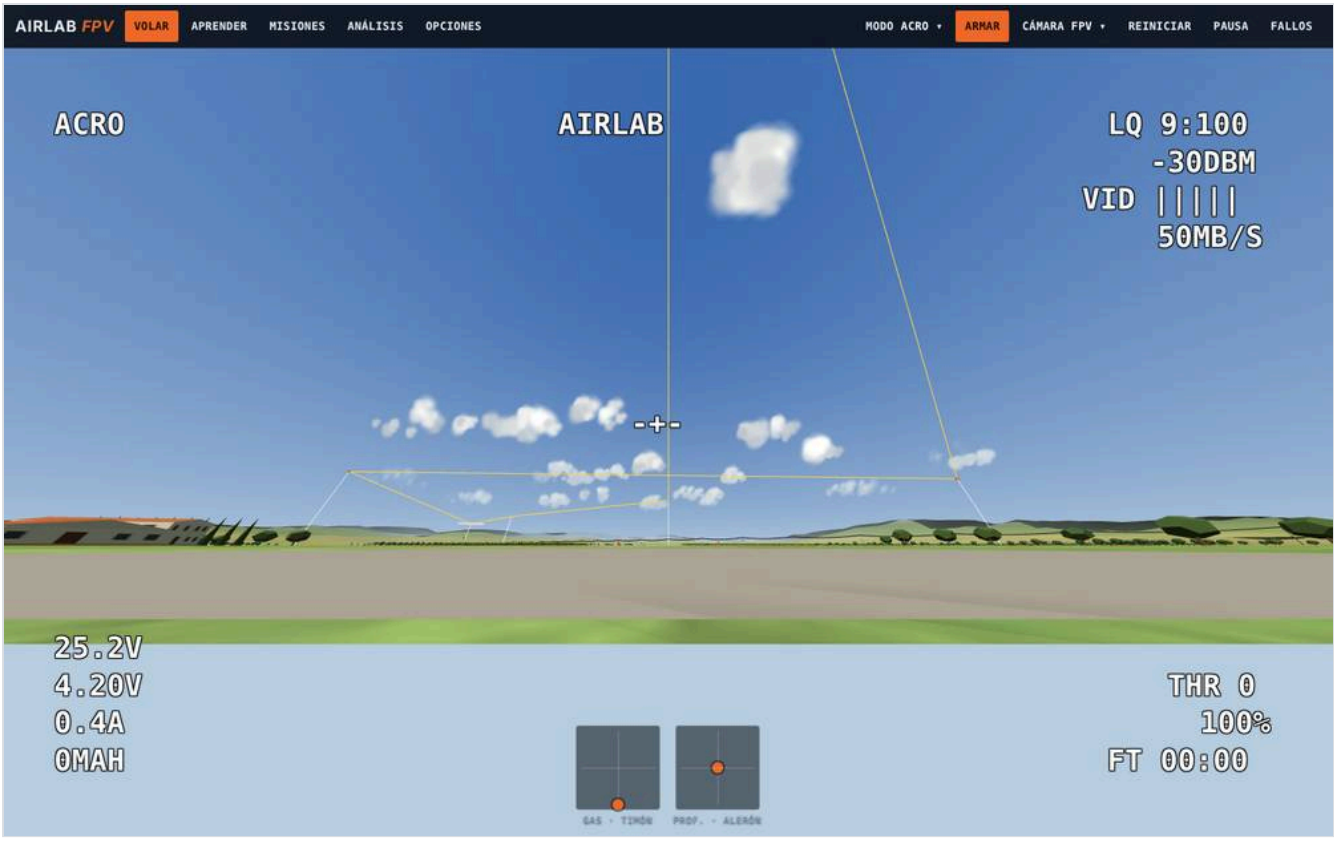
7 Los modos de vuelo de ArduPlane

Las teclas `1` a `0` seleccionan los diez primeros modos de la lista.

Modo	Tipo	Cómo responde
QSTABILIZE	Vertical	Estabilizado: los sticks mandan la inclinación (hasta `Q_ANGLE_MAX`). El gas es directo; tú controlas la altura. La curva del gas depende de `Q_THROTTLE_EXPO`.
QHOVER	Vertical	Como QSTABILIZE, pero con altura fija: gas al centro mantiene, arriba sube y abajo baja.
QLOITER	Vertical	Posición y altura fijas por GPS. Al soltar los sticks se queda quieto.
QLAND	Vertical	Aterrizaje vertical: baja a `Q_WP_SPEED_DN` y a `Q_LAND_FINAL_SPD` por debajo de `Q_LAND_FINAL_ALT`. Desarma al tocar tierra. Puedes recolocarlo con los sticks.
QRTL	Automático	Vuelve a casa (en avión si está lejos), pasa a VTOL al acercarse y aterriza en vertical.
FBWA	Avión	Estabilizado: el stick manda el ángulo de alabeo (hasta `ROLL_LIMIT_DEG`) y de cabeceo; al soltarlo se nivela. El gas es directo.
FBWB	Avión	Altura fija: la profundidad pide subir o bajar a `FBWB_CLIMB_RATE` y el gas la velocidad entre `AIRSPEED_MIN` y `AIRSPEED_MAX`.
CRUISE	Avión	Como FBWB, pero además mantiene el rumbo cuando sueltas el alerón.
ACRO	Avión	El stick manda la velocidad de giro (`ACRO_ROLL_RATE`, `ACRO_PITCH_RATE`) y no se nivela solo. Con `ACRO_LOCKING` mantiene la actitud al soltar.
MANUAL	Avión	Sin ayuda: los sticks mueven las superficies directamente (con el expo de `MAN_EXPO_*`).
LOITER	Automático	Círculos de radio `WP_LOITER_RAD` sobre el punto actual a altura fija.
CIRCLE	Automático	Círculos suaves. Es lo primero que hace el failsafe corto en los modos de avión.
RTL	Automático	Vuelta a casa en avión a `RTL_ALTITUDE` y círculos sobre ella. Con `Q_RTL_MODE` puede aterrizar en vertical.
AUTO	Automático	Sigue la misión del planificador (capítulo 17).
TAKEOFF	Automático	Solo en el ala fija: despegue automático tras el lanzamiento, a `TKOFF_LVL_PITCH` hasta `TKOFF_ALT`, y espera en círculo (capítulo 6).

> **Interruptor de modos**
> Al mover el interruptor se activa el modo de esa posición. Tras un failsafe, ArduPlane no vuelve solo al modo anterior: tienes que mover el interruptor para recuperar el control, igual que en el avión real.

8 Volar los drones FPV y el multirrotor



Mario 5 en cámara FPV con el OSD «Freestyle completo».

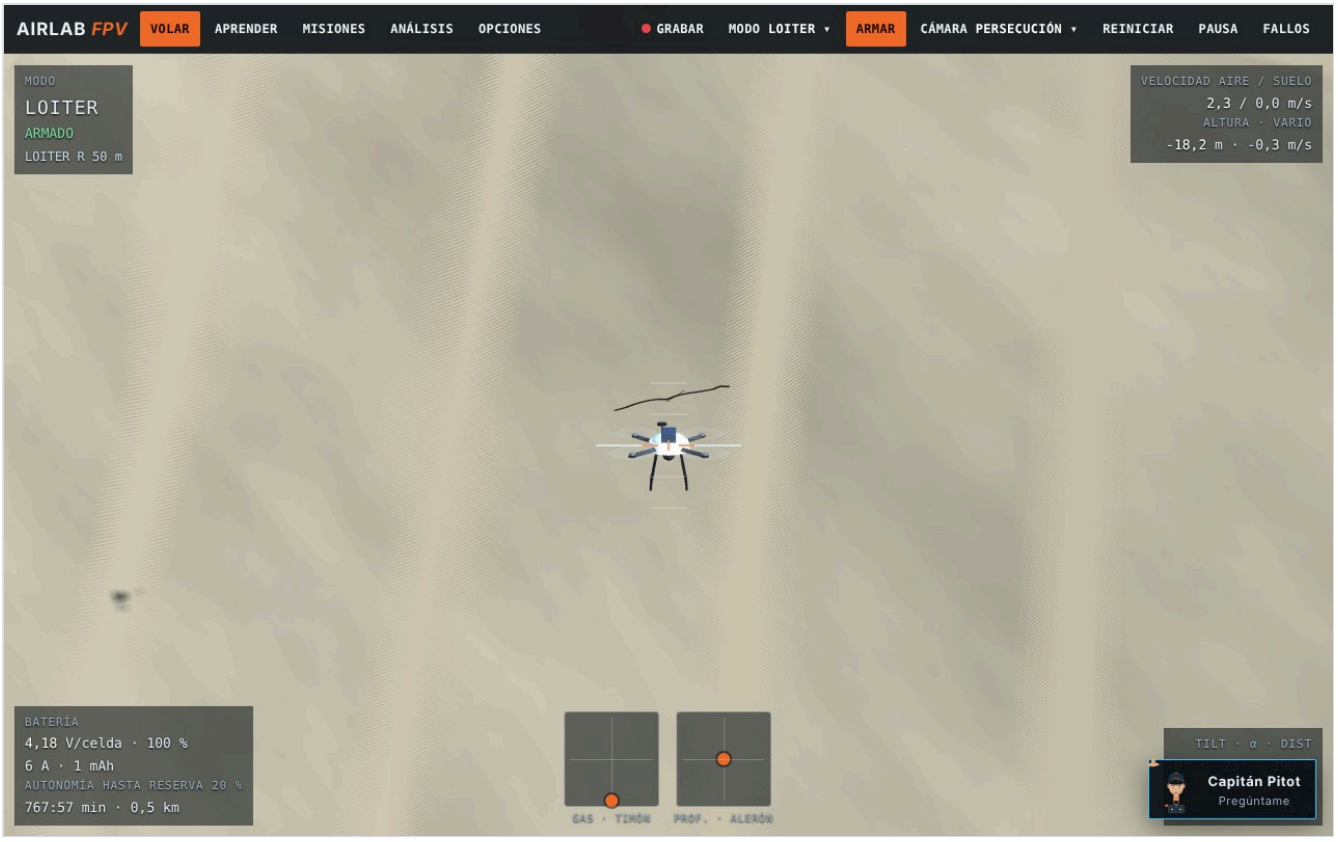
Al elegir un dron, la cámara pasa sola a FPV y los modos cambian a los de Betaflight:

Modo	Cómo responde
ACRO	Los sticks mandan velocidad de giro según tus rates; al soltar mantiene la actitud. Es el modo de freestyle y carreras.
ANGLE	Autonivelado: el stick manda el ángulo (hasta el ángulo máximo de los rates) y al soltarlo el dron se pone recto.
HORIZON	Autonivelado con el stick centrado y acrobacias con el stick a fondo.

- **Armar**: con el gas a cero. El dron no arma si el gas está subido.
- **Gas**: no hay altura fija. Cuanto más inclinas, más gas necesitas para no perder altura.
- **GPS Rescue** (Mario Fold 8): si se pierde la radio lejos de casa, sube, vuelve y aterriza solo. Cerca de casa, el failsafe para los motores.
- **Batería**: Mario 5 lleva 6S 1300 mAh LiPo; Mario Fold 8, 6S2P 8000 mAh Li-ion. El OSD y la voz avisan de batería baja.

> **Empieza en ANGLE**
> Si nunca has volado un dron FPV, empieza en ANGLE con rates suaves y pasa a ACRO cuando controles el gas.

8.1 El multirrotor de inspección (ArduCopter)



El multirrotor de inspección en LOITER delante del paramento de la presa: cuerpo con GPS, cardán bajo el morro y tren de aterrizaje.

Un cuadricóptero de trabajo genérico de unos 4 kg: hélices de 15", batería 6S de 16 000 mAh, GPS, cardán con cámara RGB y térmica, y tren de aterrizaje. Usa la misma física de cuadricóptero que los drones FPV; lo que cambia es el piloto automático, con los modos de ArduCopter. Al elegirlo, la cámara pasa a persecución. Los datos son estimados: no es un modelo comercial concreto.

Modo	Cómo responde
STABILIZE	Autonivelado, hasta 30° (ANGLE_MAX). El gas es directo: tú mantienes la altura.
ALT_HOLD	Autonivelado con altura fija. Gas en el centro: mantiene la altura; por encima o por debajo, sube o baja hasta 2,5 m/s (PILOT_SPEED_UP). Hay una zona muerta en el centro (THR_DZ).
LOITER	Posición y altura fijas con GPS, también con viento. Los sticks mandan la velocidad (hasta 6 m/s) y al soltarlos frena y se queda quieto. Es el modo de inspección y el que se pone al reiniciar.
FLOWHOLD	Posición fija **sin GPS**, con el sensor de flujo óptico que mira al suelo. Deriva algo con poca luz, poca textura (agua) o mucha altura. Para interiores y bajo puentes (8.2).
RTL	Sube a 15 m si está más bajo (RTL_ALT), vuelve a casa a 10 m/s (WPNAV_SPEED), espera 5 s (RTL_LOIT_TIME) y aterriza.
LAND	Aterriza donde está: baja a 1,5 m/s (WPNAV_SPEED_DN) y a 0,5 m/s por debajo de 10 m (LAND_SPEED, LAND_ALT_LOW). Desarma al tocar el suelo.
AUTO	La misión del planificador: despegue, puntos de paso a 10 m/s con el morro hacia el siguiente punto (WP_YAW_BEHAVIOR 2), disparo de cámara, RTL o aterrizaje. **Volar la misión** del planificador también vale para el multirrotor.

- **Armar**: con el gas abajo. En LOITER y ALT_HOLD, sube el gas por encima del centro para despegar y déjalo en el centro para quedarte quieto.
- **Guiñada**: el timón gira hasta 202,5°/s (PILOT_Y_RATE). Al soltarlo, mantiene el rumbo.
- **Desarme automático**: en tierra con el gas abajo, a los 10 s (DISARM_DELAY).
- **Failsafe de radio** (FS_THR_ENABLE 1): en tierra desarma; en vuelo, RTL. Sigue en RTL aunque vuelva la radio, hasta que cambies de modo.
- **Barrido de fotogrametría**: **Añadir barrido con disparo** pone un DO_CHANGE_SPEED si a 10 m/s las fotos salen movidas.
- **Autonomía**: con la carga del ejemplo, unos 40 min de vuelo hasta la reserva del 20 %.

Valores por defecto del código de ArduCopter: `ArduCopter/config.h`, `libraries/AC_WPNav/AC_WPNav.cpp` y `AC_Loiter.cpp`, `libraries/AC_AttitudeControl/AC_AttitudeControl.cpp`. LOIT_SPEED va a 6 m/s (el defecto es 12,5): configuración para inspección. ArduPilot · Copter flight modes.

8.2 Volar sin GPS: ALT_HOLD, FLOWHOLD y failsafe del EKF

Dentro de un hangar o de un depósito, o bajo el tablero de un puente, no hay GPS: el multirrotor no sabe dónde está.

- **FLOWHOLD** mantiene la posición con el sensor de flujo óptico que mira al suelo. Deriva algo más con poca luz, poca textura (agua) o mucha altura.
- LOITER, RTL y AUTO necesitan posición: sin GPS no se pueden elegir, y no arma en ellos («PreArm: necesita posición»).
- Si pierdes el GPS en vuelo en uno de esos modos, salta el **failsafe del EKF** y pasa a ALT_HOLD. Está configurado con `FS_EKF_ACTION 2`, habitual en trabajos bajo estructuras; el valor por defecto de ArduCopter es 1, aterrizar.

8.3 Dron cautivo de limpieza y dron de jaula

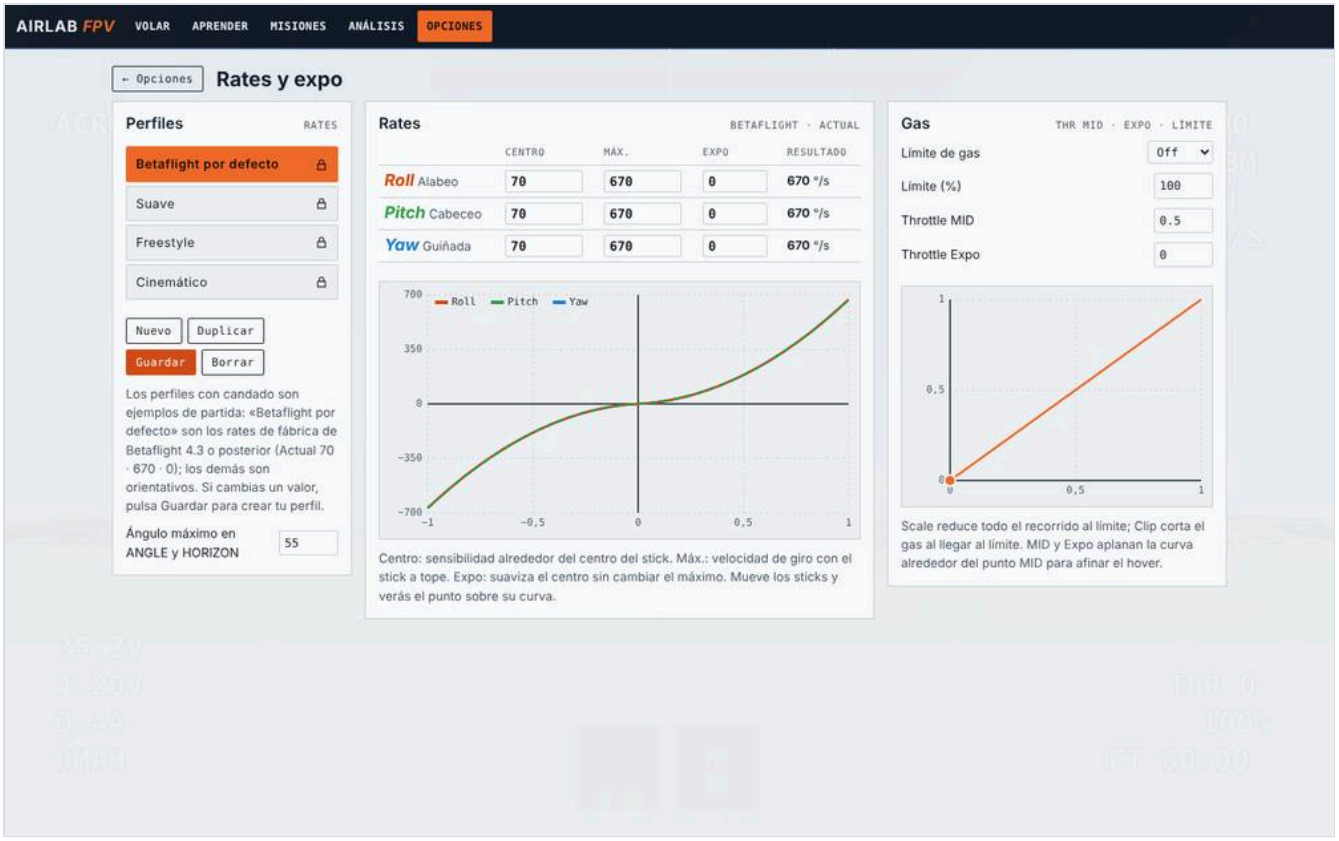
Aeronave	Qué es	Lo especial
Dron cautivo de limpieza	Multirrotor pesado genérico de unos 60 kg con hélices de 40" y una lanza de agua en el cardán.	Recibe corriente y agua por una manguera desde un camión con generador, bomba y depósito, así que no gasta batería. La manguera llena pesa 0,35 kg/m, el viento la arrastra y no puede alejarse más de 150 m del camión. Fuera de las misiones, el camión está junto a la plataforma.
Dron con jaula	Dron genérico de unos 2,4 kg dentro de una jaula de 52 cm, con focos.	Para espacios confinados: puede tocar las paredes sin caerse. Vuela sin GPS (ALT_HOLD o FLOWHOLD) y aguanta unos 11 minutos.

Los dos usan los modos de ArduCopter de 8.1 y sus datos son estimados.

9 Rates y expo

En Opciones › Rates y expo ajustas cómo responde la aeronave a tus sticks. La pantalla cambia según la aeronave elegida.

Drones: rates de Betaflight «Actual»

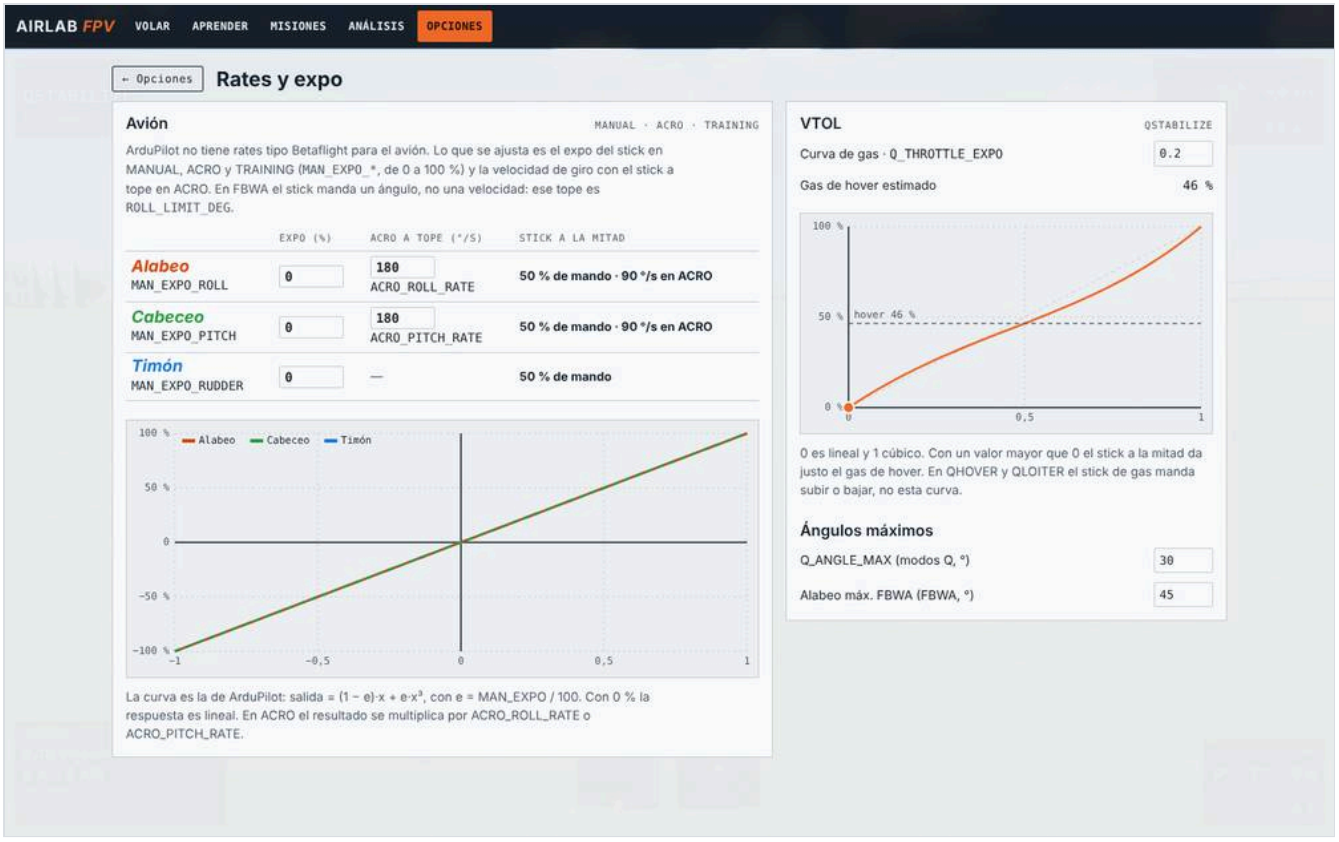


Rates del dron: perfiles, tabla por eje, curvas y curva de gas.

Ajuste	Significado
Centro	Sensibilidad alrededor del centro del stick, en °/s.
Máx.	Velocidad de giro con el stick a tope, en °/s. El resultado de la tabla es este valor.
Expo	Suaviza el centro sin cambiar el máximo (0 a 1).
Throttle MID / Expo	Aplanan la curva del gas alrededor del punto MID, para afinar el vuelo estacionario.
Límite de gas	Scale reduce todo el recorrido; Clip corta al llegar al límite.
Ángulo máximo	Inclinación máxima en ANGLE y HORIZON.

Los perfiles con candado son de partida: «Betaflight por defecto» (70 · 670 · 0) y tres ejemplos (Suave, Freestyle y Cinemático). Al cambiar un valor, **Guardar** crea tu propio perfil. Mueve los sticks y verás un punto recorriendo cada curva.

Avión: lo que ArduPilot permite ajustar

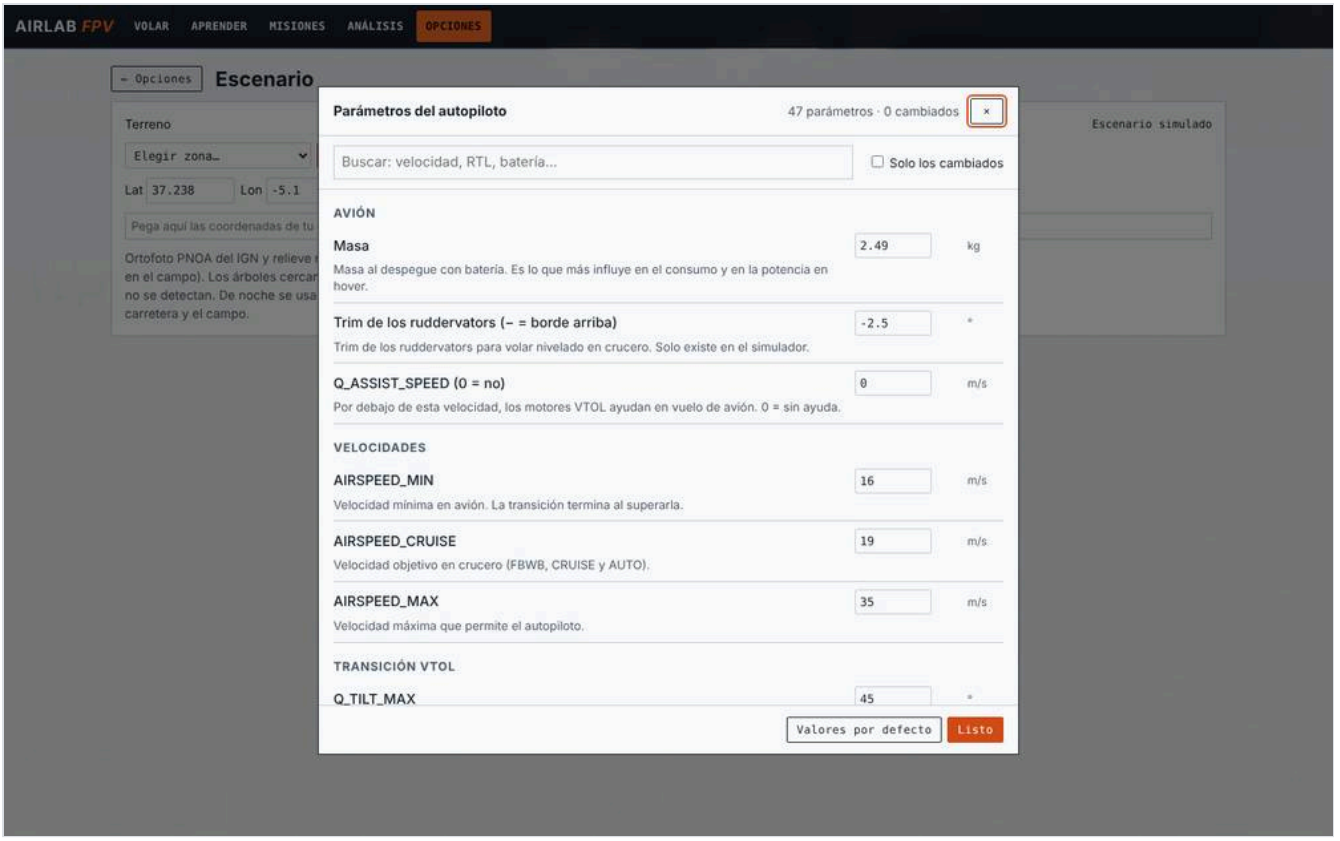


Rates del Stallion: expo de MANUAL y ACRO, velocidades de ACRO y curva de gas de QSTABILIZE.

- **MAN_EXPO_ROLL, _PITCH y _RUDDER** (0 a 100 %): expo de los sticks en MANUAL, ACRO y TRAINING. La curva es la de ArduPilot: salida = (1 − e)·x + e·x³, con e = MAN_EXPO / 100.
- **ACRO_ROLL_RATE y ACRO_PITCH_RATE** (°/s): velocidad de giro con el stick a tope en ACRO.
- **Q_THROTTLE_EXPO** (0 a 1, 0,2 por defecto): curva del gas en QSTABILIZE. Con más de 0, el stick a la mitad da justo el gas de hover.
- **Q_ANGLE_MAX** y **ROLL_LIMIT_DEG**: inclinación máxima en los modos Q y en FBWA.

10 Parámetros de ArduPilot

En Opciones › Aeronave › **Configurar parámetros** se abre la lista de parámetros que usa el simulador, agrupados (avión, velocidades, transición, hover, avión, MANUAL y ACRO, navegación, failsafe y batería), con una descripción de cada uno, un buscador y la opción de ver solo los que has cambiado.



El diálogo de parámetros.

Importar tu .param

Con **Importar .param de Mission Planner** cargas el archivo de parámetros de tu controladora (formato de Mission Planner o de QGroundControl). El simulador toma los que entiende, convierte las unidades antiguas (por ejemplo, centigrados de `LIM_ROLL_CD` o cm/s de `Q_WP_SPEED`) y te enseña qué ha cambiado. El resto (PID, sensores, salidas) no le afecta.

Parámetros de navegación, TECS y asistencia VTOL

Además de los básicos, el simulador usa estos parámetros de ArduPlane 4.7 con el mismo comportamiento que describe su documentación. Al importar un .param también reconoce los nombres antiguos entre paréntesis.

Parámetro	Por defecto	Qué hace en el simulador
`NAVL1_PERIOD`, `NAVL1_DAMPING`, `NAVL1_XTRACK_I`	17 s · 0,75 · 0,02	Control de ruta L1 (capítulo 17).

`TECS_TIME_CONST`	5 s	Rapidez con que el TECS corrige la altura en AUTO, CRUISE, FBWB, LOITER y RTL. Más bajo, más rápido pero más brusco.
`TECS_SPDWEIGHT`	1	0: el cabeceo manda la altura y el gas la velocidad. 2: el cabeceo manda la velocidad (planeadores). Sin sensor de velocidad se usa 0.
`STALL_PREVENTION`	1	Limita el alabeo según el factor de carga: por debajo de `AIRSPEED_MIN`, a 25°; por encima, al ángulo que aguanta el ala a esa velocidad (nunca menos de 25° ni de `LEVEL_ROLL_LIMIT`). En los modos automáticos sube además la velocidad mínima en los virajes.
`MIN_GROUNDSPEED` (`MIN_GNDSPD_CM`)	0 (no)	Velocidad mínima respecto al suelo en los modos con gas automático (menos CIRCLE): con viento de cara sube la velocidad objetivo, como mucho hasta `AIRSPEED_MAX`.
`THR_MIN`, `THR_MAX`	0 % · 100 %	Límites del gas del motor de avance en todos los modos menos MANUAL. En FBWA el stick se reparte entre los dos.
`TRIM_THROTTLE`, `ARSPD_USE`	45 % · 1	Con `ARSPD_USE` = 0 el autopiloto no usa el sensor de velocidad y el TECS manda el gas a partir de `TRIM_THROTTLE` y del cabeceo, como ArduPlane sin Pitot. Si `TRIM_THROTTLE` no es el gas real de crucero, el avión va más rápido o más lento de lo previsto. Con sensor, el gas sale del modelo de empuje del simulador.
`Q_ASSIST_ANGLE`, `Q_ASSIST_ALT`, `Q_ASSIST_DELAY`	30° · 0 (no) · 0,5 s	Ayuda de los motores VTOL en los modos de avión (menos MANUAL y ACRO): por velocidad (`Q_ASSIST_SPEED`, al momento), por ángulo (la actitud se sale de los límites en más de 5° y el error supera el ángulo) o por altura sobre casa. Ángulo y altura esperan `Q_ASSIST_DELAY` y la ayuda se quita al doble de ese tiempo. Solo funcionan si `Q_ASSIST_SPEED` es positivo.
`Q_TRANS_FAIL`, `Q_TRANS_FAIL_ACT`	0 (sin límite) · 0	Si la transición a avión pasa más de `Q_TRANS_FAIL` segundos esperando `AIRSPEED_MIN`: −1 solo avisa, 0 pasa a QLAND, 1 a QRTL. Para practicarlo, pon 5 s y transiciona con poco gas.
`Q_PILOT_SPD_UP`, `Q_PILOT_SPD_DN` (`Q_VELZ_MAX`, `Q_VELZ_MAX_DN`)	2,5 m/s · 0	Subida y bajada con el gas en QHOVER y QLOITER. Con `Q_PILOT_SPD_DN` = 0 baja a la misma velocidad que sube.
`Q_LOIT_SPEED_MS` (`Q_LOIT_SPEED`)	5 m/s	Velocidad horizontal con los sticks a tope en QLOITER.
`RTL_AUTOLAND`	0	1: al llegar a casa en RTL (a menos de 10 m de la altura de RTL) sigue la misión desde el `DO_LAND_START` más cercano. 2: salta directamente. Sin `DO_LAND_START` se queda en RTL. Con un `DO_LAND_START` en la misión y `RTL_AUTOLAND` = 0, ArduPlane no deja armar, y el simulador tampoco.

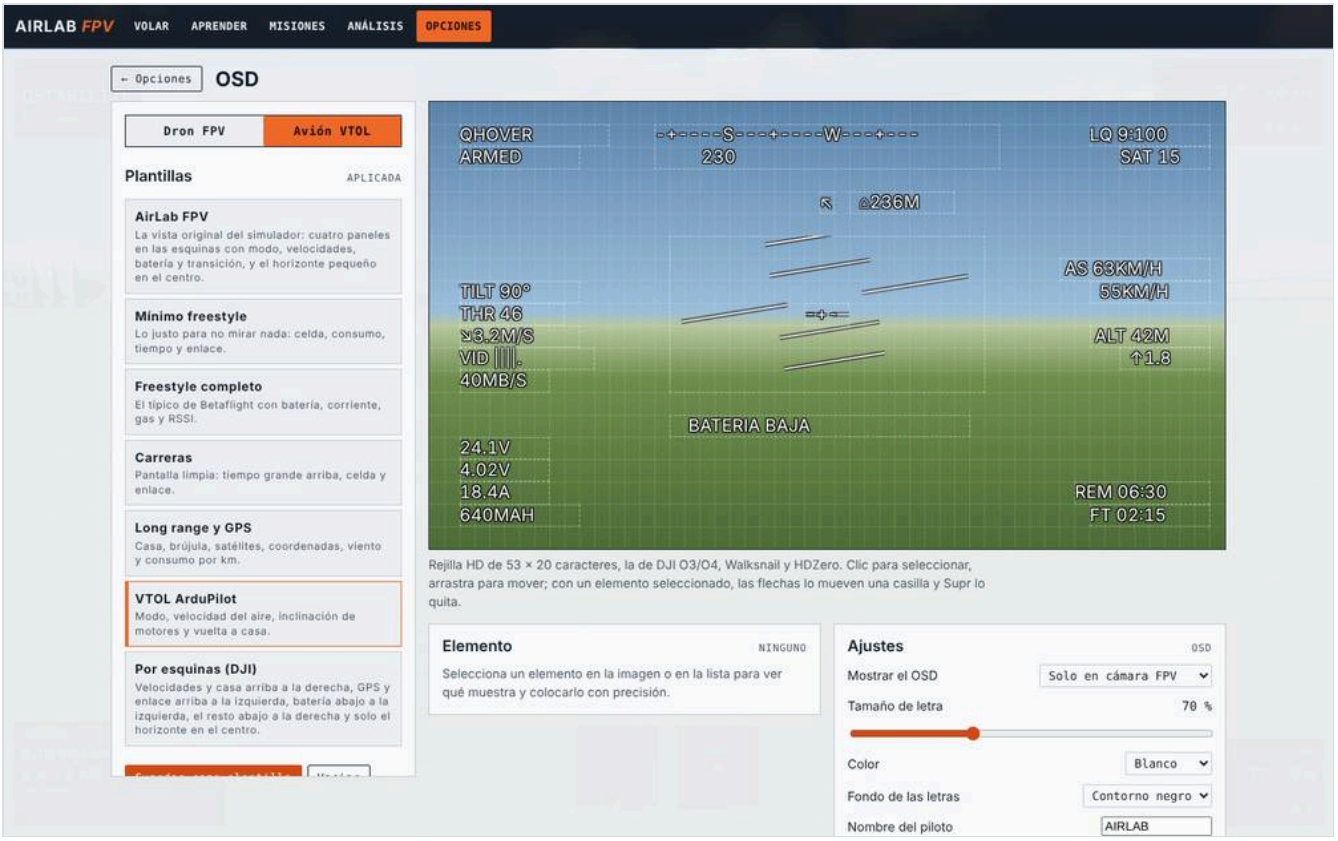
Exportar

Exportar .param descarga los parámetros del simulador en unidades de ArduPilot para compararlos con los de tu avión.

> **Ojo**
>
> Probar parámetros aquí te ayuda a entender su efecto, pero no los copies a tu avión real sin revisarlos: el modelo es aproximado.

11 El OSD

El OSD son los datos que se superponen a la imagen de la cámara. En Opciones › OSD lo diseñas como en el configurador de Betaflight, sobre la rejilla HD de 53 × 20 caracteres que usan DJI O3/O4, Walksnail y HDZero. El dron y el avión tienen cada uno su OSD.



Editor de OSD: plantillas y elementos a la izquierda, vista previa en el centro.

Cómo se edita

- **Añadir**: arrastra un elemento de la lista a la imagen, o actívalo con su interruptor.
- **Mover**: arrástralo, o selecciónalo y usa las flechas (una casilla por pulsación).
- **Quitar**: selecciónalo y pulsa `Supr`, o «Quitar del OSD».
- **Posición exacta**: al seleccionarlo, escribe la columna y la fila.

Plantillas

Plantilla	Contenido
AirLab FPV	La vista original del simulador: cuatro paneles en las esquinas y horizonte pequeño.
Mínimo freestyle	Celda, consumo, tiempo, enlace y modo.
Freestyle completo	La típica de Betaflight, con batería, corriente, gas, RSSI y señal de vídeo. Por defecto en los drones.
Carreras	Tiempo grande arriba, celda y enlace.

Long range y GPS	Casa, brújula, satélites, coordenadas, viento, consumo por km y horizonte.
VTOL ArduPilot	Modo, armado, velocidad del aire, inclinación de motores y vuelta a casa. Por defecto en el avión.
Por esquinas (DJI)	Velocidades y casa arriba a la derecha, GPS y enlace arriba a la izquierda, batería abajo a la izquierda, el resto abajo a la derecha y solo el horizonte en el centro.

Puedes partir de cualquiera, modificarla y guardarla con tu nombre.

Elementos disponibles

Grupo	Elementos
Batería	Voltaje por celda, voltaje total, batería restante, corriente, consumo (mAh), potencia, consumo por km, autonomía
Vuelo	Modo, armado, tiempo de vuelo, altitud, variómetro, velocidad respecto al suelo, velocidad del aire, gas, ángulos, inclinación de motores
Navegación	Distancia a casa, dirección a casa, brújula, rumbo, satélites, coordenadas GPS, distancia recorrida, viento
Radio y vídeo	Calidad de enlace (LQ), RSSI, señal de vídeo, tasa de bits, latencia de vídeo
Centro	Horizonte artificial, cruz central, avisos, nombre del piloto

Ajustes

Cuándo se muestra (solo en cámara FPV, en todas o nunca), tamaño de letra, color (blanco, verde, amarillo o cian), fondo de las letras (contorno, caja o ninguno), nombre del piloto y dígito de modo RF de la calidad de enlace.

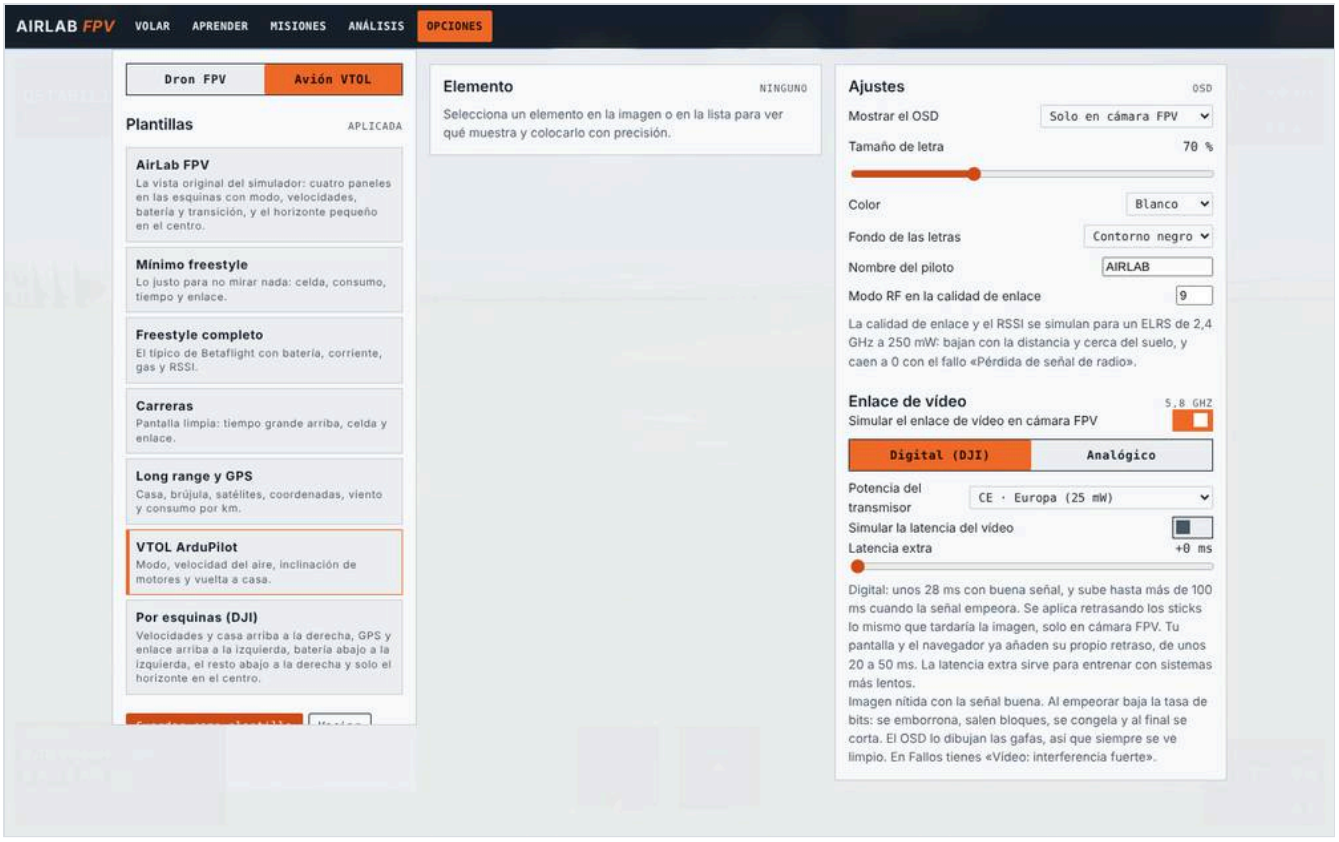
12 Enlace de radio y de vídeo

Enlace de radio: LQ y RSSI

La emisora envía cientos de paquetes por segundo. La **calidad de enlace (LQ)** es el porcentaje que llega bien; en `LQ 9:100`, el 9 es el modo RF y el 100 la calidad. El **RSSI** es la potencia recibida en dBm (−50 cerca, −90 o −100 lejos). El simulador calcula ambos para un ELRS de 2,4 GHz a 250 mW: bajan con la distancia y al volar bajo y lejos, y caen a 0 con el fallo «Pérdida de señal de radio», que dispara el failsafe.

Enlace de vídeo

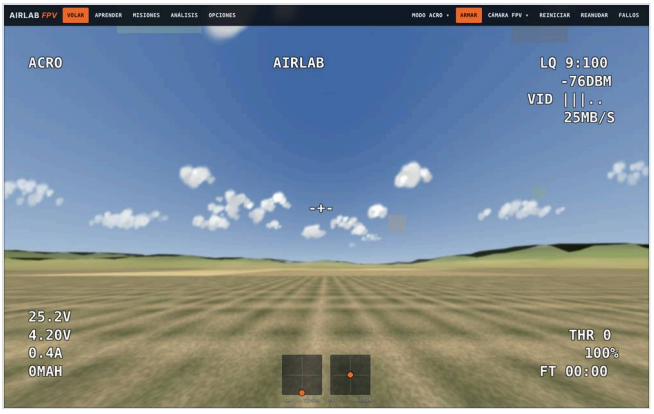
En Opciones › OSD › Enlace de vídeo eliges entre **Digital (DJI)** y **Analógico**. Solo afecta a la cámara FPV.



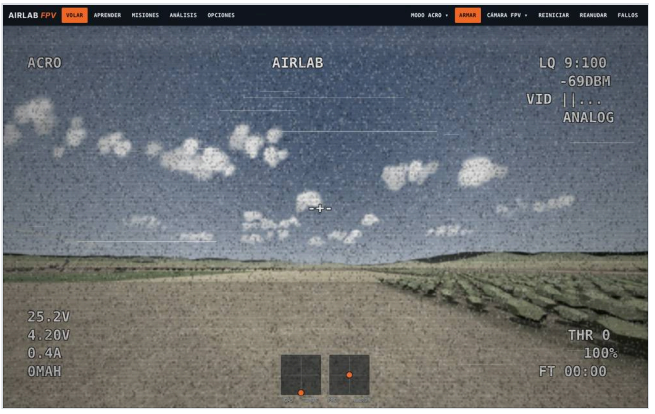
Ajustes del enlace de vídeo y de la latencia.

	Digital (DJI)	Analógico
Con buena señal	Imagen nítida en HD	Resolución PAL, algo blanda, con líneas y grano
Al bajar la señal	Baja la tasa de bits (50 → 4 Mb/s): se emborrona, salen bloques y se congela a ratos	Más nieve, destellos y una banda que rueda; pierde el color y la sincronía
Sin señal	Se congela y pasa a negro con «SEÑAL DE VÍDEO PERDIDA»	Nunca se congela: queda nieve, y aún se puede volar
OSD	Lo dibujan las gafas: siempre limpio	Va dentro de la señal: recibe el ruido

Potencias	CE 25 mW · FCC 500 mW	25 mW (límite legal en Europa) · 200 · 400 · 800 mW



Digital con poca señal: bloques y tasa de bits baja.



Analógico con señal media: nieve y colores apagados.

Latencia

Con «Simular la latencia del vídeo», los sticks se retrasan lo mismo que tardaría la imagen: unos 5 ms en analógico y unos 28 ms en digital, que suben hasta más de 100 ms cuando la señal empeora. La «latencia extra» (0 a 150 ms) sirve para entrenar con sistemas más lentos. Tu pantalla y el navegador ya añaden de 20 a 50 ms por sí mismos.

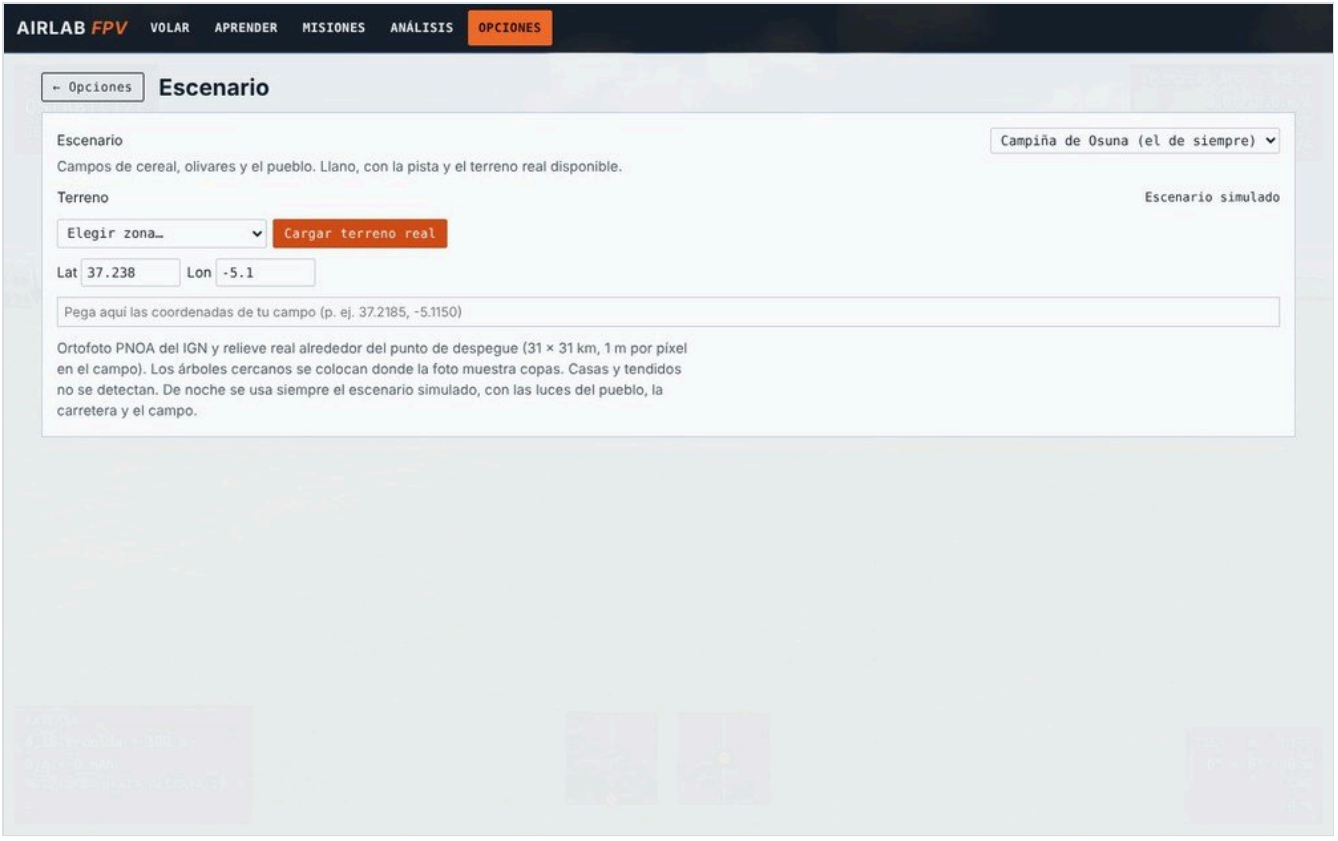
13 Cámaras

Cámara	Descripción
Piloto	Desde la posición del piloto, junto a la plataforma, siguiendo la aeronave con la mirada. Es como volar en línea de vista.
Persecución	Detrás de la aeronave, a pocos metros. Útil para aprender la transición.
FPV	Desde la cámara de a bordo, como con gafas. Es la única donde actúan el OSD de rejilla y el enlace de vídeo.
Libre	Arrastra con el ratón para orbitar alrededor de la aeronave.

14 Escenario, hora y meteorología

Escenario

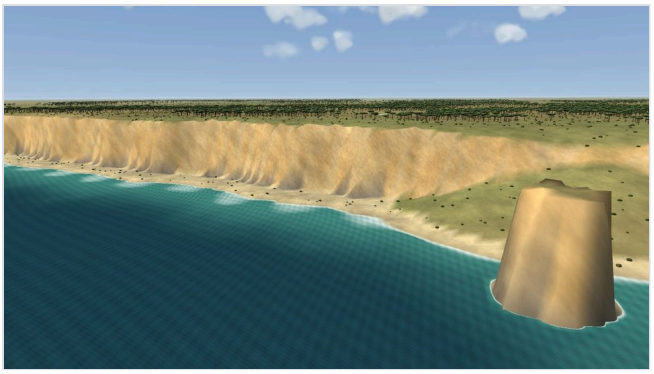
Hay seis escenarios. Se eligen en el desplegable bajo **Vuelo libre** del menú de inicio o en **Opciones › Escenario**, y el simulador recuerda el último. Al cambiar de escenario el avión vuelve a la plataforma de despegue, que siempre está en el mismo sitio, a cota 0 y en llano.



Opciones › Escenario: el selector de escenario con su descripción y, debajo, el terreno real.

Escenario	Cómo es	Para qué	Viento que pone · pista
Campiña de Osuna	El de siempre: cereal, olivares, el pueblo, tendidos. Llano.	Aprender, lecciones, retos y misiones. El único con terreno real y con la parcela de teledetección.	El tuyo · sí
Acantilado en la costa	Meseta con pinar que acaba en un acantilado de arenisca de unos 80 m sobre el mar, al sur. Calas con playa y farallones mar adentro.	Vuelo de ladera con el avión (viento del mar) y picados hacia el agua con el dron.	Sur, 7 m/s · sí
Sierra y valle	Despegue en un collado. Al norte, la cumbre, unos 380 m más arriba; al sur, una ladera de unos 500 m que baja al valle y su río.	Subir y bajar en picado pegado a la ladera (*mountain surfing*). Con viento del sur, la ladera del despegue da ascendencia.	Sur, 6 m/s · no (despegue vertical o a mano)

Cañón del río	Meseta con encinas cortada por un desfiladero de caliza de 250 m de hondo y entre 30 y 150 m de ancho, con el río al fondo y una pasarela colgada a media altura.	Vuelo de precisión entre paredes y bajo la pasarela.	Oeste, 3 m/s · sí
Cantera	Foso de caliza de unos 380 × 260 m y 84 m de hondo, en siete bancos escalonados, con una charca al fondo, escombreras y camiones.	Picados al foso y vuelo entre bancos.	Noroeste, 4 m/s · sí
Presa y embalse	Valle cerrado por una presa de hormigón en arco de 95 m de alto: aguas arriba, el embalse; aguas abajo, el valle con el río.	Pasar rozando la coronación y picar por el muro (*dam dive*).	Norte, 3 m/s · sí



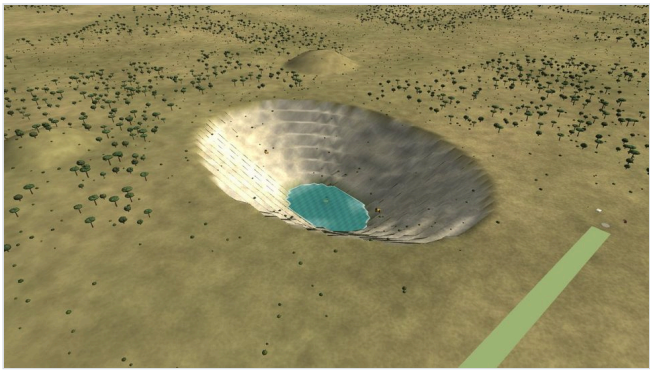
Acantilado en la costa.



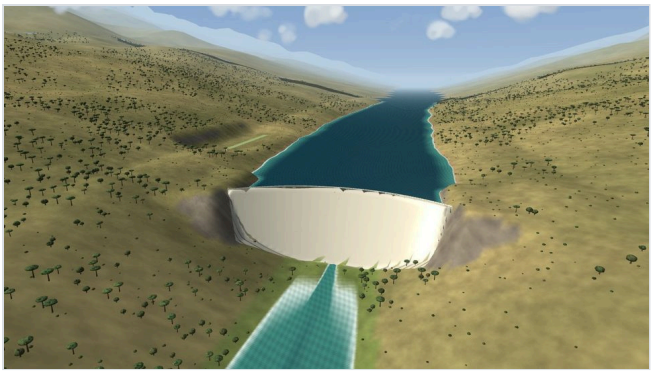
Sierra y valle: la ladera y el río.



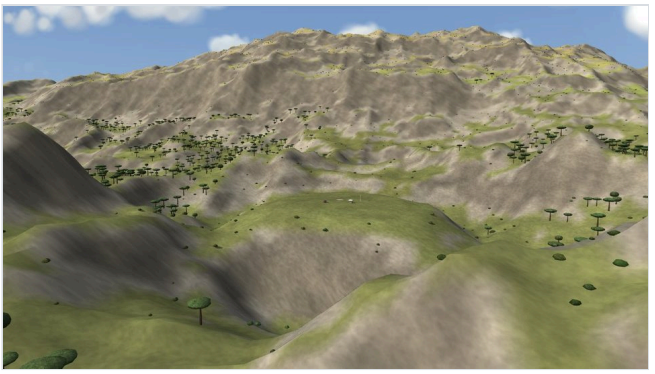
Cañón del río.



Cantera.



Presa y embalse.



Sierra: el collado de despegue y la cumbre.

Qué cambia al volar en ellos

- **El relieve es suelo de verdad**: la física usa el mismo relieve que se dibuja. Chocas contra laderas, paredes, el muro de la presa y el agua. Los árboles y la pasarela del cañón también son obstáculos.
- **Ascendencia de ladera**: con viento, el aire que choca con una ladera sube (y baja detrás de la cresta, con turbulencia). Cuanto más cerca de la ladera y del lado del viento, más sube; se apaga con la altura. Al elegir el escenario se pone el viento que da ascendencia en su ladera principal; puedes cambiarlo en Opciones › Hora y meteorología.
- **Planificar**: el planificador muestra el mapa del escenario. Con los escenarios de relieve, ten en cuenta la altura del terreno al poner las altitudes de los puntos.
- **Terreno real**: si cargas el terreno real de tu campo, el simulador vuelve a la campiña.

Terreno real de tu campo

En Opciones › Escenario también puedes cargar el **terreno real** de tu campo: ortofoto PNOA del IGN y relieve real en 31 × 31 km alrededor del punto de despegue. Elige una zona predefinida, busca cualquier lugar del mundo o escribe o pega las coordenadas de tu campo. La ortofoto es la del PNOA en España y la de fuentes abiertas en Francia, Suiza, Países Bajos y EE. UU.; en el resto del mundo, relieve real con textura generada (capítulo 34).

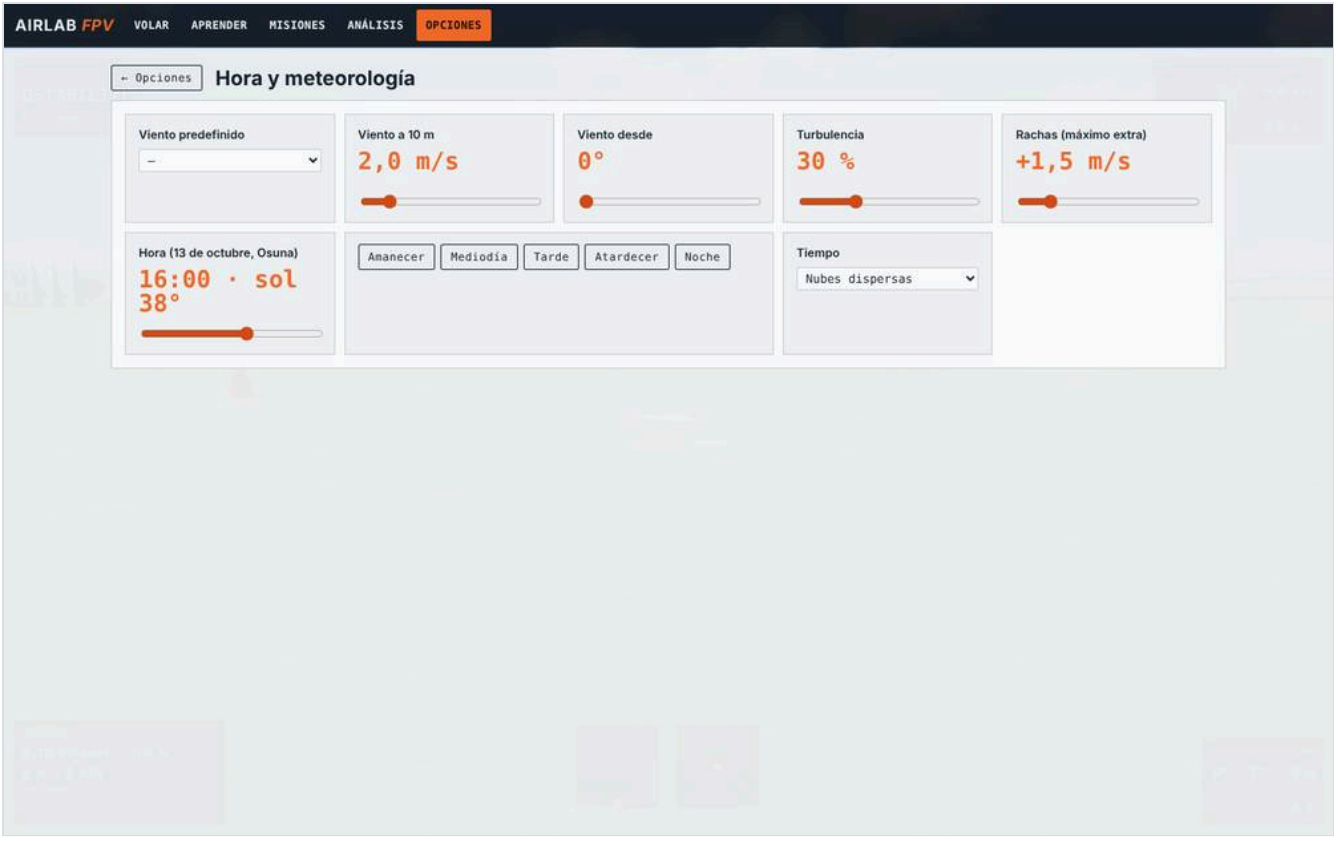
De noche. Por defecto, de noche se vuela sobre el escenario simulado, que tiene las luces del pueblo, de la pista y de los coches (la ortofoto es una foto de día y no tiene luces); el terreno real vuelve al amanecer. Si marcas **Mantener el terreno real de noche**, el relieve y la ortofoto siguen de noche, oscurecidos por la luna y sin las luces del pueblo simulado. El planificador enseña siempre la ortofoto de la zona si está descargada; si de noche se vuela sobre el escenario simulado, lo avisa, porque entonces el perfil del terreno sale plano.

Más detalle cerca de la aeronave. El terreno real carga la ortofoto en tres anillos alrededor de casa: el de detalle llega a unos 700 m con cerca de 1 m por píxel, el del entorno a unos 3 km y el del horizonte a unos 15 km. Con **Ortofoto de alta resolución alrededor de la aeronave** se le ponen encima dos parches que siguen a la aeronave. El primero cubre 1,2 km con el nivel 18 de la ortofoto (≈0,5 m por píxel). El segundo cubre 480 m con el nivel 19 (≈0,25 m por píxel), solo por debajo de 300 m sobre el suelo. Se vuelven a cargar al alejarte del centro. Usa más memoria de la tarjeta gráfica y más descargas, y se desactiva con los gráficos ligeros. Las teselas llegan del servidor de la ortofoto (en España, el PNOA del IGN) directamente al navegador.

Edificios en 3D. Con **Edificios en 3D** se levantan los edificios de OpenStreetMap que hay hasta 1,5 km de casa. La planta es la real. La altura sale de la etiqueta *height* o del número de plantas por 3 m, y si no hay

ninguna, de una altura típica de su tipo. El tejado lleva la ortofoto y las fachadas, ventanas por planta; las naves y almacenes van sin ventanas. En España buena parte de los edificios de OpenStreetMap vienen del Catastro. Se descargan una vez por sitio (Overpass API) y se guardan en el navegador. Chocar con un edificio es un choque, como con los árboles. No cambian la altura sobre el terreno que usa la misión: ArduPilot, con TERRAIN, tampoco conoce los edificios. Edificios © colaboradores de OpenStreetMap (ODbL).

Hora y meteorología



Opciones › Hora y meteorología.

- **Viento**: viento predefinido (calma, brisa, moderado, racheado, fuerte) o ajuste fino de velocidad a 10 m, dirección de procedencia, turbulencia y rachas. El viento aumenta con la altura y hay estela detrás de los obstáculos.
- **Hora**: del amanecer a la noche. Con el sol bajo el horizonte se encienden las luces del avión, del campo y de los pueblos. La tecla `N` salta entre las 14:00 y las 23:00.
- **Tiempo**: despejado, nubes dispersas, nublado, niebla o lluvia.

15 Fallos simulados y failsafes

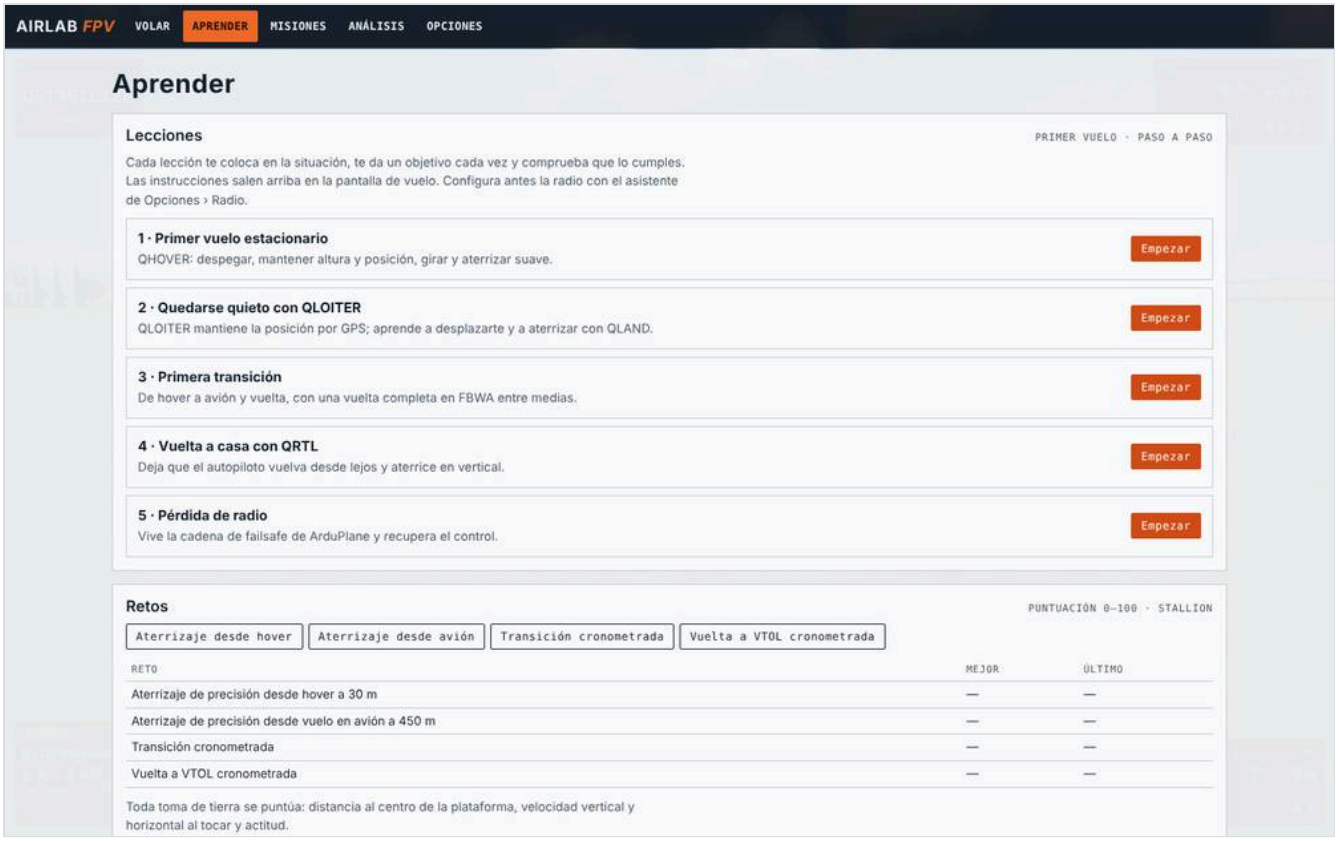
Fallo	Qué practicar
Motor delantero izquierdo, derecho o trasero parado	Reacción ante la pérdida de un motor en hover: pasa a avión si tienes velocidad o aterriza cuanto antes.
Servo de tilt izquierdo o derecho atascado	Asimetría en la transición; vuelta a VTOL controlada.
Pérdida de señal de radio	La cadena de failsafe completa (ver abajo).
Celda dañada	Más resistencia interna y 40 % menos de capacidad: la tensión cae antes.
Sensor de velocidad a cero o congelado	Pitot tapado o averiado: vuela por actitud y gas sin fiarte de la velocidad.
Vídeo: interferencia fuerte	−18 dB en el enlace de vídeo: vuelve a casa con mala imagen.
GPS: sin posición	Como el EKF failsafe de ArduPlane: en QLOITER, QRTL o QLAND pasa a QHOVER (tienes alabeo y cabeceo para volver); en la parte VTOL de una misión AUTO, a QLAND; en los modos de avión no cambia nada. Mientras dure no deja entrar en los modos que necesitan posición. En un multirrotor ArduCopter aterriza (LAND) y en Betaflight el GPS Rescue no puede volver. (ArduPilot · EKF Failsafe)

Fallo sorpresa activa uno al azar en menos de 60 segundos, y **Reparar todo** los quita.

La cadena de failsafe de ArduPlane

1. A los 1,5 s sin radio salta el **failsafe corto**: QLAND desde los modos Q y CIRCLE desde FBWA, FBWB, ACRO y MANUAL (según `FS_SHORT_ACTN`).
2. A los `FS_LONG_TIMEOUT` segundos salta el **failsafe largo**: RTL (según `FS_LONG_ACTN`).
3. AUTO sigue con la misión.
4. Cuando la radio vuelve, el avión sigue en el modo del failsafe hasta que muevas el interruptor de modos.

16 Aprender: lecciones y retos



Lecciones y retos.

Cada lección te coloca en la situación, te da un objetivo cada vez en la parte superior de la pantalla y comprueba que lo cumples. Con la voz activada, el instructor lee cada paso. Son del Stallion VTOL.

1 · Primer vuelo estacionario

QHOVER, armar, despegar a 10 m, mantenerte entre 8 y 12 m cerca de la plataforma durante 15 s, girar 90° con el timón, aterrizar a menos de 1 m/s y desarmar.

2 · Quedarse quieto con QLOITER

QLOITER, subir a 15 m, soltar los sticks y mantenerte a menos de 4 m del punto durante 20 s, desplazarte 30 m y parar, y aterrizar con QLAND.

3 · Primera transición

Desde QHOVER a 30 m, pasar a FBWA con gas por encima de la mitad, volar recto y nivelado 20 s entre 25 y 80 m, dar una vuelta completa sin bajar de 20 m, volver a QHOVER y aterrizar en la plataforma.

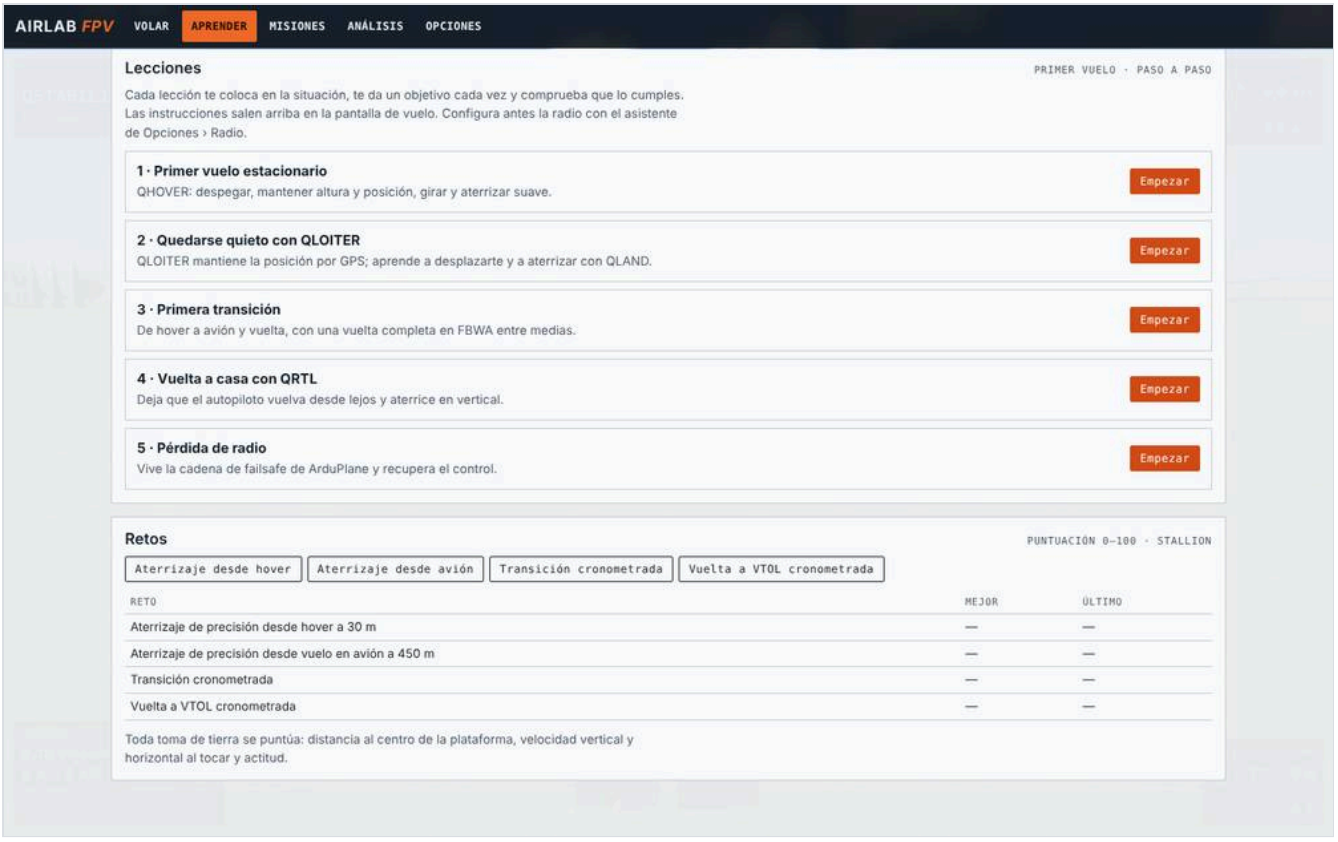
4 · Vuelta a casa con QRTL

A 450 m de casa en avión, poner QRTL y dejar que vuelva, pase a VTOL y aterrice en vertical.

5 · Pérdida de radio

Volando en FBWA se corta la radio: soltar mandos, ver el failsafe corto y el largo, recuperar el control moviendo el interruptor de modos y aterrizar.

Retos



Retos con puntuación.

Reto	Qué puntúa
Aterrizaje desde hover (30 m)	Distancia al centro de la plataforma y velocidades vertical y horizontal al tocar suelo.
Aterrizaje desde avión (450 m)	Igual que el anterior, empezando en vuelo de avión lejos de casa.
Transición cronometrada	Tiempo hasta completar la transición (resta a partir de 8 s), altura perdida y alabeo máximo por encima de 10°.
Vuelta a VTOL cronometrada	Tiempo hasta quedar parado en hover (resta a partir de 10 s), distancia recorrida por encima de 80 m y altura perdida.

La puntuación va de 0 a 100; un impacto vale 0. Se guarda tu mejor marca de cada reto.

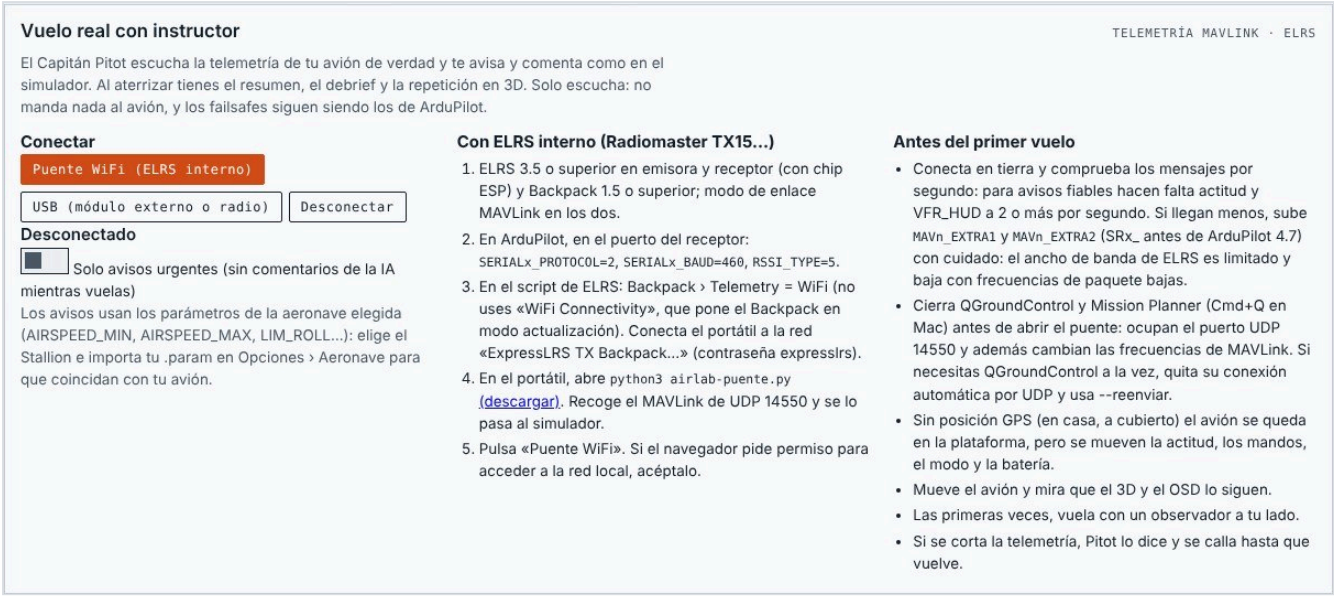
Vuelo real con instructor

El panel **Vuelo real con instructor** (Aprender) conecta el simulador a la telemetría MAVLink de tu avión de verdad. Mientras vuelas en el campo, el Capitán Pitot te avisa y te comenta igual que en el simulador, el 3D y el OSD siguen al avión, y la caja negra graba el vuelo: al aterrizar tienes el resumen, el debrief, las preguntas al instructor y la repetición en 3D. Solo escucha: no manda nada al avión, y los failsafes siguen siendo los de ArduPilot.

Conexión	Cuándo	Cómo

Puente WiFi	Módulo ELRS interno de la emisora (por ejemplo, Radiomaster TX15)	El Backpack de ELRS manda el MAVLink por WiFi en UDP 14550. Un navegador no puede abrir UDP, así que lo recoge **AIRLAB Conector**, un programa del ordenador que se instala una vez y se abre con doble clic (capítulo 27). En el script de ELRS, pon **Backpack › Telemetry** en WiFi (no uses «WiFi Connectivity»), conecta el portátil a la red «ExpressLRS TX Backpack...» (contraseña `expresslrs`), abre el conector y pulsa **Puente WiFi**; si el navegador pide permiso para acceder a la red local, acéptalo. **Conectar** te dice en directo qué falta.
USB	Módulo ELRS externo con USB o radio de telemetría	Conéctalo al portátil y pulsa **USB**: Chrome o Edge abren el puerto a 460 800 baudios (Web Serial). No hace falta instalar nada.

Para ELRS en modo MAVLink hacen falta la versión 3.5 o superior en emisora y receptor (con chip ESP) y la 1.5 o superior en el Backpack, con **Link Mode** en MAVLink. En ArduPilot, en el puerto del receptor: `SERIALx_PROTOCOL` = 2, `SERIALx_BAUD` = 460, `RSSI_TYPE` = 5 y `MAV_GCS_SYSID` = 255. El capítulo 26 explica todo el proceso paso a paso: actualizar el receptor, configurar emisora, Backpack y ArduPilot, el puente en el Mac y los problemas que pueden aparecer.

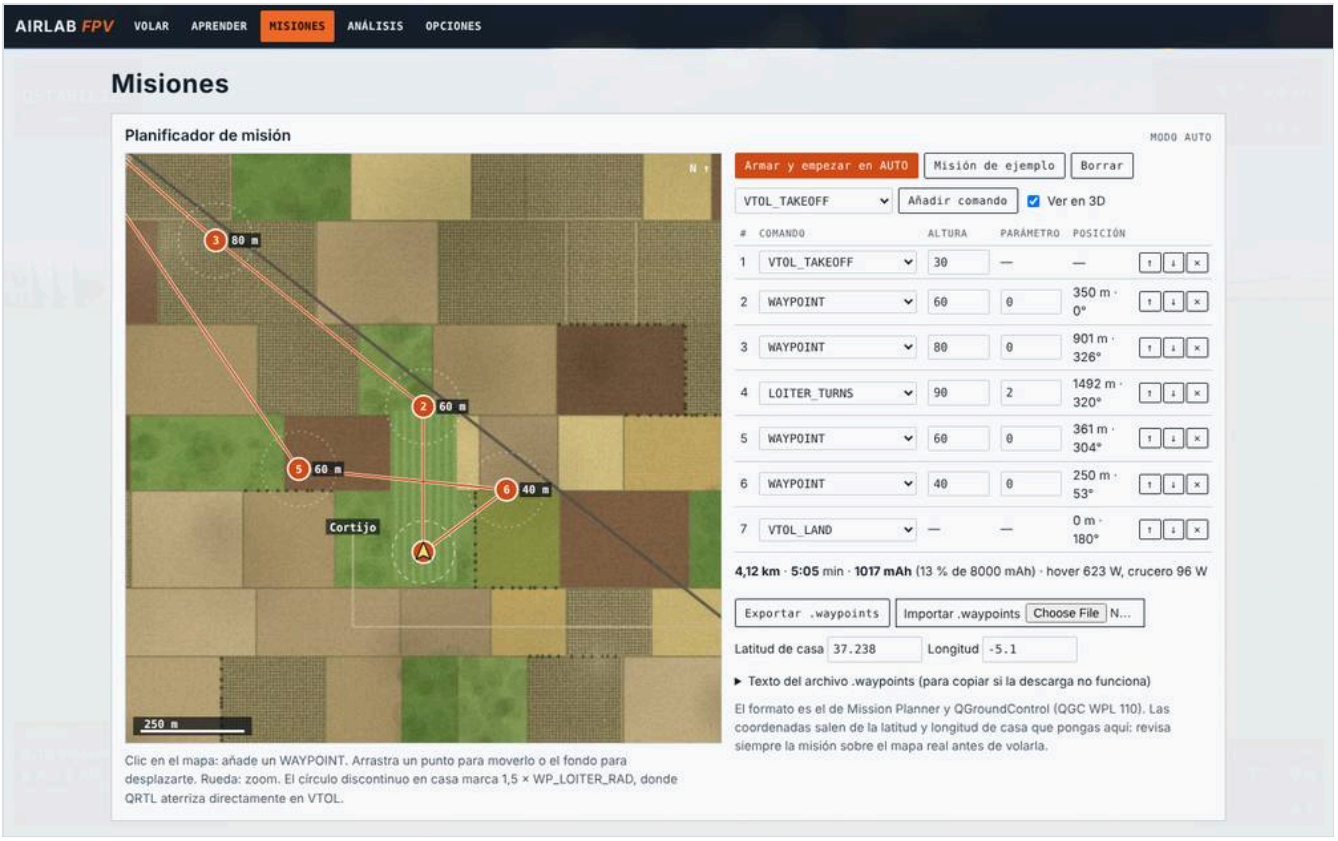


Conectar › Vuelo real con instructor.

- **Antes de volar**, conecta en tierra y mira los mensajes por segundo del panel: para avisos fiables hacen falta la actitud y VFR_HUD a 2 o más por segundo (`MAVn_EXTRA1` y `MAVn_EXTRA2` en ArduPilot 4.7; `SRx_` en versiones anteriores). El ancho de banda de ELRS es limitado y baja con frecuencias de paquete bajas.
- **Cierra QGroundControl y Mission Planner** antes de abrir el conector (`Cmd`+`Q` en Mac): ocupan el puerto UDP 14550 y además cambian las frecuencias de MAVLink. Si necesitas QGroundControl a la vez, quita su conexión automática por UDP y abre el conector desde el Terminal con `python3 ~/AIRLAB/airlab-conector.py --reenviar 14560`.
- **Sin posición GPS** (en casa, a cubierto) el avión se queda en la plataforma, pero se mueven la actitud, los mandos, el modo y la batería. Con fijo de GPS, el despegue se toma como casa.
- Con el portátil en el WiFi del Backpack no hay internet para la IA: comparte los datos del móvil por USB (capítulo 26).

- Los avisos usan los parámetros de la aeronave elegida (`AIRSPEED_MIN`, `AIRSPEED_MAX`, `LIM_ROLL`…): elige el Stallion e importa tu archivo .param para que coincidan con tu avión.
- **Solo avisos urgentes** quita los comentarios de la IA mientras vuelas.
- Si se corta la telemetría, Pitot lo dice y se calla hasta que vuelve.
- Con el terreno real cargado de tu campo, el avión aparece sobre la ortofoto en su sitio.
- Las primeras veces, vuela con un observador a tu lado.

17 Misiones en modo AUTO



Planificador con la misión de ejemplo.

- **Añadir puntos**: clic en el mapa. Arrastra para mover el mapa o un waypoint; rueda para acercar.
- **Comandos**: VTOL_TAKEOFF, TAKEOFF, WAYPOINT (con radio de aceptación), LOITER_TURNS (vueltas), LOITER_TIME (segundos), DO_VTOL_TRANSITION (3 = VTOL, 4 = avión), VTOL_LAND, LAND, DO_CHANGE_SPEED, DO_JUMP, DO_LAND_START y RTL. La tabla de abajo explica los nuevos.
- **Tabla**: edita altura y parámetros de cada comando, cámbialos de orden o bórralos.
- **Resumen y avisos**: distancia, tiempo y energía estimados, con avisos si la misión es demasiado larga para la batería o tiene incoherencias.
- **Ver en 3D**: dibuja la ruta en el escenario.
- **Armar y empezar en AUTO**: muestra el resumen de la operación (31.6) y después arma y arranca la misión. Puedes cambiar de modo en cualquier momento para recuperar el control.
- **Importar y exportar .waypoints**: formato de Mission Planner, con la posición de casa (latitud y longitud) para que coincida con tu campo.

Más comandos

Comando	Parámetros	Qué hace
DO_CHANGE_SPEED	Velocidad del aire (m/s)	Cambia la velocidad objetivo de los tramos en avión que siguen (en lugar de `AIRSPEED_CRUISE`).

DO_LAND_START	—	Marca dónde empieza la secuencia de aterrizaje (ponlo antes del waypoint de aproximación al LAND). Con `RTL_AUTOLAND` 1 o 2, el RTL salta aquí y aterriza. En AUTO normal no hace nada.
DO_JUMP	Comando de destino y repeticiones (−1 = sin fin)	Salta a otro comando para repetir un trozo de la misión, por ejemplo un circuito. La estimación de distancia y batería no cuenta las repeticiones: el planificador te lo avisa.
TAKEOFF	Altura	Despegue de avión. En el ala fija, el avión se lanza a mano a los 2 s de armar y sube a esa altura con `TKOFF_LVL_PITCH`. En un VTOL se salta: usa VTOL_TAKEOFF.
LAND	Posición	Aterrizaje de avión, de panza: baja por una senda desde el punto anterior hasta el de aterrizaje y, a `LAND_FLARE_ALT` o `LAND_FLARE_SEC` segundos del suelo, para el motor y endereza buscando bajar a `TECS_LAND_SINK`. Al detenerse, desarma. Deja una aproximación larga, de una senda de 1:10: con 30 m de altura, el waypoint anterior a unos 300 m.

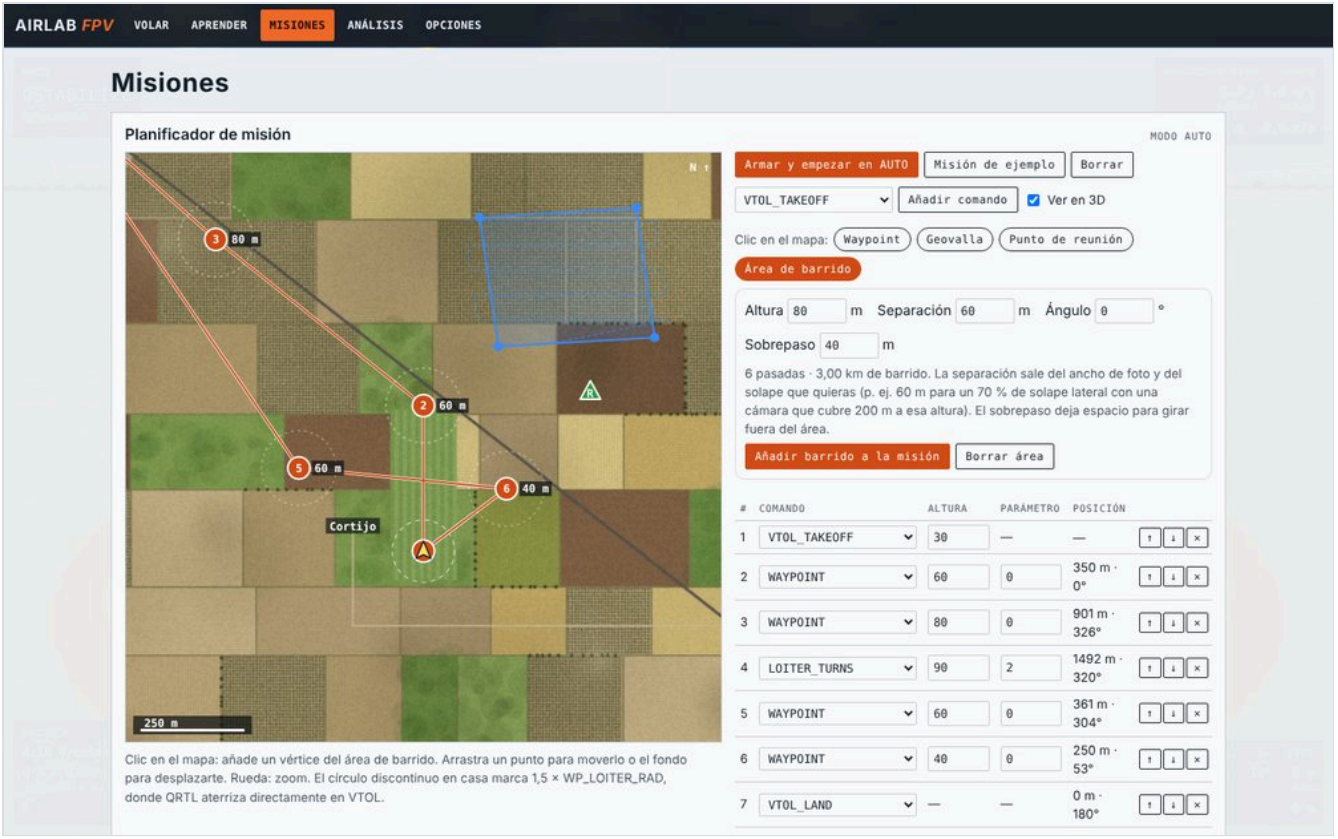
Todos se exportan e importan con sus parámetros en el archivo .waypoints.

Cómo sigue la ruta: el control L1

En los tramos en avión, el piloto automático sigue la ruta como el control L1 de ArduPlane: apunta a un punto de la ruta a una distancia L1 por delante y alabea hacia él. Por eso la traza del avión no coincide del todo con la línea planificada: se acerca a ella poco a poco, recorta las esquinas y, con viento cruzado, queda algo desplazada. Se ajusta en **Parámetros › Navegación y vuelta a casa**, con los mismos nombres que en Mission Planner o QGroundControl:

Parámetro	Por defecto	Qué hace
`NAVL1_PERIOD`	17 s	Fija la distancia L1 (L1 = amortiguamiento × periodo × velocidad / π; a 19 m/s, unos 77 m). Más bajo: sigue la línea más ceñido y gira antes. Demasiado bajo: serpentea. En el avión real se baja de 1 en 1 en un circuito en AUTO hasta que empieza a serpentear y se sube uno o dos puntos.
`NAVL1_DAMPING`	0,75	Amortiguamiento. Casi nunca se toca.
`NAVL1_XTRACK_I`	0,02	Integrador del error lateral: corrige poco a poco el desplazamiento constante. 0 lo desactiva.

El waypoint se da por alcanzado a `WP_RADIUS` (o al radio del comando), pero nunca más lejos que la distancia L1, como en ArduPlane. En el simulador el alabeo responde de forma más ideal que en un avión real, así que el serpenteo aparece con valores más bajos: tómalo como una forma de ver la tendencia, no como el valor final para tu avión.



Geovalla (círculo rojo), un punto de reunión (R) y un área de barrido (azul) con sus pasadas.

Lo que se ve en el mapa además de la misión. La línea amarilla fina es la traza del último vuelo y la mancha de colores, la cobertura de la última captura de fotos. **Borrar** quita la misión y la traza; la cobertura se queda porque es la captura que procesas en el laboratorio (se oculta desmarcando *Ver la cobertura de la última captura* en Fotogrametría y teledetección, y se sustituye al empezar otra captura).

Qué añade un clic en el mapa

Encima de la tabla eliges qué añade cada clic: **Waypoint**, **Geovalla**, **Punto de reunión** o **Área de barrido**. Cada herramienta abre su panel de ajustes.

Perfil del terreno y altura sobre el terreno

Debajo de los avisos del planificador está el **perfil de la misión**: el terreno a lo largo de todo el recorrido (el mismo relieve que la escena, SRTM/EU-DEM con el terreno real cargado), la línea discontinua del margen de seguridad y la altura a la que volaría el avión. Tiene en cuenta lo que el avión puede subir (`TECS_CLMB_MAX` a la velocidad de crucero). Donde el avión pasaría por debajo del margen se marca en rojo, y donde llegaría al suelo, en gris oscuro; los avisos dicen entre qué comandos y a qué distancia ocurre. El margen se ajusta arriba (30 m por defecto) y tiene que cubrir los árboles y edificios, que el modelo de elevaciones no tiene.

Con una misión de altura sobre casa, el avión mantiene esa altitud aunque el terreno suba: en una ladera, la altura sobre el suelo baja, las fotos se separan y sin solape y, si el terreno sube más que el margen, se estrella. Para replanificar:

Botón	Qué hace

Seguir el terreno	Todos los waypoints pasan a **altura sobre el terreno**, con la misma cifra: 83 m sobre casa pasan a ser 83 m sobre el suelo que haya debajo. Es el marco *Terrain* de ArduPilot (MAV_FRAME_GLOBAL_TERRAIN_ALT, 10 en el .waypoints). Entre waypoints el avión sigue el relieve y, con `TERRAIN_LOOKAHD`, mira el terreno que viene (sin pasar del siguiente waypoint) para empezar a subir antes. En el avión real hace falta `TERRAIN_ENABLE` = 1 y una estación de tierra que le mande los datos de terreno.
Subir lo justo	Mantiene la altura sobre casa y sube los waypoints de los tramos sin margen hasta que todo el recorrido queda al menos a esa distancia del suelo. La GSD de las fotos cambiará con el terreno.
Altura sobre casa	Devuelve los waypoints a altura sobre casa.

En la tabla de la misión, cada WAYPOINT tiene junto a la altura un selector **casa / terreno** para elegirlo uno a uno; en el perfil, los waypoints sobre el terreno salen en verde. El barrido (aquí y en el panel de fotogrametría) tiene la casilla **altura sobre el terreno**, marcada por defecto cuando el terreno real está cargado: así la altura sobre el suelo, la GSD y el solape no cambian aunque el área esté en pendiente. El panel de fotogrametría dice cuánto desnivel tiene el área y, si no sigues el terreno, entre qué alturas sobre el suelo volará.

Geovalla

- **Radio máximo** desde casa y **altura máxima**, como `FENCE_RADIUS` y `FENCE_ALT_MAX` de ArduPlane. Un 0 desactiva ese límite.
- **Polígono de inclusión** opcional: haz clic en el mapa para añadir vértices; el avión debe quedar dentro.
- **Al salir**: **RTL** (`FENCE_ACTION` 1) o solo avisar (`FENCE_ACTION` 0). En los drones solo avisa. El aviso aparece en pantalla, en el registro y por voz.
- El planificador marca los waypoints que quedan fuera de la valla, y la valla se dibuja también en el escenario 3D.

Puntos de reunión

Haz clic en el mapa para añadir puntos de reunión (rally points). En RTL, el avión va al más cercano, o a casa si está más cerca, a `RTL_ALTITUDE`, y ahí da vueltas (o aterriza en vertical si `Q_RTL_MODE` = 1). Sirven para tener sitios alternativos donde volver si casa queda lejos o detrás de un obstáculo. Se ven en el mapa y en 3D como triángulos verdes con una R.

Área de barrido (fotogrametría)

Marca con clics los vértices del área que quieres cubrir y ajusta:

Ajuste	Qué es
Altura	Altura de vuelo de las pasadas.
Separación	Distancia entre pasadas. Sale del ancho que cubre la foto a esa altura y del solape lateral que quieras: con una cámara que cubre 200 m y un 70 % de solape, 60 m.
Ángulo	Dirección de las pasadas (0° = de oeste a este). Suele convenir que vayan a lo largo del lado más largo del área o perpendiculares al viento.

Sobrepaso	Lo que cada pasada se alarga fuera del área para girar y entrar recto en la siguiente.

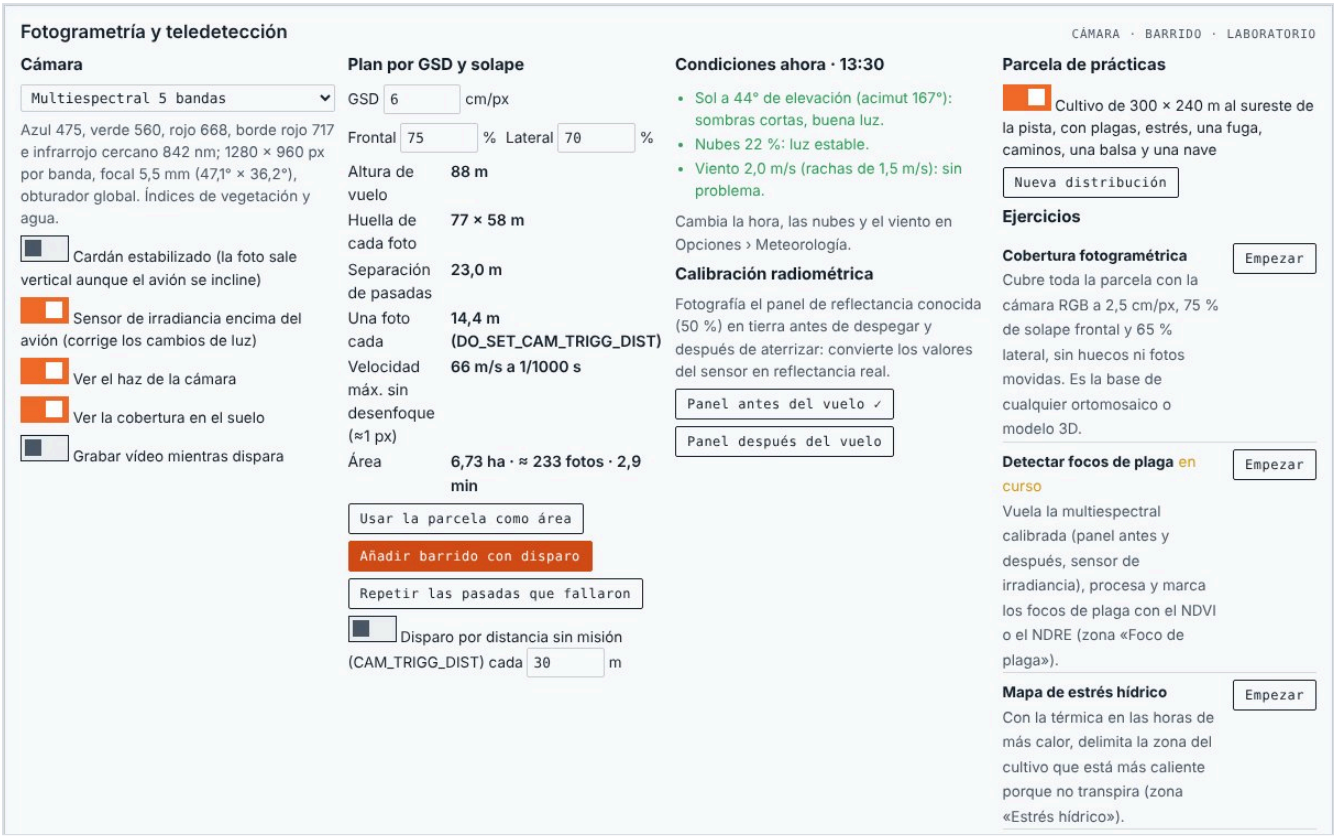
Con disparo de cámara (activada de serie) hace que el barrido haga fotos: la altura y la separación salen de la cámara, la GSD y los solapes del panel **Fotogrametría y teledetección** (capítulo 18), y el botón **Añadir barrido con disparo** inserta las pasadas con su `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` (por pasada si está activado «Disparar solo dentro del área»), igual que el botón de ese panel. Desmarcada, pones la altura y la separación a mano y **Añadir barrido a la misión** inserta solo los waypoints, como la *Simple Grid* de Mission Planner: la cámara no se enciende (salvo con `CAM1_TRIGG_DIST`) y no hay fotos ni escaneo. En los dos casos el barrido va antes del último RTL, VTOL_LAND o LAND; si la misión está vacía, añade antes el despegue y después el final de la misión.

Si la misión tiene un barrido sin ningún `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` y `CAM1_TRIGG_DIST` está apagado, los avisos dicen **«Este barrido no hará fotos»**. El botón **Añadir el disparo de cámara** lo cambia por el mismo barrido con disparo, en el mismo sitio de la misión; lo que iba detrás (otros waypoints, el aterrizaje) se queda detrás.

18 Fotogrametría y teledetección

El simulador lleva tres cámaras para practicar trabajos de mapeo con dron: planificar un barrido por GSD y solape, volarlo en AUTO con disparo por distancia, comprobar la calidad de las fotos, procesar un ortomosaico y estudiarlo con índices de vegetación, térmica y clasificación de materiales. Hay una parcela de cultivo con problemas escondidos y cinco ejercicios con nota. Todo se puede guardar en un informe PDF, en una web interactiva, en GeoJSON y en vídeo.

> **Datos simulados**
>
> Los valores siguen comportamientos reales (reflectancia de cada banda, temperatura de superficie, luz del sol, desenfoque), pero son para practicar: no salen de una parcela real.



Planificar › Fotogrametría y teledetección: cámara, plan por GSD y solape, condiciones, calibración, parcela de prácticas, ejercicios y captura.

Dónde está

- **Planificar**, debajo del planificador: el panel **Fotogrametría y teledetección**, con todo lo que se prepara antes de volar. Los ejercicios también se pueden empezar desde **Misiones › Ejercicios de teledetección**.
- **El laboratorio**, donde se estudian las capturas: se abre con **Procesar y abrir el laboratorio** en ese panel o desde **Análisis › Teledetección**.

Las cámaras

Cámara	Sensor	Para qué
RGB 20 MP	1″, 5472 × 3648 px, focal 8,8 mm (73,7° × 53,1°), obturador de cortinilla y exposición automática	Ortomosaicos en color, modelos 3D, inspección visual
Multiespectral 5 bandas	Azul 475, verde 560, rojo 668, borde rojo 717 e infrarrojo cercano 842 nm; 1280 × 960 px por banda, focal 5,5 mm, obturador global a 1/1000 s	Índices de vegetación (NDVI, NDRE…), agua, materiales
Térmica 640 × 512	Microbolómetro de 12 µm, focal 13 mm (32,9° × 26,6°); tarda unos 7 ms en reaccionar, así que se emborrona antes que las otras	Estrés hídrico, fugas, humedad, materiales

La cámara va fija al fuselaje y mira hacia abajo: cuando el avión se inclina en un viraje o sube con el morro alto, la foto sale oblicua. Con **Cardán estabilizado** la foto queda vertical hasta 35° de inclinación. Con la multiespectral puedes llevar el **sensor de irradiancia** encima del avión (ver Calibración).

Planificar por GSD y solape

El **GSD** (distancia de muestreo en el suelo) es lo que mide en el terreno cada píxel de la foto: GSD = tamaño del píxel × altura / focal. Escribes el GSD que necesitas y los solapes, y el panel calcula el resto:

Dato	Cómo sale
Altura de vuelo	La que da ese GSD con la cámara elegida. Por ejemplo, 2,5 cm/px con la RGB son 91 m; 6 cm/px con la multiespectral, 88 m; 11 cm/px con la térmica, 119 m. Avisa por encima de 120 m.
Huella de cada foto	Lo que cubre una foto en el suelo (ancho × largo).
Separación de pasadas	Ancho de la huella × (1 − solape lateral).
Una foto cada	Largo de la huella × (1 − solape frontal). Es la distancia de `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST`.
Velocidad máxima sin desenfoque	La que deja el desenfoque en torno a 1 px con la exposición de la cámara. Si el avión va más rápido, el barrido frena con `DO_CHANGE_SPEED`.
Área, fotos y tiempo	Con el área de barrido dibujada: hectáreas, fotos aproximadas y minutos.

Valores habituales: solape frontal 70–80 % y lateral 60–70 % para un ortomosaico; más (80/75 %) para modelos 3D o cultivos muy uniformes.

Añadir barrido con disparo pone en la misión, antes del último RTL o aterrizaje:

1. El primer waypoint de la primera pasada.
2. `DO_CHANGE_SPEED`, si hay que ir más despacio para no desenfocar.
3. `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` con la distancia entre fotos: desde aquí la cámara dispara sola cada esos metros.
4. El resto de las pasadas, alternando el sentido.
5. `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` = 0, que para la cámara, y `DO_CHANGE_SPEED` de vuelta a crucero.

Con un avión, el sobrepaso se ajusta a unos 1,6 radios de giro para que entre recto en cada pasada. **Usar la parcela como área** pone como área de barrido la parcela de prácticas. Al exportar a .waypoints, `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` va como comando 206 con la distancia en el parámetro 1, igual que en Mission Planner y QGroundControl.

Disparo por distancia sin misión es el parámetro `CAM1_TRIGG_DIST` de ArduPilot (antes de la 4.5, `CAM_TRIGG_DIST`): la cámara dispara cada N metros mientras vuelas en cualquier modo. Está también en Opciones › Aeronave, grupo **Cámara**, con otros dos parámetros reales:

Parámetro	Qué hace
`CAM_MAX_ROLL`	Aplaza la foto mientras el alabeo sea mayor que ese ángulo y la hace en cuanto el avión se nivela. 0 = dispara con cualquier alabeo. Con 15° no salen fotos inclinadas en los giros (las de más de 15° no sirven para el mosaico); el panel tiene un botón para ponerlo.
`CAM_AUTO_ONLY`	1 = el disparo por distancia solo funciona en AUTO; 0 = en cualquier modo.

Disparar solo dentro del área (marcado por defecto): en vez de encender la cámara al principio del barrido y apagarla al final, cada pasada lleva un waypoint media huella antes de entrar en el área con `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` = la distancia entre fotos y otro media huella después de salir con `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` = 0. Así no hay fotos en el sobrepaso, en los giros ni en los tramos entre pasadas (es lo que hace QGroundControl sin «Images in turnarounds»). En una prueba sobre la parcela, con el avión: el barrido de siempre hizo 99 fotos, 40 fuera del área; por pasada y con `CAM_MAX_ROLL` = 15°, 60 fotos, 3 fuera, con la misma cobertura del 100 %.

Barrido en avión o en VTOL

Un avión no puede dar media vuelta y entrar en la pasada de al lado si están más juntas que su diámetro de giro (2·r, con r = v²/(g·tan φ), la velocidad sobre el suelo y LIM_ROLL). Si lo intenta, el L1 sobrepasa la pasada, da el waypoint por hecho al cruzar su línea de llegada (como ArduPlane) y se encuentra la siguiente detrás: hace un bucle hacia el lado contrario y entra en diagonal cruzando el área. Por eso, con un avión, el barrido se ordena **saltando pasadas**, en bloques 0, k, 1, k+1, 2, k+2…, con k elegido para que cada salto sea de al menos 2,2 radios de giro (crucero más el 70 % del viento). Las pocas pasadas que no encajan cambian de lado con un waypoint de vuelta a tres radios más allá del final, fuera del área. Los multirrotores y el barrido en VTOL siguen en zigzag, pasada tras pasada.

El selector **Barrido** (solo en el tilt-rotor y el 4+1) elige cómo se vuela: **en avión**, **en VTOL** o **automático**, que pasa a VTOL cuando la velocidad sin desenfoque es menor que la mínima segura del avión (AIRSPEED_MIN + 1). Es lo normal con la térmica: a 1/150 s y 7,7 cm/px, el desenfoque de ≈ 1 px pide unos 12,7 m/s sobre el suelo, y el Stallion no vuela en avión por debajo de 17 m/s. En VTOL el avión llega en modo avión a la primera pasada, pasa a VTOL (DO_VTOL_TRANSITION), barre a Q_WP_SPEED (si es mayor que la velocidad sin desenfoque, se baja) y vuelve a avión al terminar. No hay desenfoque ni bucles, pero gasta mucha más batería: al añadir el barrido el registro dice el tiempo y el porcentaje de batería, y avisa si no da con reserva (reduce el área, sube Q_WP_SPEED hasta la velocidad sin desenfoque, sube el GSD o divídelo en dos vuelos).

Final de la misión. En un VTOL, si la misión no tenía aterrizaje, el barrido la termina con `VTOL_LAND` en casa: vuelve en avión, hace la transición y aterriza en vertical. Un `RTL` con `Q_RTL_MODE` = 0 (el valor por defecto de ArduPlane) llega a casa en avión y se queda dando vueltas a `WP_LOITER_RAD` sin aterrizar; con `Q_RTL_MODE` = 1 aterriza en VTOL al llegar. El planificador avisa si la misión acaba en RTL con `Q_RTL_MODE` = 0.

Escaneo en directo

En cuanto la cámara hace la primera foto del vuelo aparece a la izquierda de la pantalla de vuelo el recuadro **ESCANEO**: cada foto pinta su huella real en el suelo (las cuatro esquinas del sensor proyectadas con la actitud del avión) con la imagen del terreno vista en vertical, así que el mosaico va creciendo pasada a pasada mientras vuelas. Las fotos que el procesado descartaría (movidas, oblicuas, sin luz) salen apagadas y con borde rojo, la última foto con borde naranja, y la línea discontinua es lo que la cámara ve en este momento. Debajo, el número de fotos válidas y descartadas y el GSD de la última. Es una vista previa en color natural: el ortomosaico, las bandas multiespectrales y la térmica se calculan al procesar la captura en Análisis › Teledetección. La × lo cierra hasta la próxima captura.

Solape lateral: previsto y medido

Previsto. El planificador toma los tramos de la misión con la cámara encendida (entre un `DO_SET_CAM_TRIGG_DIST` mayor que 0 y el siguiente a 0) que van en la dirección del barrido, empareja cada pasada con su vecina y las recorre cada pocos metros. En cada punto calcula el ancho que cubre la foto en el suelo con la altura real sobre el terreno y el solape lateral = 1 − separación / ancho. Si el peor punto queda más de 10 puntos por debajo del solape lateral pedido en Fotogrametría, avisa con las pasadas (en el orden de vuelo), el solape mínimo y la mediana, la causa y qué cambiar: si el terreno sube bajo las pasadas, activar **Altura sobre el terreno** o bajar la separación a la que se indica; si la separación es grande para la huella, bajarla, subir la altura o generar el barrido **con disparo de cámara**. Si dos pasadas no llegan a tocarse, lo dice como **hueco** y con cuántos metros.

Medido en vuelo. Las fotos válidas se agrupan en pasadas y, al terminar cada una, se compara con sus vecinas *en la misión* que ya se han volado. En orden alterno la pasada de al lado se vuela más tarde, así que hasta entonces no cuenta como hueco: el recuadro de escaneo dice cuántas pasadas quedan por volar. La medida corta cada punto de la pasada con las huellas reales de las fotos, con su inclinación y la deriva del viento. Si el solape mediano queda más de 15 puntos por debajo del pedido, o hay hueco en más del 10 % de la pasada, avisa en pantalla y con la voz del Capitán Pitot, lo apunta en el registro y marca los huecos en rojo en el recuadro de escaneo. Esas pasadas se repiten con **Repetir las pasadas que fallaron**.

En vuelo: el haz de la cámara y la cobertura



Barrido sobre la parcela: el haz azul marca lo que ve la cámara y el suelo se colorea con la cobertura.

- Un **haz azul semitransparente** sale de la cámara hasta el suelo y marca la huella de la foto; destella en cada disparo.
- El suelo se colorea según cuántas fotos válidas ven cada punto: **azul** 1, **cian** 2–3, **verde** 4–6, **verde claro** 7 o más. En **rojo**, lo que solo tiene fotos inservibles.
- La cobertura se ve también en el mapa del planificador, con un punto por foto.
- Con **Grabar vídeo mientras dispara**, el vídeo del vuelo empieza y termina con el disparo.

Por qué se descarta una foto

Motivo	Cuándo pasa	Qué hacer
Movida	Más de 1,5 px de desenfoque: velocidad sobre el suelo × exposición / GSD, más lo que gira el avión durante la exposición.	Ir más despacio, subir el GSD o volar con más luz (la RGB alarga la exposición cuando hay poca).
Oblicua	La cámara se inclina más de 15°: virajes, subidas con el morro alto, rachas.	Más sobrepaso, cardán, menos viento.
Sin luz	Sol muy bajo o de noche (no afecta a la térmica).	Volar con el sol alto.
Demasiado baja / apunta al horizonte	Menos de 5 m de altura, o una esquina de la foto no corta el suelo.	—

Control de calidad y pasadas a repetir

El cuadro **Captura** muestra en directo las fotos, las válidas, el GSD real, la cobertura del área y los solapes medidos entre fotos (frontal entre fotos seguidas y lateral entre pasadas), con los avisos de lo que falla: huecos, solape roto por la deriva del viento, fotos movidas u oblicuas, falta de calibración.

Repetir las pasadas que fallaron añade a la misión solo las pasadas en las que más del 15 % del recorrido tiene menos de 2 fotos válidas, con su disparo. Así se completa la captura sin repetir todo el vuelo.

Condiciones

El panel valora la hora y el tiempo del momento para la cámara elegida:

- **Sol**: mejor por encima de 40° de elevación (sombras cortas). En el escenario, el mediodía solar es a las 14:07.
- **Nubes**: con nubes que pasan, la luz cambia de una foto a otra y el mosaico sale a parches si no se corrige con el sensor de irradiancia. El cielo cubierto da luz pareja pero pobre y quita contraste a la térmica.
- **Viento**: a partir de 5 m/s hay deriva, fotos inclinadas y solape lateral roto. Mejor pasadas a favor y en contra del viento.
- **Térmica**: las diferencias de temperatura se ven mejor con el máximo calentamiento, entre las 12:00 y las 16:00 (o antes del amanecer para fugas y humedad).

La hora, las nubes y el viento se cambian en Opciones › Meteorología.

Calibración radiométrica

La multiespectral mide cuánta luz llega al sensor, que depende del sol, de las nubes y de la ganancia de cada banda. Para tener **reflectancia** (la fracción de luz que refleja la superficie, comparable entre vuelos) se usan dos cosas:

- **Panel de reflectancia** (50 %): se fotografía en tierra con **Panel antes del vuelo** y **Panel después del vuelo**. Fija la escala de cada banda; el de después corrige la deriva de la luz durante el vuelo.
- **Sensor de irradiancia**: mide la luz en cada foto y corrige los cambios por nubes.

Calibración	Resultado
Panel y sensor de irradiancia	Reflectancia correcta en todo el mosaico.
Solo panel	Escala correcta, pero con parches donde pasaban nubes.
Solo sensor de irradiancia	Sin parches, pero cada banda con un pequeño error de escala.
Nada	Valores que dependen de la luz del momento: no se pueden comparar con otros vuelos ni con umbrales.

La parcela de prácticas

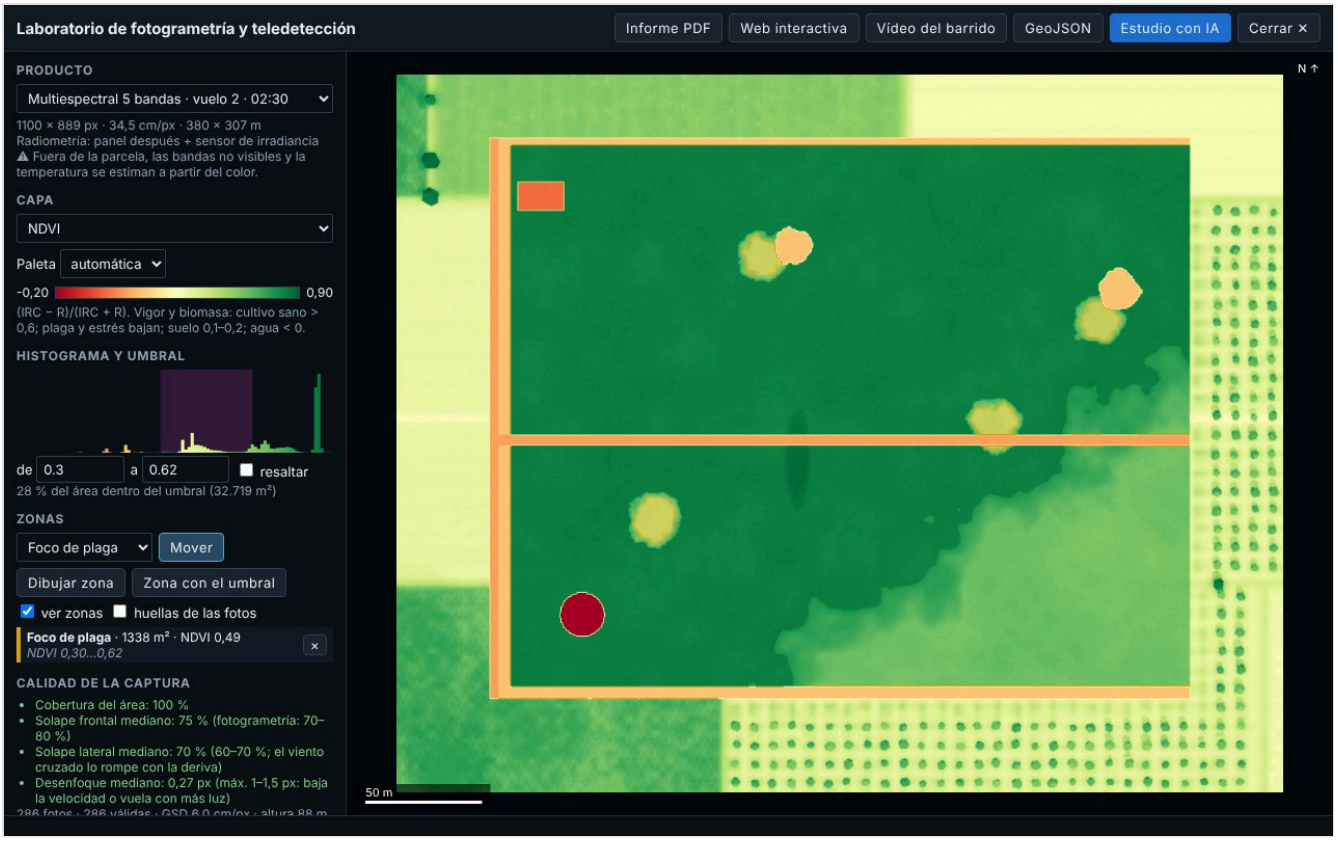
Un cultivo de 300 × 240 m al sureste de la pista, con caminos, cabeceras sin sembrar, una balsa, una nave con tejado metálico y, escondidos, focos de plaga, una zona con estrés hídrico al final del sector de

riego y una fuga en una tubería. **Nueva distribución** los cambia de sitio (los ejercicios empiezan siempre con una nueva). Los árboles que caen dentro se quitan mientras la parcela está activa.

Procesar: el ortomosaico

Procesar y abrir el laboratorio compone el ortomosaico con las fotos válidas: cada punto sale de la foto que lo ve más cerca de la vertical y con mejor resolución, con la luz y la calibración de esa foto y su desenfoque. El mosaico tiene como mucho unos 1100 píxeles de lado: en áreas grandes, su píxel es mayor que el GSD (se indica arriba del laboratorio). Fuera de la parcela, la imagen sale de una vista cenital del escenario y las bandas no visibles y la temperatura se estiman a partir del color: se avisa en el laboratorio y en los informes.

El laboratorio

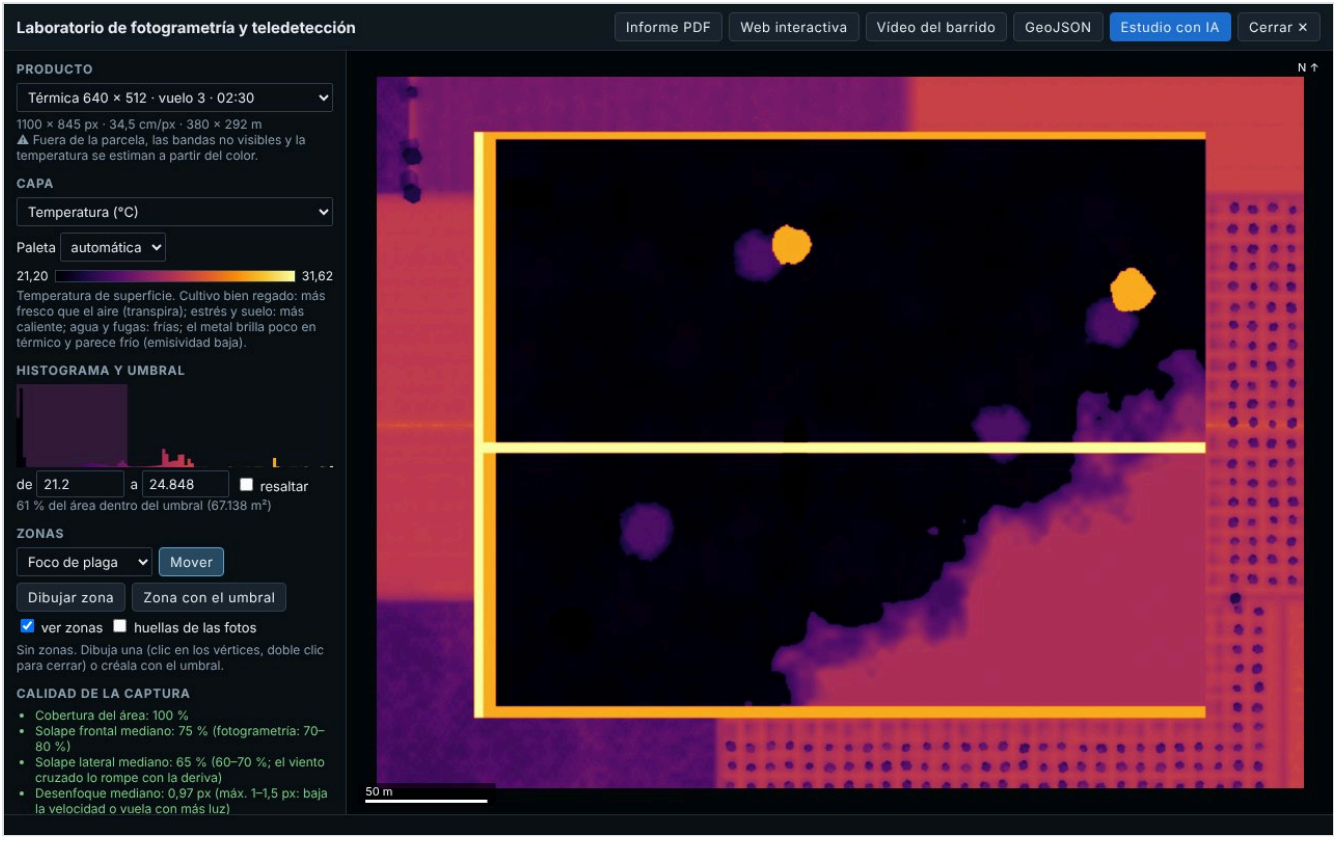


Laboratorio con el NDVI: focos de plaga en amarillo, la zona marcada con el umbral, el histograma y el control de calidad.

Capa	Fórmula	Qué muestra
Color natural y **falso color**	R, V, A · IRC, R, V	En falso color la vegetación sana sale roja intensa.
NDVI	(IRC − R)/(IRC + R)	Vigor: cultivo sano por encima de 0,6, plaga y estrés más bajo, suelo 0,1–0,2, agua negativo.
NDRE	(IRC − BR)/(IRC + BR)	Clorofila; no se satura en cultivos densos y detecta antes el estrés.
GNDVI	(IRC − V)/(IRC + V)	Clorofila, en etapas avanzadas.

SAVI	1,5 (IRC − R)/(IRC + R + 0,5)	Como el NDVI, corrigiendo el suelo cuando hay poca cubierta.
NDWI	(V − IRC)/(V + IRC)	Agua libre (positivo). La humedad de la hoja necesita infrarrojo de onda corta, que esta cámara no tiene: para humedad, la térmica.
VARI, GLI, ExG	Solo con R, V y A	Verdor con la cámara RGB: orientativo, sin calibrar.
Temperatura	°C	El cultivo que transpira está más fresco que el aire; estrés y suelo, más calientes; agua y fugas, frías; el metal parece frío porque emite poco.
Clasificación de materiales	Umbrales de NDVI, NDWI y brillo	Vegetación vigorosa, débil, suelo, camino, agua y tejado metálico. Los umbrales se ajustan.
Fotos por punto	—	Control de calidad: para 3D hacen falta 5 o más.

- **Sonda**: al pasar el ratón, abajo salen las coordenadas, el valor de cada banda y de los índices, y cuántas fotos ven ese punto.
- **Histograma y umbral**: elige un rango de valores, resáltalo y conviértelo en zona con **Zona con el umbral** (quita las manchas de menos de 4 m²).
- **Zonas**: elige la categoría (plaga, estrés, fuga, suelo, camino, agua, metal u otro) y dibuja con **Dibujar zona** (clic en cada vértice, doble clic para cerrar) o créala con el umbral. Con la clasificación, **Crear zonas de agua, metal, camino y suelo** las hace de golpe. Cada zona muestra su área y su valor medio.
- **Huellas de las fotos**: dibuja la huella de cada foto; en rojo, las descartadas.
- Rueda del ratón para acercar, arrastrar para moverte, Esc para cerrar.



Térmica a mediodía: la zona con estrés hídrico sale más caliente que el cultivo que transpira.

Ejercicios

Cada ejercicio prepara una distribución nueva de la parcela, la pone como área de barrido y elige la cámara y el GSD. Tú decides la hora, planificas, vuelas, procesas, marcas las zonas y pulsas **Evaluar** en el laboratorio. La nota compara tus zonas con la verdad de la parcela (IoU: superficie común entre la unión) y valora la captura.

Ejercicio	Cámara y GSD	Qué puntúa
Cobertura fotogramétrica	RGB, 2,5 cm/px	Cobertura, solapes 75/65 %, fotos inservibles, GSD y condiciones.
Detectar focos de plaga	Multiespectral, 6 cm/px	Zonas «Foco de plaga», calibración (panel antes y después, sensor de irradiancia), cobertura, GSD y condiciones.
Mapa de estrés hídrico	Térmica, 11 cm/px	Zona «Estrés hídrico», hora de calor, viento, cobertura y GSD.
Encontrar la fuga de riego	Térmica (o multiespectral), 10,5 cm/px	Que tu zona «Fuga de riego» esté a menos de 10 m de la fuga, su IoU, condiciones, cobertura y GSD.
Clasificar materiales	Multiespectral, 6 cm/px	Zonas de agua, tejado metálico, camino y suelo desnudo, cobertura, calibración, GSD y condiciones.

La mejor nota de cada ejercicio queda guardada en el panel.

Informes y exportación

Botón	Qué guarda
Informe PDF	Resumen de la misión (aeronave, cámara, hora, sol, nubes, viento, fotos, GSD, cobertura, solapes, desenfoque, radiometría, coordenadas), control de calidad y fotos descartadas, cada capa con su escala y explicación, tus zonas con área y coordenadas, la nota del ejercicio, el estudio con IA si lo hay y el método.
Web interactiva	Un único archivo .html que se abre en cualquier navegador sin conexión: capas con su leyenda y opacidad, huellas de las fotos con sus datos, zonas, sonda con coordenadas y valor del índice, resumen, nota y botón para descargar el GeoJSON.
GeoJSON	Zonas, huellas y centros de las fotos y contorno del ortomosaico, en coordenadas WGS84, para abrir en un SIG.
Vídeo del barrido	Una animación de unos 17 s: las fotos van cubriendo el ortomosaico en el orden en que se tomaron, después el índice y por último las zonas.

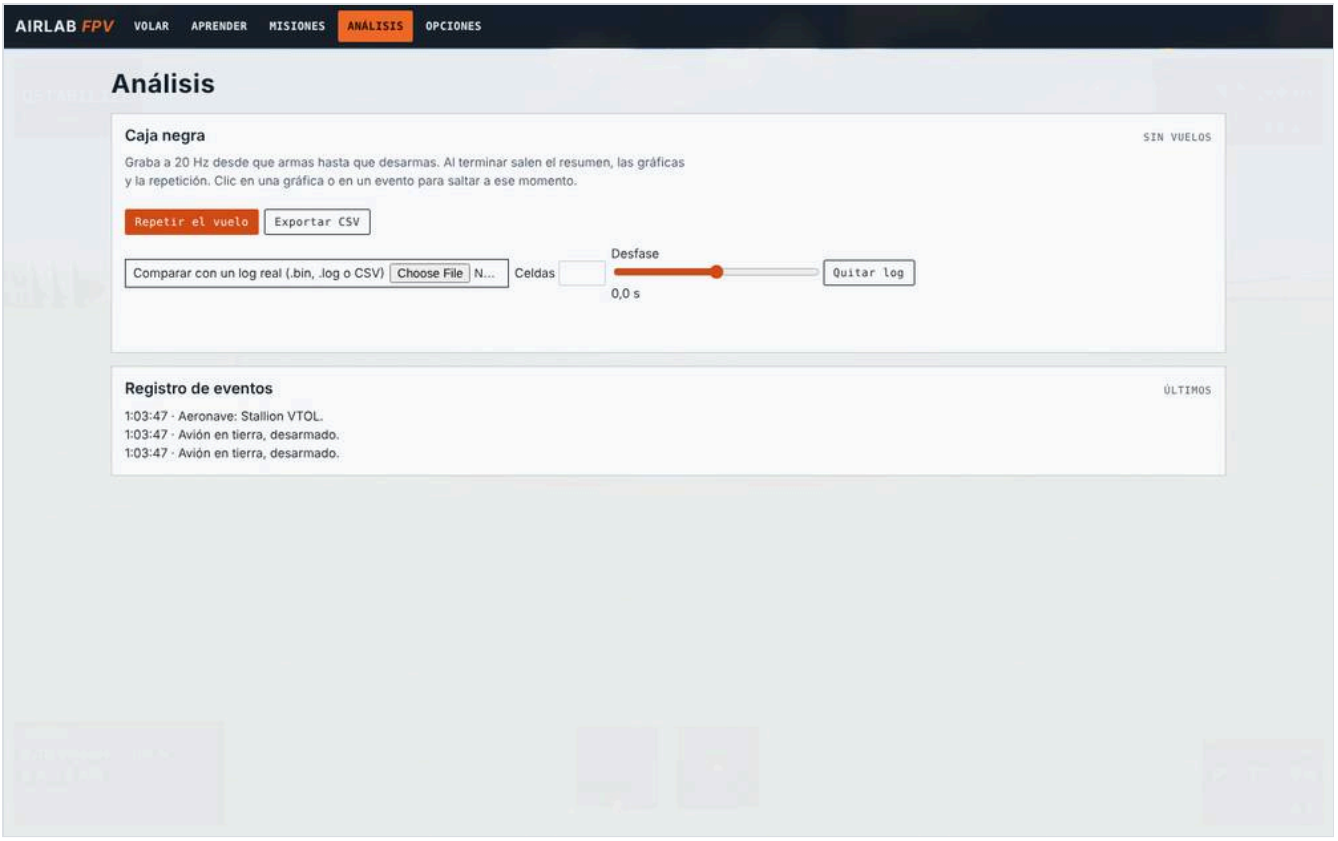
La misión con el disparo se exporta, como siempre, desde el planificador en .waypoints.

Estudio con IA

En la versión web con tu cuenta, **Estudio con IA** manda al Capitán Pitot el ortomosaico, el índice principal (o la térmica), el NDRE y la clasificación en tamaño reducido, junto con las estadísticas, la calidad, las condiciones y tus zonas. Te devuelve qué se ve y qué puede significar en campo, si tus zonas encajan, la

calidad de la captura y qué cambiar la próxima vez. El estudio sale en el laboratorio, lo dice en voz alta y entra en el informe PDF y en la web. Cuenta en el mismo límite diario que el análisis de los vuelos.

19 Análisis: caja negra y logs reales



Análisis: caja negra y registro de eventos.

La caja negra graba a 20 Hz desde que armas hasta que desarmas. Al terminar verás:

- **Resumen**: duración, altura y velocidad máximas, distancia, consumo, transiciones y aterrizaje.
- **Gráficas** de altura, velocidades, actitud, batería, corriente y gas. Clic en una gráfica o en un evento para saltar a ese momento.
- **Repetir el vuelo**: reproduce el vuelo en 3D con su estela, a varias velocidades.
- **Exportar CSV** con todos los datos.

Resumen y debrief al terminar el vuelo



Resumen del vuelo y debrief, al desarmar.

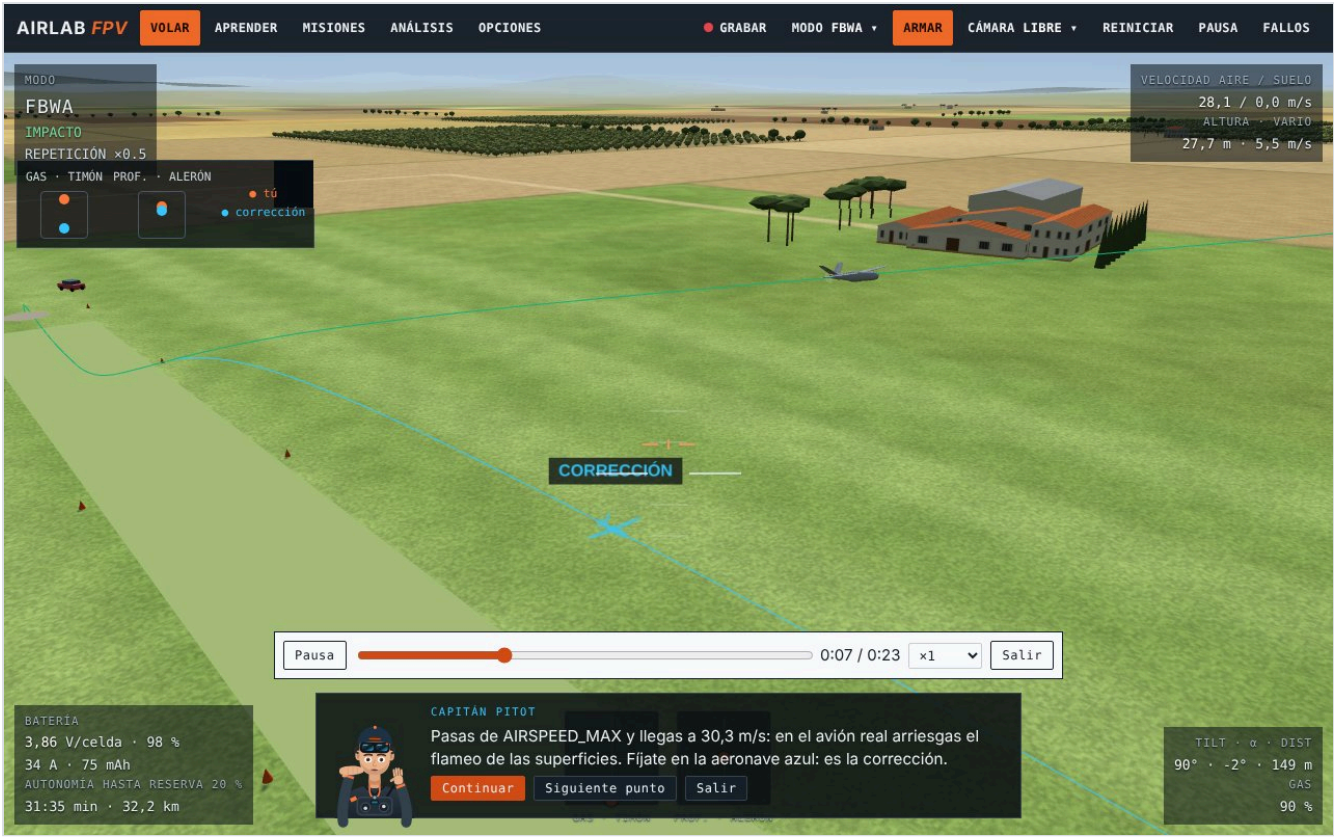
Al desarmar, o tras un impacto, sale un resumen del vuelo parecido al de las gafas DJI: tiempo de vuelo, distancia recorrida, altura máxima sobre el suelo, velocidad máxima, distancia máxima a casa, batería consumida y restante, energía, tensión mínima por celda, corriente media y máxima, subida y bajada máximas, y los modos que has usado.

Debajo viene el **debrief**: una nota del vuelo sobre 100 y la lista de lo que ha pasado, cada punto con cómo corregirlo en el próximo vuelo. Se calcula con la caja negra y revisa:

- **El accidente y su causa**: choque contra un obstáculo, pérdida cerca del suelo, anillo de vórtice, alabeo al tocar, batería agotada, picado o bajada demasiado rápida, gas cortado en el aire (drones).
- **Pérdidas** en vuelo de avión: cuántas, a qué velocidad y a qué altura.
- **Límites**: velocidad por encima de `AIRSPEED_MAX`, alabeo excesivo en MANUAL o ACRO, vuelo de avión por debajo de 10 m y altura por encima de los 120 m de la categoría abierta de la UE.
- **VTOL**: anillo de vórtice al bajar, transiciones empezadas por debajo de 30 m y altura perdida en ellas.
- **Batería**: reserva al aterrizar (lo recomendable es el 20 %) y caídas de tensión fuertes.
- **Failsafes** que han saltado y el **aterrizaje**: velocidad vertical y horizontal al tocar, distancia al punto de despegue e inclinación; en el ala fija, la dureza de la toma de panza.

Ver la repetición abre la repetición en 3D y **Análisis detallado** lleva a la caja negra, con las gráficas. Puedes quitar el resumen automático con la casilla del pie y volver a abrirlo con **Resumen y debrief** en la caja negra.

Repetición con instructor



Repetición con instructor: en gris tu vuelo, en azul la corrección; el Capitán Pitot lo explica.

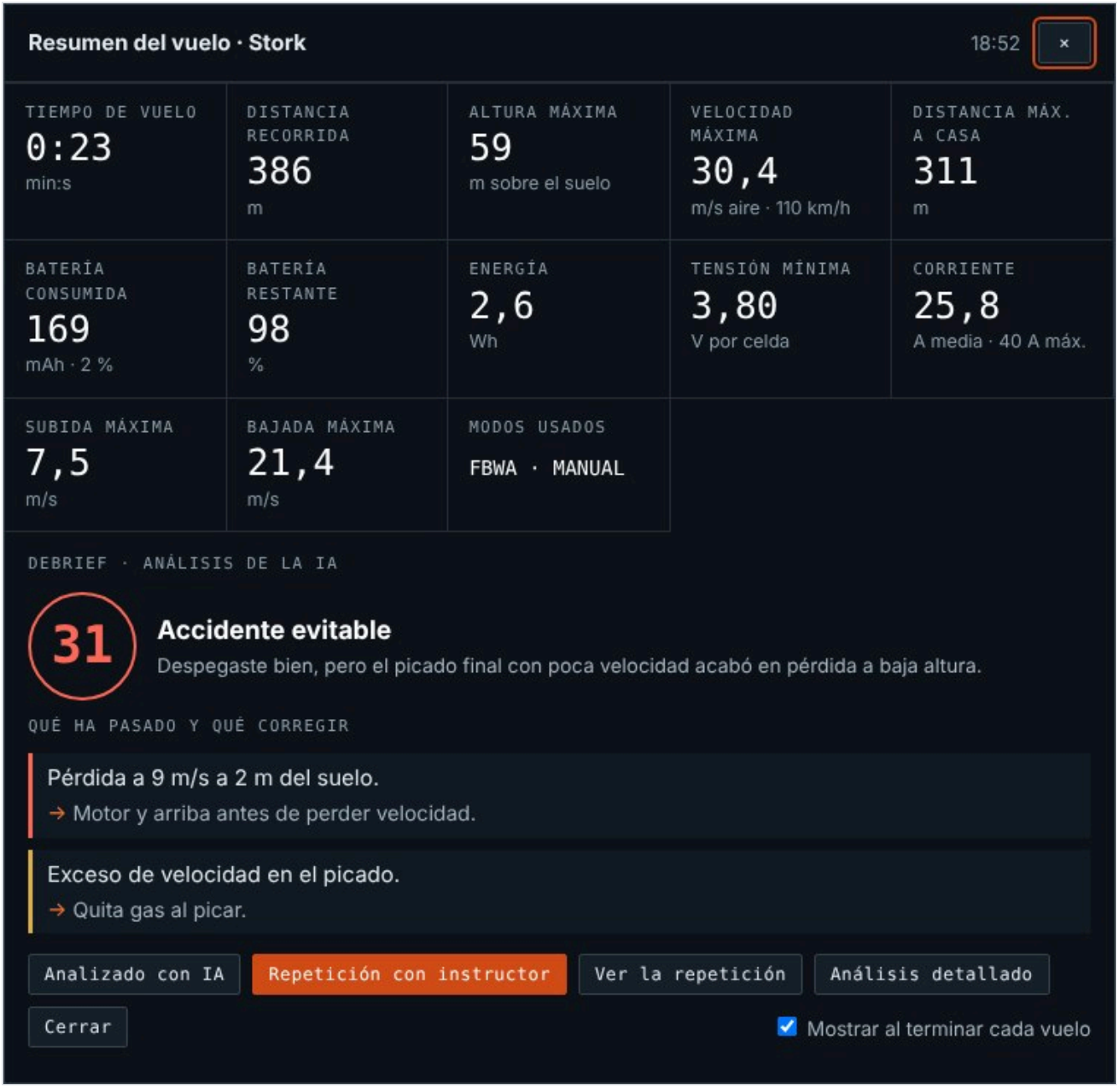
Repetición con instructor (en el resumen o en la caja negra) reproduce tu vuelo con un instructor que lo comenta en voz alta y con subtítulos. Antes de cada error te avisa, en el momento del error para la repetición y te explica qué ha pasado, y después te enseña la corrección.

- **La aeronave azul** es la corrección: el simulador vuelve a volar ese tramo con su física, desde unos segundos antes del error, con la maniobra que habría que haber hecho (quitar gas en un picado, nivelar las alas, motor y arriba, alargar la transición, bajar más despacio en QLAND...). Su estela es azul; la tuya, verde.

- Arriba a la izquierda tienes **tus sticks** (naranja) y los de **la corrección** (azul), para ver qué cambia en las manos.
- **Continuar** sigue después de una pausa, **Siguiente punto** salta al siguiente comentario y **Salir** vuelve al vuelo. Mientras no hay nada que comentar la repetición va más deprisa, y en los tramos con corrección va a media velocidad.

Revisa accidentes (obstáculo, pérdida, gas cortado, anillo de vórtice, toma dura), pérdidas, exceso de velocidad o de alabeo, anillo de vórtice, transiciones bajas o con pérdida de altura y la calidad del aterrizaje. Si te estrellas, la corrección sigue volando después del impacto para que veas cómo habría acabado.

Análisis con IA



Debrief redactado por la IA.

En la versión web, con tu licencia, el resumen tiene el botón **Analizar con IA**. Envía a Claude (Anthropic) un resumen de la caja negra (datos del vuelo, eventos detectados, parámetros de ArduPilot de la aeronave y las series de altura, velocidades, actitud y sticks) y recibe un debrief redactado, una nota, el guion del instructor y las maniobras correctoras. Después, **Repetición con instructor** usa ese guion y esas correcciones.

- Suele tardar entre medio minuto y dos minutos; mientras, el resumen muestra cuánto lleva. Si la IA no responde, tarda más de 5 minutos o has llegado al límite diario de análisis, se queda el debrief por reglas y la repetición con instructor funciona igual.
- La IA solo usa los datos de tu vuelo; las correcciones las vuela el simulador con su física, igual que las de las reglas.
- La versión sin conexión no tiene IA: usa siempre el análisis por reglas.

El Capitán Pitot, tu instructor

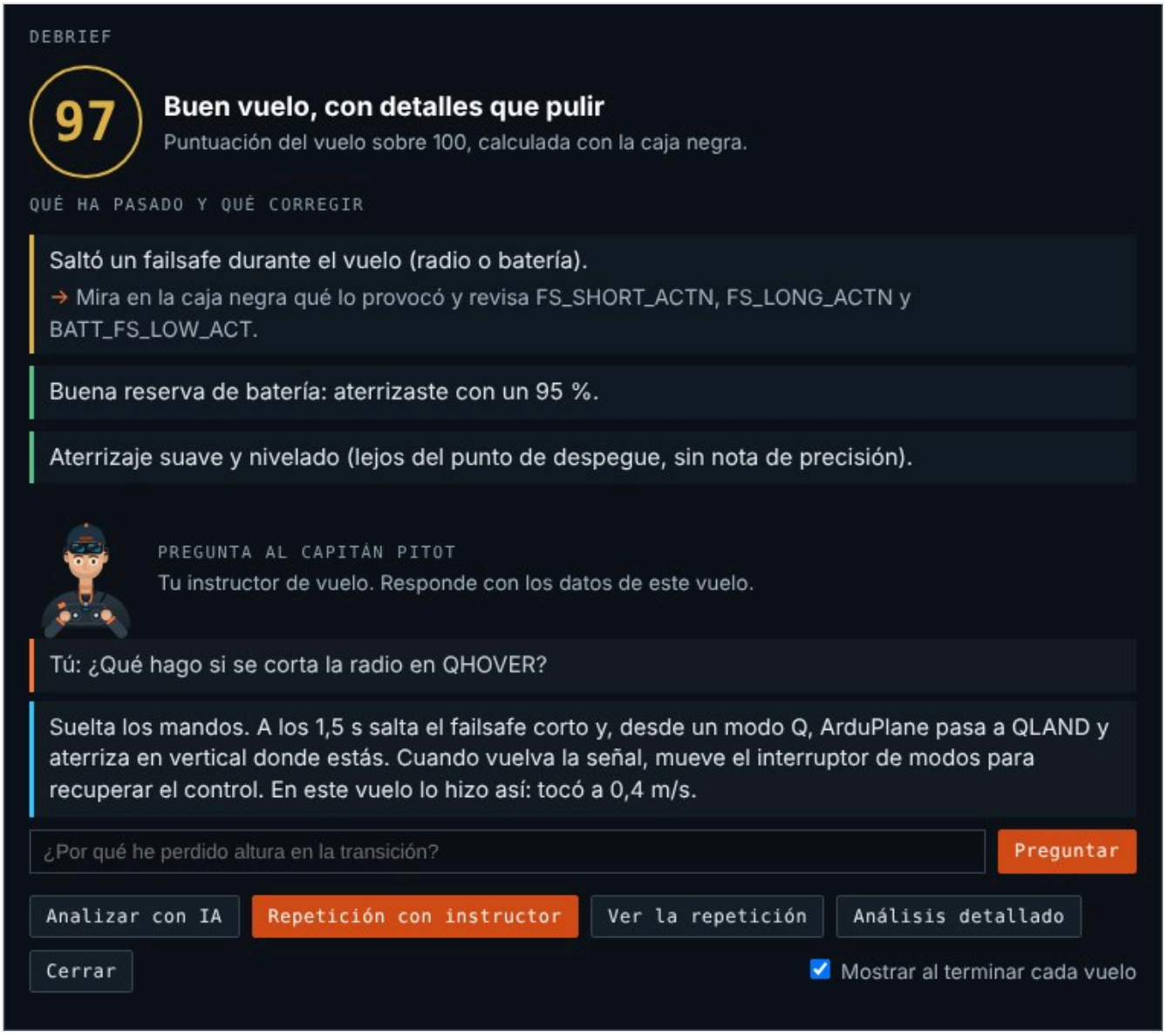


El Capitán Pitot: en reposo, enseñando una maniobra con la mano, señalando la corrección y pensando.

El instructor del simulador es el **Capitán Pitot**, un piloto FPV con las gafas subidas a la frente y la emisora colgada del cuello. Aparece en la repetición con instructor, en las preguntas del resumen, en los avisos en vuelo y en el panel de Aprender.

- **Se mueve mientras habla**: abre la boca al ritmo de la voz y explica con las manos. Con la mano hace de avión: alabea, sube o baja el morro y simula la toma.
- Cuando enseña una corrección, la mano y los sticks de su emisora copian la maniobra de la corrección: alerón, profundidad y gas.
- Mientras la IA prepara la respuesta, se pone a **pensar**.
- **Tiene su propia voz**, distinta de la de los avisos del simulador. En automático elige una voz masculina del navegador. Se cambia en **Opciones › Sonido › Voz del Capitán Pitot**, donde también puedes apagarla y probarla. Si el navegador solo tiene una voz, usa esa con un tono más grave.

Pregunta al Capitán Pitot

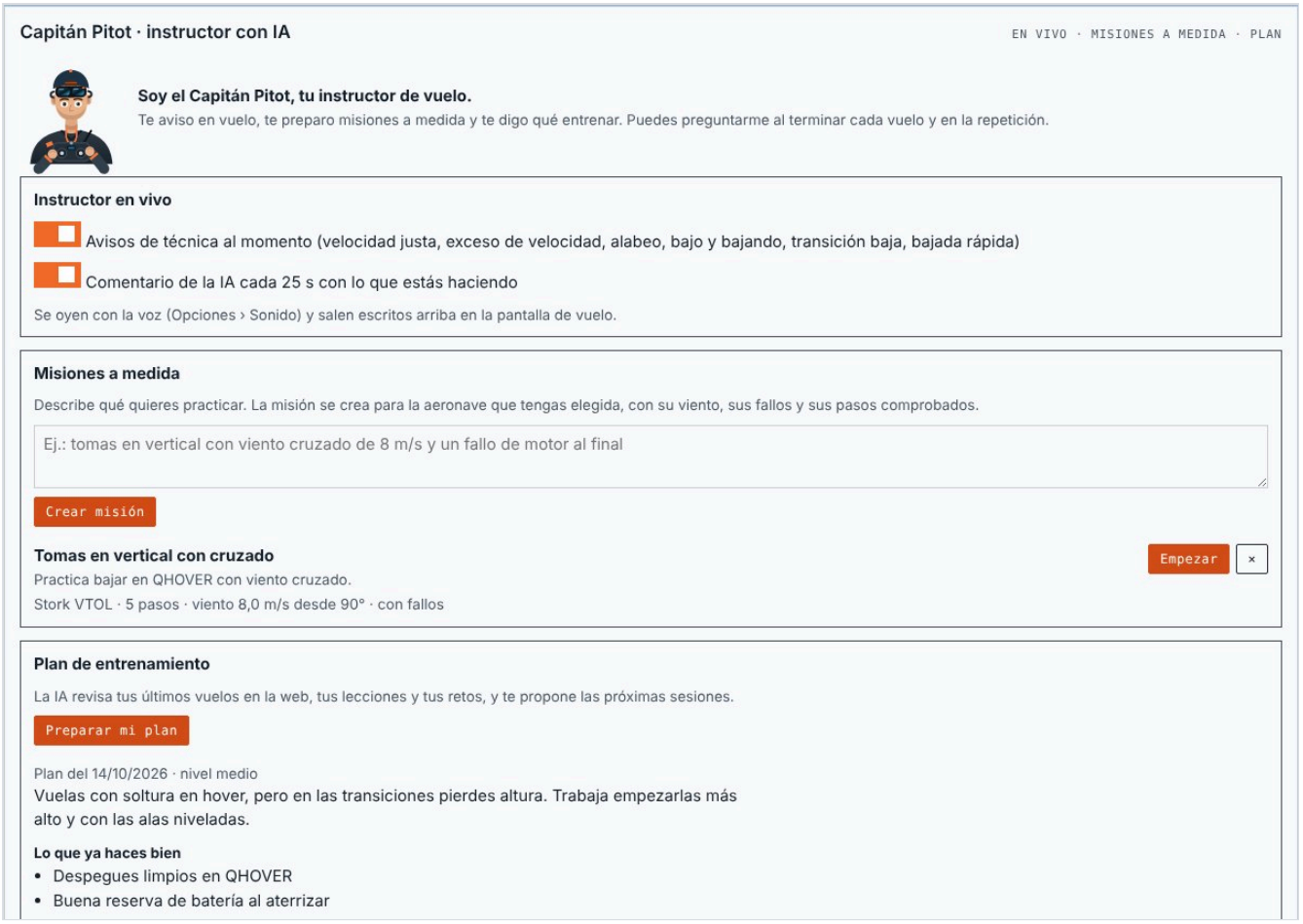


Pregunta al Capitán Pitot, en el resumen del vuelo.

En la versión web, el resumen del vuelo tiene un cuadro **Pregunta al Capitán Pitot**. Escribe la pregunta («¿por qué he perdido altura en la transición?», «¿qué hago si se corta la radio en QHOVER?») y la IA responde con los datos de ese vuelo. La conversación se mantiene mientras sigas en el mismo vuelo.

En la **Repetición con instructor** está el botón **Preguntar**: para la repetición, envía tu pregunta junto con el momento en que estás y lee la respuesta en voz alta. **Continuar** sigue con la repetición.

Capitán Pitot · instructor con IA (Aprender)



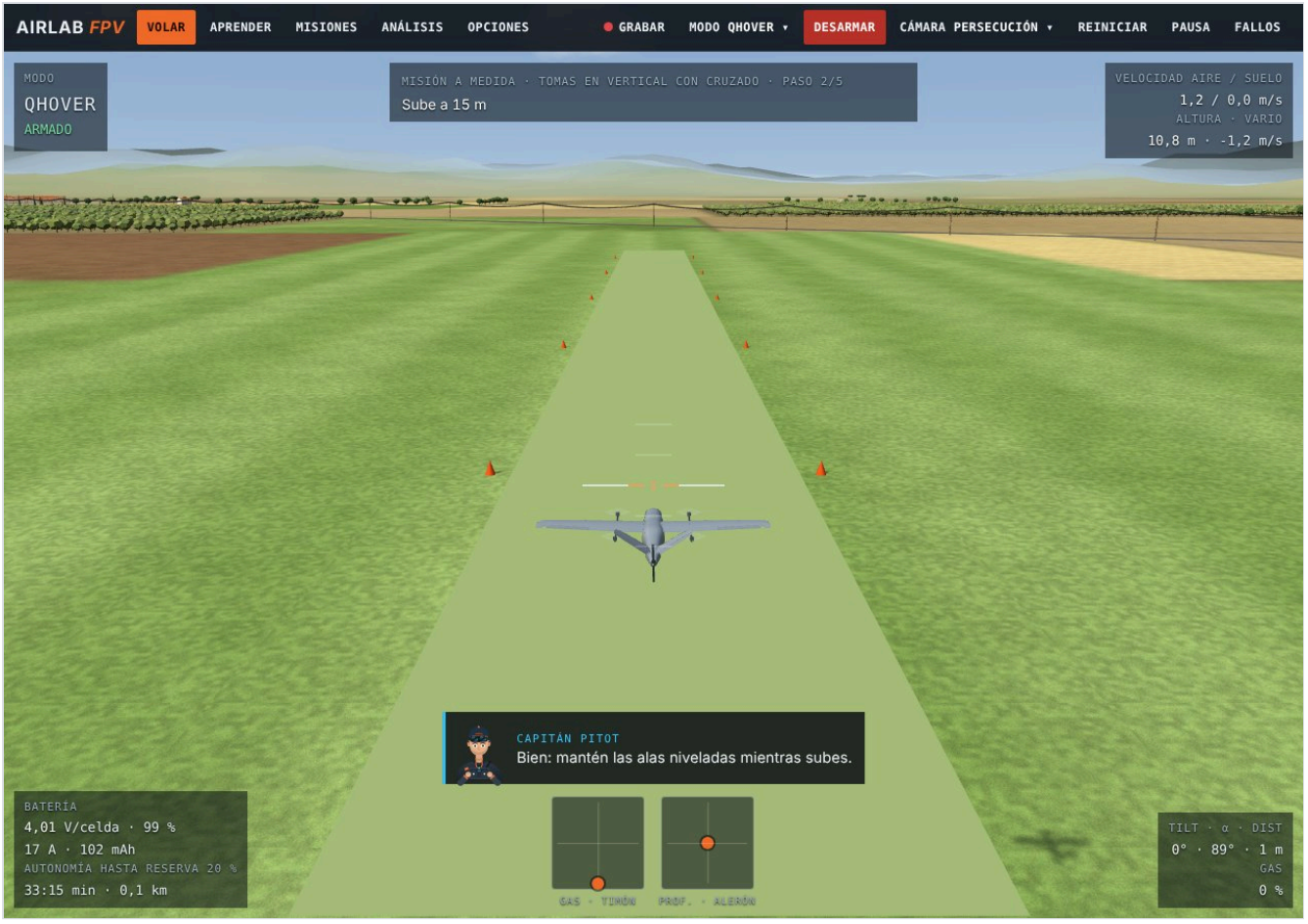
Panel Instructor con IA, en Aprender.

En Aprender, debajo de las lecciones, el panel **Capitán Pitot · instructor con IA** reúne tres herramientas.

Instructor en vivo. Tiene dos interruptores:

- **Avisos de técnica al momento**: velocidad justa o por encima de `AIRSPEED_MAX`, alabeo por encima de `LIM_ROLL`, bajo y bajando, transición empezada por debajo de 30 m y bajada rápida en vertical, cada uno con lo que hay que hacer. Son por reglas: salen al instante y funcionan también en la versión sin conexión.
- **Comentario de la IA cada 25 s**: la IA mira los últimos segundos de telemetría y la lección, reto o misión que estés haciendo, y te dice una frase de técnica. Si no hay nada útil que decir, se calla.

Los dos los dice el Capitán Pitot con su voz y salen escritos en la pantalla de vuelo, encima de los sticks, junto a su imagen.



Misión a medida en curso, con el comentario del instructor.

Misiones a medida. Escribe lo que quieres practicar, por ejemplo «tomas en vertical con viento cruzado de 8 m/s y un fallo de motor al final», y pulsa **Crear misión**. La IA prepara una misión para la aeronave que tengas elegida:

- el punto de partida, en el suelo o en el aire;
- el viento, la turbulencia y las rachas;
- los pasos, cada uno con sus condiciones (modo, altura, distancia, velocidad, alabeo, giro, rumbo o toma) y el tiempo que hay que mantenerlas;
- los fallos que saltan en cada paso.

La misión se juega como una lección, con las instrucciones arriba en la pantalla. Al terminar o salir, el viento y los fallos vuelven a como estaban. Las misiones quedan guardadas en la lista, con tu mejor tiempo. La IA solo puede usar las condiciones, los modos y los fallos que entiende el simulador: no escribe código.

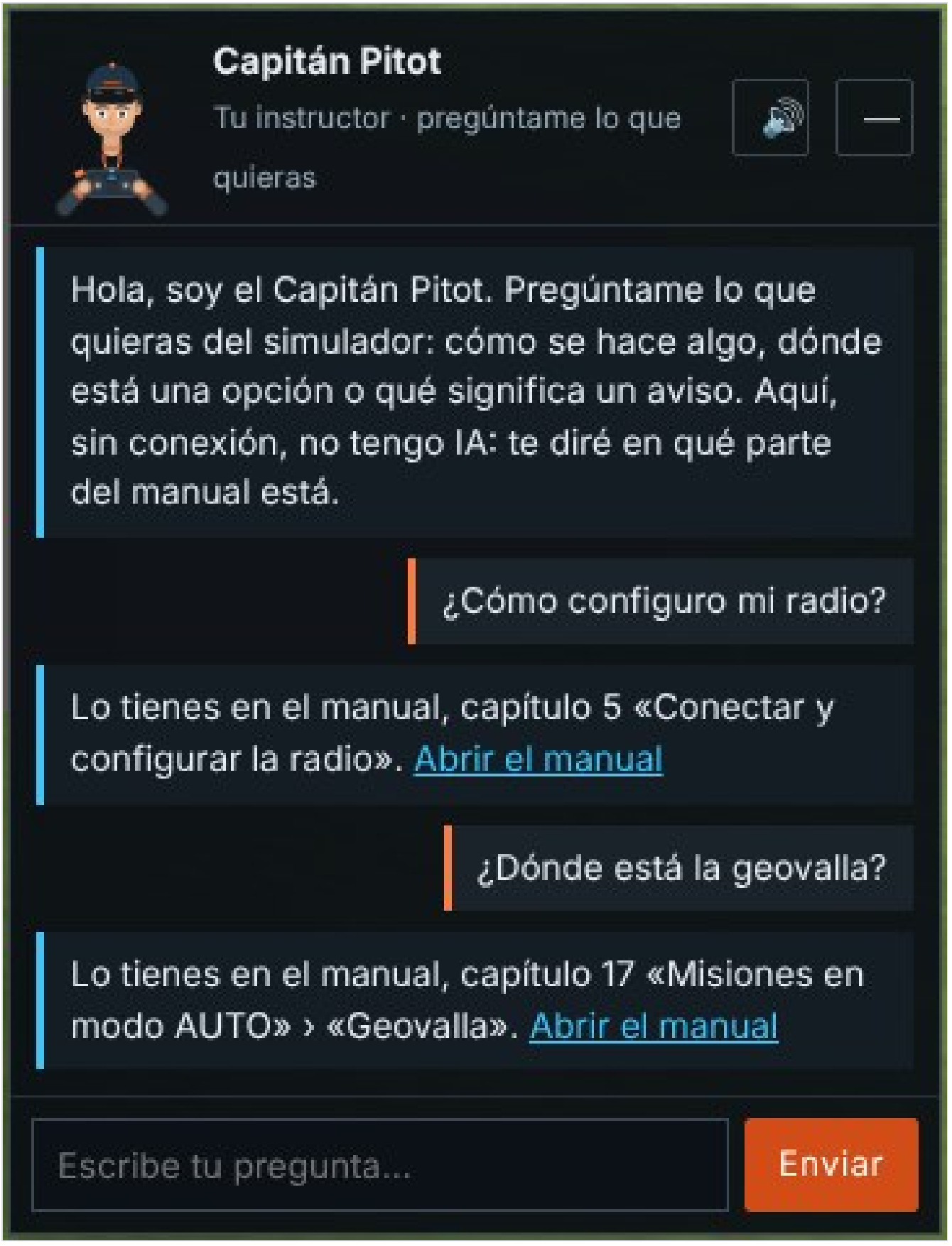
Plan de entrenamiento. Cada vuelo que haces en la web guarda un resumen (aeronave, duración, nota, accidente y puntos del debrief). **Preparar mi plan** envía ese historial, tus lecciones y tus retos, y la IA te devuelve:

- lo que ya haces bien y lo que más te conviene trabajar;
- de 3 a 5 sesiones con un objetivo medible.

Cada sesión tiene su botón: empieza la lección o el reto, o crea la misión a medida que propone.

Cada función con IA tiene su límite diario por cuenta. Si no hay conexión o se llega al límite, el simulador avisa y sigue funcionando sin IA.

El chat del Capitán Pitot



El chat del Capitán Pitot, abajo a la derecha.

El Capitán Pitot está siempre a mano en un chat abajo a la derecha, en cualquier pantalla. Pregúntale cómo se hace algo, dónde está una opción o qué significa un aviso («¿cómo configuro mi radio?», «¿dónde está la geovalla?»).

- **En la web** responde la IA con este manual como base y con lo que estás haciendo: la pantalla, la aeronave, el modo y tu último vuelo. Si algo no está en el manual, te lo dice. Puede leer las respuestas en voz alta (botón del altavoz).
- **Sin IA** (en la versión sin conexión, o si no hay red o se llega al límite del día) te dice en qué capítulo y apartado del manual está tu duda, con un enlace para abrirlo.
- Se minimiza con **—** y se vuelve a abrir con su pestaña. Mientras vuelas armado o ves una repetición se aparta solo para no tapar el OSD, y vuelve al desarmar. Recuerda la conversación.

Comparar con un log real

Carga un log de tu avión real (.bin de ArduPilot, .log de texto o un CSV del simulador). Sus datos aparecen superpuestos con línea discontinua en las gráficas, con un desfase ajustable para alinearlos y el número de celdas para la tensión.

Investigación de un vuelo real

Como hace una aerolínea tras un incidente con la caja negra: en **Análisis**, encima de la caja negra, **Investigar un log (.bin o .log)** carga el log de ArduPilot de tu avión o tu dron (ArduPlane, QuadPlane o ArduCopter) y lo repite en 3D en una pantalla de investigación. El log se lee en tu ordenador y no se sube.

- **Arriba a la izquierda, tercera persona**: persecución, órbita (arrastra con el ratón y usa la rueda para acercarte) o desde el piloto en tierra.
- **Arriba a la derecha, primera persona con OSD**: horizonte, modo, armado, tensión total y por celda, corriente y consumo, velocidad del aire y del suelo, altura y vario, satélites y HDOP, distancia a casa, vibración, rumbo y el tiempo. Cuando pasa algo grave, sale un aviso en rojo en el centro.
- **Abajo, los parámetros del vuelo**, todos con el mismo eje de tiempo: altura, velocidades, vario, alabeo y cabeceo (deseados por el autopiloto y reales), gas y motores, tensión por celda, corriente, vibración (con las líneas de 30 y 60 m/s²), satélites y el ratio de innovación del EKF. Arriba van los modos y los hallazgos como triángulos de color. Clic o arrastrar para ir a un momento; `Ctrl` + rueda para acercar y doble clic para verlo todo.
- **A la derecha, el Capitán Pitot**: presenta el vuelo, te para en cada hallazgo y te lo explica en voz alta. Debajo están los hallazgos (toca uno para ir a ese momento), la cronología del log (armado, modos con su motivo, errores ERR, mensajes y eventos) y, en la web con tu cuenta, **Investigar con IA**.

Los hallazgos por reglas buscan: el log cortado con la aeronave armada en el aire, failsafes y cambios de modo por un fallo (radio, batería, GPS, EKF, geovalla…), vibraciones por encima de 30 y 60 m/s² y el clipping del acelerómetro, el EKF rechazando medidas, GPS débil, batería baja bajo carga o con caídas bruscas, pérdida de control (la actitud real a más de 20° de la que pide el autopiloto), motores al límite, velocidad por debajo de la mínima en ala fija, bajadas rápidas cerca del suelo, tomas duras o con mucha inclinación y vuelos por encima de 120 m.

Investigar con IA (cuenta como un análisis del día) envía solo un resumen: la cronología, los hallazgos y una serie compacta de los datos. El Capitán Pitot devuelve la causa probable con su confianza, los factores, las recomendaciones, qué practicar en el simulador y una narración por segundos que sustituye a la de las reglas en la repetición.

Si el log tiene GPS, el vuelo se ve **en su sitio real**: se carga el terreno real (relieve y ortofoto) alrededor de la casa del log. El botón del terreno vuelve al escenario simulado. La altura es la del log sobre el punto de despegue, así que si aterrizas en un sitio más alto o más bajo que la casa, el avión puede quedar algo por encima o por debajo del suelo. Se ve con la aeronave elegida en el simulador: si el log es de un multirrotor, elige un dron para verlo con su forma. Con varios vuelos en el mismo log, arriba eliges cuál. `Espacio` reproduce o para, las flechas mueven 5 s y `Esc` cierra. Al cerrar, todo vuelve a como estaba (casa, terreno, cámara y la caja negra de tu último vuelo simulado).

Vuélalo tú: recrear el incidente y salvarlo

Cada hallazgo de la lista tiene ✈ **Vuélalo tú**: el simulador te deja unos segundos antes (10, o 15 si es una toma) en el mismo sitio, altura, rumbo, velocidad y modo del vuelo real, con una cuenta atrás de 3 segundos, y tomas los mandos con tu emisora. En el mismo momento que en el vuelo real salta el fallo equivalente: **radio** (vuelve a los 12 s para que recuperes el mando), **batería** o **GPS**; en los demás (vibraciones, pérdida, toma dura…) se recrea el momento para que lo vueles mejor. Termina si te estrellas, si aterrizas o 45 s después sin problemas, y el Capitán Pitot compara con lo que pasó de verdad. ⟲ **Otra vez** repite el intento y **Volver a la investigación** te deja donde estabas. ✈ **Vuela desde aquí**, en la barra de reproducción, te da los mandos en el momento que estés viendo, sin fallo. Cada

intento queda en el logbook como un vuelo de simulador y en el informe PDF. Se vuela con la aeronave elegida en el simulador y con su modo más parecido si no tiene el del log.

Informe de investigación en PDF

📄 **Informe PDF**, arriba, crea un informe para guardar o enviar (a un cliente, a un seguro o para el historial de la aeronave): datos del vuelo, la conclusión del Capitán Pitot si lo has investigado con IA, los hallazgos explicados, la trayectoria vista desde arriba con los hallazgos numerados, capturas de los momentos clave en tercera y primera persona con OSD, las gráficas de los parámetros, tus recreaciones y la cronología del log.

Mantenimiento de la flota (predictivo) y lista prevuelo

Como el control de componentes de una aerolínea, para tus aeronaves reales. En **Análisis › Mantenimiento de la flota** cada aeronave tiene su historial: cada log que investigas se guarda en él (la aeronave se reconoce sola por los identificadores de sus sensores, que vienen en los parámetros del log; la primera vez eliges a qué aeronave va o le pones nombre). Con **Añadir logs** metes varios de golpe. En la investigación puedes poner el nombre de la **batería** de ese vuelo para seguir su desgaste.

- **Métricas de cada vuelo**: vibración media y clipping, gas y corriente en hover, corriente en crucero, salida de cada motor en hover (desequilibrio), resistencia interna de la batería (por la caída de tensión en los saltos de corriente), tensión mínima, consumo, EKF, GPS y los hallazgos.
- **Tendencias y alertas**: desde el cuarto vuelo, el último se compara con la mediana de los anteriores: vibración que sube (hélice tocada o rodamiento), gas o corriente de hover que suben (más peso o menos empuje), un motor que trabaja más que los demás, baterías que envejecen, tensión al límite y hallazgos que se repiten. Las gráficas enseñan cada valor vuelo a vuelo con su línea habitual.
- **Tareas de mantenimiento** por horas, vuelos o días (hélices, tornillería, rodamientos, tilts, superficies, estructura, conectores, Pitot, calibraciones, copia de parámetros y prueba del failsafe), con su barra de uso y **Hecho**. Puedes sumar las horas y vuelos de antes de AIRLAB.
- **Baterías**: vuelos, resistencia interna del principio a ahora, tensión mínima y consumo típico de cada una.

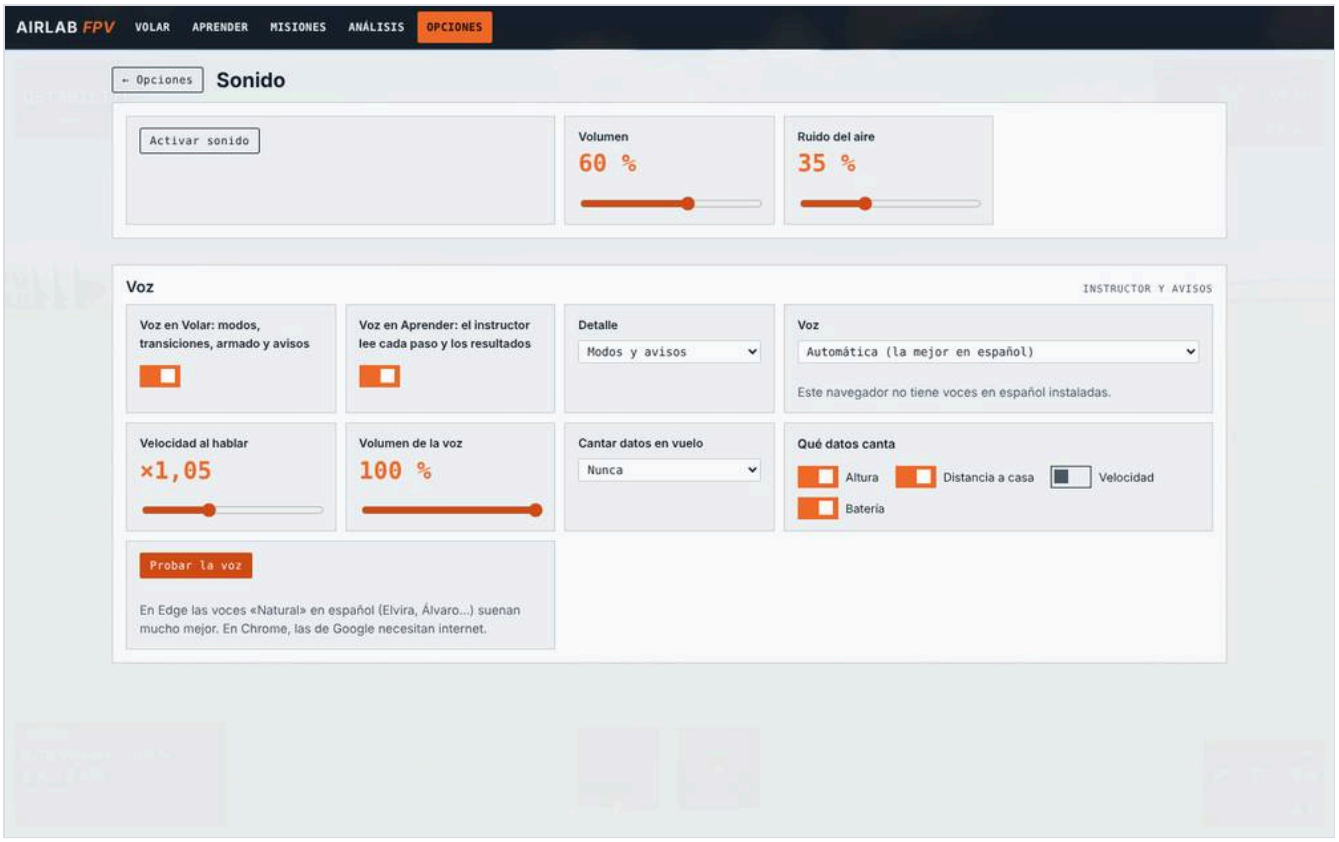
📋 **Lista prevuelo**: se genera para cada aeronave con lo del último vuelo (por ejemplo, tras vibraciones, revisar hélices y motores; tras un GPS débil, esperar a 10 satélites), las alertas, el mantenimiento pendiente y lo de antes de cada vuelo según su tipo. Se marca en pantalla y se saca en PDF. En la web con tu cuenta, **En el móvil** enseña un QR que abre la lista en el móvil para marcarla en el campo: ese QR es siempre el mismo para la aeronave y enseña siempre la última lista, así que puedes imprimirlo (sale también en el PDF) y pegarlo en el avión. El historial se guarda en el navegador y, con cuenta, en el servidor para tenerlo en cualquier ordenador; también se puede exportar e importar.

Logs del avión por WiFi

Para no tener que conectar el cable ni sacar la tarjeta. La **CoreWing F405 Wing V2** (la «APP») ya trae WiFi: su módulo integrado crea la red «CoreWing WING-WiFi» (contraseña `88888888`, IP `192.168.1.1`, TCP 4278) con el MAVLink del SERIAL1, y AIRLAB Conector la busca sola. En otras controladoras vale un **ESP32** pequeño (por ejemplo un ESP32-C3 SuperMini) con el firmware libre **DroneBridge**, conectado a un puerto serie libre de la controladora (en la CoreWing F405 Wing, el UART4: `SERIAL4_PROTOCOL = 2`, `SERIAL4_BAUD = 921`), crea un WiFi con el MAVLink de ArduPilot. **AIRLAB Conector** lo busca solo (en `dronebridge.local` o `192.168.2.1`, TCP 5760) y, con el avión desarmado, baja los logs `.bin` nuevos a **Documentos › AIRLAB Logs**; no repite los que ya tiene.

- En **Análisis › Mantenimiento de la flota**, el recuadro **Logs del avión por WiFi** enseña si el ESP32 está conectado, el log que se está bajando con su velocidad y los que han llegado. Con **Importar solos al llegar**, cada log nuevo entra en el historial de su aeronave sin pulsar nada.
- **En casa**: pon DroneBridge en modo cliente de tu WiFi; al encender el avión cerca del Mac, los logs llegan solos. **En el campo**: modo punto de acceso; une el portátil a la red del ESP32.
- Solo se mandan peticiones de log (las mismas que QGroundControl en Analyze › Log Download), con el sistema 253 para no tocar el failsafe de GCS. El ESP32 emite en 2,4 GHz como ExpressLRS: móntalo lejos del receptor y haz una prueba de alcance con él encendido.

20 Sonido y voz



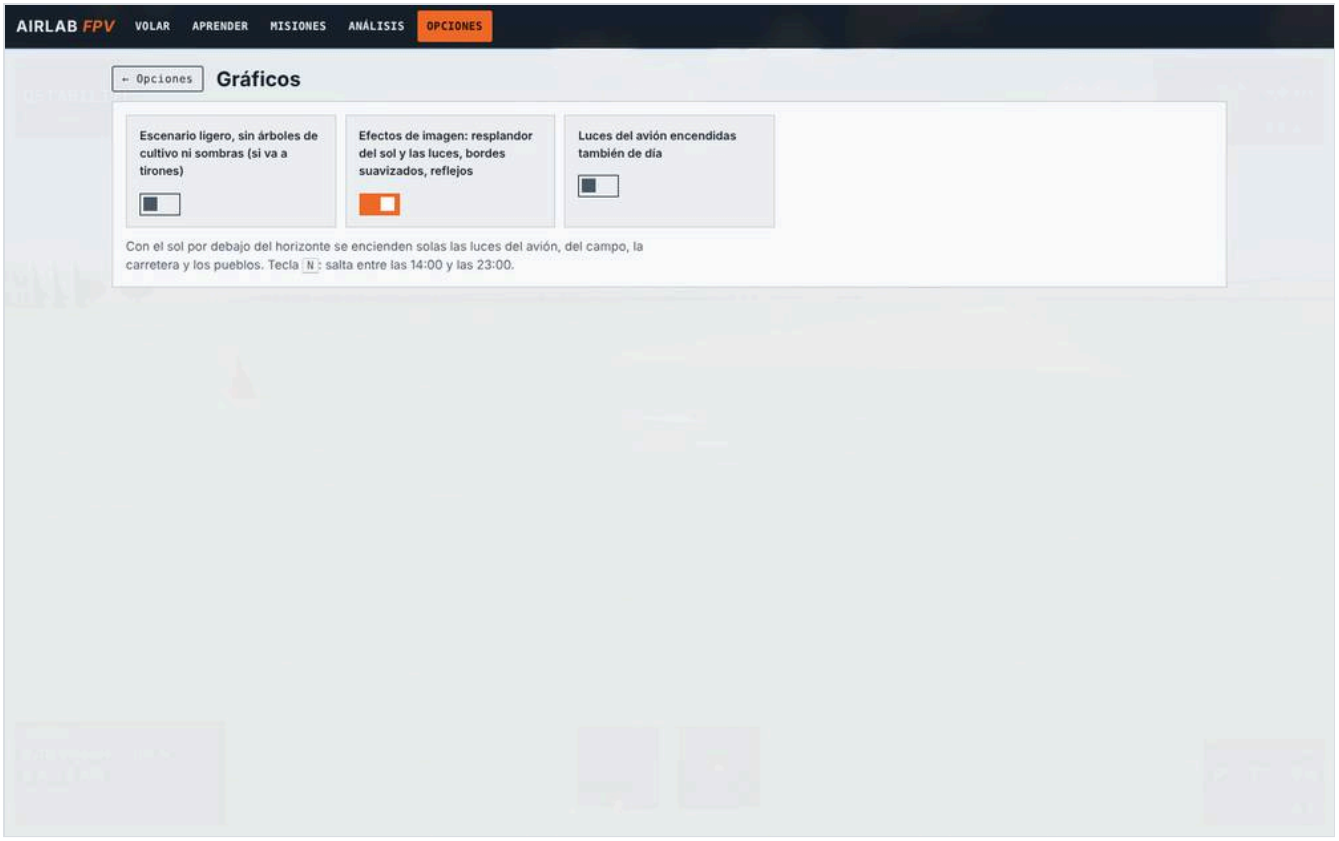
Opciones › Sonido.

Sonido: motores, viento y avisos, con volumen general y del ruido del aire. El navegador exige un clic o una tecla antes de reproducir sonido. Tecla `M` para activarlo o desactivarlo.

Voz

- **En Volar**: anuncia modos, armado, fases de la transición, despegue y aterrizaje, y avisos (batería, señal de radio y de vídeo, failsafes, GPS Rescue, pérdida, anillo de vórtice, vuelve ya, impacto).
- **En Aprender**: el instructor lee cada paso, te corrige, te anima y anuncia resultados.
- **Detalle**: solo avisos, modos y avisos, o todo con explicaciones (la primera vez que entras en un modo te explica qué hace).
- **Cantar datos** cada 15 s, 30 s o 1 minuto: altura, distancia a casa, velocidad y batería.
- **Voz, velocidad y volumen**. En Edge, las voces «Natural» en español (Elvira, Álvaro) suenan mucho mejor.

21 Gráficos y rendimiento



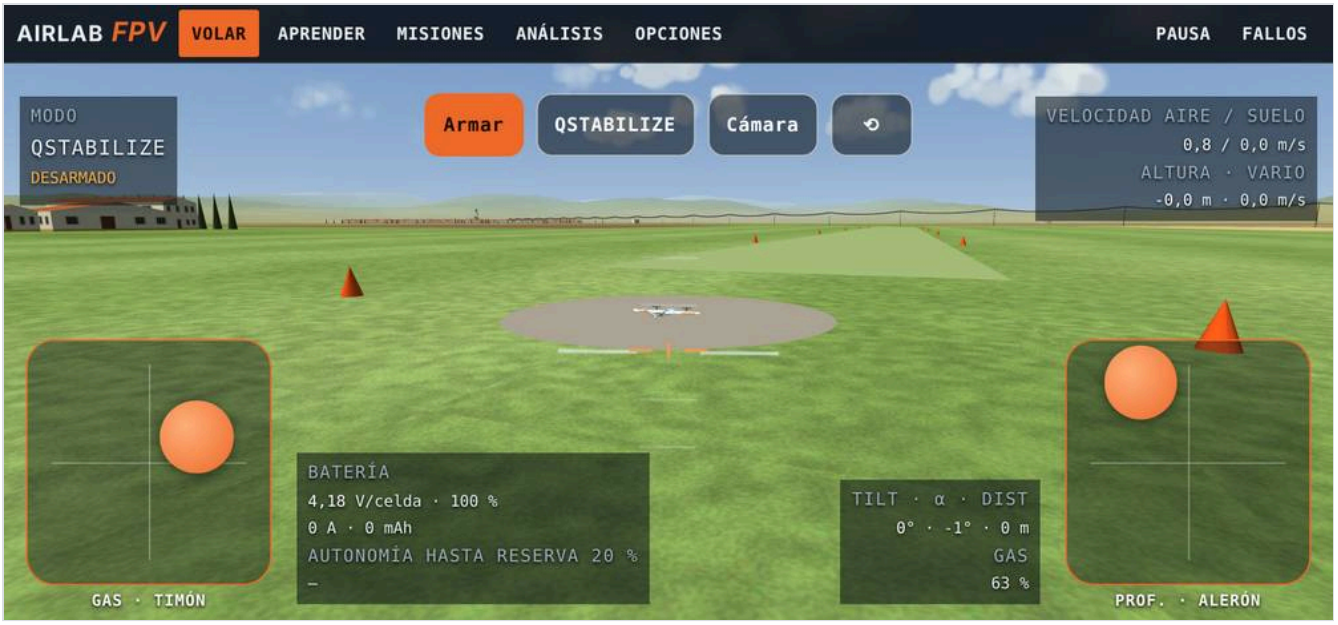
Opciones › Gráficos.

- **Escenario ligero**: quita árboles de cultivo y sombras. Actívalo si el vuelo va a tirones.
- **Efectos de imagen**: resplandor del sol y las luces, bordes suavizados y reflejos. Consumen más.
- **Luces de día**: enciende las luces del avión también de día.

Los árboles son olivos, encinas, pinos piñoneros y cipreses con copas irregulares, hojas con brillo plateado (los olivos) y balanceo con el viento. Los escenarios de relieve tienen hasta unos 9.000 árboles y 7.000 matorrales: si en tu ordenador van lentos la sierra o la presa, activa el escenario ligero.

> **Si va lento**
> Cierra otras pestañas, activa el escenario ligero, desactiva los efectos, y en portátiles conecta el cargador para que la tarjeta gráfica no se limite.

22 Uso en el móvil



Vuelo en un móvil en horizontal con sticks táctiles.

- **Pon el móvil en horizontal**. En vertical aparece «Gira el móvil para volar». En Android, al entrar a volar se pone a pantalla completa y bloquea la horizontal; en iPhone basta con girarlo.
- **Sticks táctiles**: el del gas no vuelve al centro y se mueve arrastrando desde donde apoyas el dedo; el otro vuelve al centro al soltar. Siguen el Modo 1 o 2.
- **Botones** arriba en el centro: armar, modo, cámara y reiniciar.
- **Radio o mando**: en Android puedes conectar la radio por USB-C con un cable OTG; en Android y iPhone, un mando Bluetooth. Los sticks táctiles se ocultan solos.
- El escenario ligero se activa solo la primera vez para que vaya fluido.

23 Atajos de teclado

Tecla	Acción	Tecla	Acción
`W` / `S`	Subir y bajar gas	`Espacio`	Armar o desarmar
`↑` / `↓`	Profundidad	`1`–`0`	Modos (los diez primeros)
`←` / `→`	Alerón	`C`	Cambiar de cámara
`A` / `D`	Timón	`R`	Reiniciar en tierra
`N`	Día o noche	`M`	Sonido
`Esc`	Menú de inicio y pausa	`Intro`	Vuelo libre (en el inicio)
`V`	Empezar o parar la grabación de vídeo	`G`	Visor en el móvil (modo espectador)
`L`	Planeador: soltar el remolque	`K`	Planeador: mapa meteorológico
En el editor de OSD: flechas para mover el elemento seleccionado y `Supr` para quitarlo.			

24 Solución de problemas

Problema	Solución
La radio no aparece	Usa Chrome o Edge en un ordenador, elige «USB Joystick (HID)» en la emisora y mueve un stick con el simulador abierto. Prueba otro cable USB: muchos solo cargan.
Un canal no se mueve (por ejemplo el armado)	En EdgeTX › USB Joystick, comprueba que ese canal está activado como Axis o Btn. El monitor de Opciones › Radio indica cuántos ejes y botones envía la radio.
Un stick va al revés	Activa «Invertir» en ese canal. La profundidad: stick hacia delante = morro abajo.
El modo no cambia con el interruptor	Revisa los rangos del interruptor de modos y qué modo tiene cada posición.
No arma	Mira la ventana «Antes de volar»: lo que está en rojo es lo que falla. Lo más habitual: gas abajo del todo, esperar a que el GPS vea 6 satélites, o reiniciar tras un impacto.
El vídeo grabado no tiene la voz	Es normal: el navegador no deja grabar la voz sintetizada. Sí graba los motores y el viento.
Va a tirones	Escenario ligero, efectos desactivados, otras pestañas cerradas.
No suena	Haz clic en la vista o pulsa una tecla: el navegador lo exige. Comprueba Opciones › Sonido.
La voz suena robótica	Usa Edge y elige una voz «Natural» en español.
Vuelo real: el puerto UDP 14550 está ocupado	QGroundControl o Mission Planner están abiertos. Ciérralos del todo (Cmd+Q) y vuelve a abrir AIRLAB Conector.
Conectar dice que el conector no está abierto	Doble clic en «AIRLAB Conector» del Escritorio. Si no existe, instálalo desde esa misma página (capítulo 27).
ArduPilot real: «ArduPilot no está compilado»	Hay que compilarlo una vez: `bash ~/AIRLAB/compilar-ardupilot.sh` en el Terminal (capítulo 27).
ArduPilot real: el interruptor de armado está arriba y no arma	Debajo sale en rojo el motivo. Mientras ArduPilot no está listo (GPS y EKF, unos 40 s) lo reintenta solo cada 4 s. Si dice «Throttle…», baja el gas del todo; si es otro PreArm de tu `.param`, corrígelo (capítulo 27.6).
ArduPilot real: «PreArm: Gyro 0 rate … < loop rate*1.8»	La física tiene que ir al menos a 1,8 veces el bucle de ArduPilot: `SCHED_LOOP_RATE 200` y `SIM_RATE_HZ 400`. Al cargar tu `.param` desde el panel se ponen solos.
ArduPilot real: «Duplicate Aux Switch Options»	Dos canales con la misma función (por ejemplo, armado en el 5 y en el 7). Cargando tu `.param` desde el panel con el conector 1.2 se resuelve solo.
El conector sigue diciendo la versión antigua tras instalar	Chrome guardó el instalador nuevo como `airlab-instalar (1).sh` y se ejecutó el viejo. Borra los `airlab-instalar*.sh` de Descargas, vuelve a descargarlo y ejecútalo.
ArduPilot real: no arma tras un choque	Pulsa **Reiniciar**: el conector reinicia ArduPilot y el avión vuelve a la pista. Espera otra vez al GPS (unos 40 s).

Vuelo real: va lento o a saltos	Quita la conexión automática UDP de QGroundControl (cambia las frecuencias MAVLink), revisa `MAVn_*` del puerto del receptor o sube la packet rate (capítulo 26).
Vuelo real: conectado, pero el avión no se mueve	Sin posición GPS el avión se queda en la plataforma; la actitud, los mandos y el modo sí se mueven.
Un escenario de relieve va lento	Activa el escenario ligero en Opciones › Gráficos o vuelve a la campiña.
«El simulador está abierto en otro dispositivo»	Solo puede estar abierto en un sitio a la vez. Ciérralo en el otro y vuelve a abrirlo.

25 Glosario

ArduPilot / ArduPlane	Autopiloto de código abierto; ArduPlane es su versión para aviones, que incluye los VTOL (QuadPlane).
Betaflight	Firmware de controladora muy usado en drones FPV de freestyle y carreras.
Tilt-rotor	VTOL cuyos motores giran de vertical a horizontal para pasar de hover a avión.
Transición	Paso de vuelo vertical a vuelo de avión, o al revés.
Failsafe	Acción automática ante un fallo, como la pérdida de radio o de batería.
Rates	Velocidad de giro que produce cada posición del stick.
Expo	Curva que suaviza la respuesta del stick alrededor del centro.
OSD	On-Screen Display: datos superpuestos a la imagen de la cámara.
LQ / RSSI	Calidad del enlace de radio en % y potencia de la señal recibida en dBm.
VTX	Transmisor de vídeo de la aeronave.
ELRS	ExpressLRS, sistema de radio de código abierto muy usado en FPV.
SITL	Software In The Loop: el código real de ArduPilot ejecutándose en el ordenador; en AIRLAB FPV, con la física del simulador (capítulo 27).
AIRLAB Conector	Programa del ordenador que une el simulador con la telemetría del avión real y con ArduPilot SITL.
MAVLink	Protocolo de mensajes de ArduPilot y PX4 entre el autopiloto y la estación de tierra.
Backpack	Pequeño procesador con WiFi dentro del módulo ELRS de la emisora; en modo MAVLink reenvía la telemetría por WiFi.
Link Mode	Modo del enlace ELRS: Normal (CRSF) o MAVLink.
Packet rate	Paquetes por segundo del enlace ELRS (por ejemplo 250 Hz). Más rápido, menos alcance y más ancho de banda.
UDP	Forma de enviar datos por red sin conexión; el Backpack manda el MAVLink por UDP al puerto 14550.
Ascendencia de ladera	Aire que sube al chocar el viento con una ladera; permite planear sin motor junto a ella (slope soaring).
Pitot	Sensor que mide la velocidad del aire.
QuadPlane	Configuración de ArduPlane para aviones con motores de vuelo vertical.
Elevón	Superficie de mando de las alas volantes que hace a la vez de alerón y de profundidad.
4+1	QuadPlane con cuatro motores de elevación fijos y uno de avance.
Geovalla	Límite de radio, altura o polígono que el autopiloto no deja cruzar sin reaccionar.
Punto de reunión	Rally point: lugar alternativo al que vuelve el RTL si está más cerca que casa.

Fotogrametría	Medición y mapas a partir de muchas fotos con solape, tomadas en pasadas paralelas.
GSD	Distancia de muestreo en el suelo: lo que mide en el terreno cada píxel de la foto (cm/px).
Solape	Parte que comparten dos fotos seguidas (frontal) o dos pasadas (lateral).
Ortomosaico	Imagen del terreno compuesta con muchas fotos y corregida para que todo se vea en vertical y a escala.
NDVI / NDRE	Índices de vegetación con el infrarrojo cercano y el rojo o el borde rojo.
Reflectancia	Fracción de la luz que refleja una superficie en cada banda; se obtiene calibrando con un panel de reflectancia conocida.

AIRLAB FPV no está afiliado a ArduPilot, Betaflight, DJI, ExpressLRS, EdgeTX, Flightory, RadioMaster ni QGroundControl; sus nombres se citan solo para describir compatibilidades y comportamientos. Ortofoto: PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional (CC BY 4.0). Relieve: Terrain Tiles de Mapzen en AWS Open Data.

26 Guía paso a paso: telemetría ELRS MAVLink por WiFi

Este capítulo cuenta, paso a paso, cómo se conectó un avión real al simulador con la telemetría MAVLink de ExpressLRS y el WiFi del Backpack de la emisora, con los problemas que aparecieron y cómo se resolvieron. Es la configuración que usa el panel **Vuelo real con instructor** (capítulo 16). Los valores son los de este montaje: si tu equipo es otro, los pasos son los mismos, pero comprueba los nombres de tu receptor y de tu emisora.

Pieza	En este montaje
Emisora	RadioMaster TX15 con módulo ELRS 2,4 GHz interno y TX Backpack (EdgeTX)
Receptor	RadioMaster RP4TD (ELRS 2,4 GHz, diversity real, chip ESP con WiFi)
Controladora	CoreWing F405 Wing con ArduPlane 4.7 (Stallion VTOL); el receptor va a la UART de `SERIAL6`
Ordenador	Portátil Mac con QGroundControl, Python 3 y Chrome
Versiones finales	ELRS 3.5.6 en emisora y receptor · Backpack 1.5.9

26.1 Cómo viaja la información

1. **Controladora → receptor.** ArduPilot habla MAVLink por `SERIAL6` a 460 800 baudios con el RP4TD.
2. **Receptor → emisora.** El enlace ELRS de 2,4 GHz lleva los mandos hacia el avión y la telemetría MAVLink de vuelta. En modo MAVLink la proporción de telemetría queda fija en 1:2.
3. **Módulo interno → Backpack.** El módulo de la TX15 entrega el MAVLink al Backpack, que abre su propia red WiFi (punto de acceso en `10.0.0.1`) y emite los paquetes por UDP al puerto **14550**.
4. **Backpack → Mac.** El portátil, conectado a esa red, recibe el UDP. Un navegador no puede abrir UDP, así que **AIRLAB Conector** lo recoge y lo sirve en `http://127.0.0.1:14580/stream`.
5. **Mac → simulador.** El panel **Vuelo real con instructor › Puente WiFi** lee ese flujo y lo mete en el estado del simulador: 3D, OSD, avisos, caja negra y debrief.

> **Los mandos también van por MAVLink**
>
> En modo MAVLink los mandos llegan a la controladora como mensajes MAVLink de la «estación de tierra» con identificador 255 (el que usa ELRS por defecto). Por eso el puerto deja de ser una entrada RC (`SERIAL6_PROTOCOL` = 23) y pasa a ser MAVLink, y por eso `MAV_GCS_SYSID` tiene que valer 255.

26.2 Requisitos

- Emisora y receptor ELRS con chip **ESP** (los que tienen WiFi). Los STM32 no admiten MAVLink.
- **ELRS 3.5.0 o superior** en emisora y receptor, y **Backpack 1.5.0 o superior**.
- Con MAVLink activo, el modo de interruptores queda en Hybrid o 16ch/2. El modo Wide no está admitido.

- Un módulo interno como el de la TX15 no puede sacar la telemetría por USB: hace falta el Backpack por WiFi.

26.3 Paso 1 · Comprobar el enlace y las versiones

1. Enciende la emisora y el avión (sin hélices). En la TX15 pulsa SYS y abre **Tools › ExpressLRS**.
2. Mira la esquina de arriba a la derecha del script: una **C** indica que emisora y receptor están enlazados. En este montaje la C salía desde el principio: el receptor estaba enlazado.
3. La cabecera del script muestra la versión del módulo de la emisora. En **Other Devices** aparece el receptor; al entrar en él se ve su versión y sus opciones.
4. Busca la opción de protocolo **MAVLink** del receptor. **En este montaje no aparecía**: el receptor tenía una versión anterior a la 3.5 y hubo que actualizarlo (paso 2).

26.4 Paso 2 · Actualizar el receptor RP4TD por WiFi

a) Preparar el firmware antes de nada, con internet

El receptor no trae el archivo de firmware: se genera en el ordenador con **ExpressLRS Configurator**, la aplicación oficial (no la página web del receptor). Genera el archivo **antes** de conectarte al WiFi del receptor, porque esa red no tiene internet y el Configurator necesita descargar la versión.

1. Instala y abre **ExpressLRS Configurator** en el Mac.
2. Elige **Official Releases** y la versión **3.5.6** (la misma rama que la emisora).
3. **Device category**: RadioMaster 2.4 GHz. **Device**: el RP4TD (receptor 2,4 GHz).
4. **Flashing method**: **WiFi**.
5. **Regulatory domain**: el mismo que la emisora (obligatorio; si no coinciden, no enlazan). **Binding phrase**: la misma que la emisora, si usas frase.
6. Pulsa **Build**. Se abre una carpeta temporal con `firmware.bin.gz`. **No lo descomprimas** y deja la carpeta abierta.

b) Poner el receptor en modo WiFi y abrir su página

1. Pon el receptor en modo WiFi de una de estas dos formas:
   · **Automático**: alimenta el avión con la emisora apagada y espera unos 60 s. El LED pasa a parpadear rápido.
   · **Desde la emisora** (con el receptor enlazado): script ExpressLRS › **WiFi Connectivity › Enable RX WiFi**.
2. En el Mac, abre la lista de redes WiFi y conéctate a **ExpressLRS RX** (contraseña `expresslrs`).

> **No confundas las dos redes**
> En este montaje la que aparecía al principio era **ExpressLRS TX Backpack…**: es la red del Backpack de la **emisora**, no la del receptor. La del receptor se llama **ExpressLRS RX** y solo aparece con el receptor en modo WiFi.

3. En el navegador, abre `http://10.0.0.1`. Aparece la página del receptor con su versión y su modelo. Entra en la pestaña **Update** (en versiones antiguas, la sección *Firmware Update* de la misma página).

4. En **Seleccionar archivo**, elige el `firmware.bin.gz` de la carpeta temporal del Configurator y pulsa **Update**.
5. Espera uno o dos minutos sin desconectar nada, hasta el aviso de actualización correcta. El receptor se reinicia y el LED vuelve a su patrón normal.
6. Vuelve a la red WiFi de siempre en el Mac. En la emisora, script ExpressLRS › Other Devices: el receptor muestra ya **3.5.6** y la C vuelve a aparecer.

26.5 Paso 3 · Emisora y Backpack

- **Módulo interno de la emisora**: ya tenía una versión 3.5.x, así que no hubo que tocarlo. Si el tuyo tiene una anterior: script ExpressLRS › **WiFi Connectivity › Enable WiFi**, conecta el Mac a la red **ExpressLRS TX** (contraseña `expresslrs`), abre `http://10.0.0.1` › Update y sube el `firmware.bin` generado con el Configurator para el módulo interno de tu emisora (categoría RadioMaster 2.4 GHz, método WiFi). La primera vez desde una versión de fábrica muy antigua, la guía oficial pide pasos previos: consúltala antes.
- **Backpack**: en el script, el menú **Backpack** muestra su versión. En este montaje era la **1.5.9**, válida (hace falta 1.5.0 o superior).

26.6 Paso 4 · Receptor en protocolo MAVLink

1. Script ExpressLRS › **Other Devices** › el receptor.
2. Pon el protocolo de salida serie en **MAVLink**. En ELRS 3.x se hace aquí; desde ELRS 4 se pone solo al cambiar la emisora a MAVLink.

26.7 Paso 5 · Link Mode en la emisora

Link Mode es el modo del enlace del módulo de la emisora. **Normal** es el modo de siempre: mandos y telemetría en el formato CRSF de ELRS, el que lee el receptor como entrada RC. **MAVLink** mete los mandos y la telemetría en mensajes MAVLink.

1. Apaga el avión (el receptor tiene que estar **desconectado**).
2. Script ExpressLRS, menú principal › **Link Mode** › **MAVLink**. Si el receptor está conectado, la emisora contesta **«Not while connected»**: apaga el avión y repite.
3. Ajusta la potencia y la **Packet Rate**. Este montaje usó **250 Hz**. En MAVLink la telemetría queda en 1:2 y no se puede cambiar.
4. Enciende el avión y espera a que vuelva la **C**.

> **Packet rate y ancho de banda**
>
> Más hercios dejan pasar más telemetría, pero acortan el alcance. Como referencia, la documentación de ELRS estima unos 590 B/s de bajada a 250 Hz, unos 1470 B/s a 333 Hz Full y unos 2375 B/s a F1000/K1000. Si el simulador va a saltos, 500 Hz duplica aproximadamente el ancho de banda de 250 Hz. Prueba siempre el alcance en tierra después de cambiarlo. Una estrategia útil: frecuencia alta en tierra para descargar parámetros o subir misiones, y la de siempre para volar.

26.8 Paso 6 · ArduPilot (QGroundControl › Parámetros)

Con el avión conectado por USB a QGroundControl, cambia estos parámetros y reinicia la controladora. Son nombres de **ArduPilot 4.7**; entre paréntesis, el nombre antiguo.

Parámetro	Valor	Por qué
`SERIAL6_PROTOCOL`	2 (MAVLink2)	El receptor pasa de entrada RC (23) a MAVLink.
`SERIAL6_BAUD`	460 (460 800)	La velocidad que usa ELRS en MAVLink.
`RSSI_TYPE`	5	RSSI de la radio de telemetría (MAVLink).
`MAV_GCS_SYSID` (`SYSID_MYGCS`)	255	Identificador de la estación que manda los mandos; ELRS usa 255 por defecto.
`MAV3_*` (`SR6_*`)	ver abajo	Frecuencias de los mensajes en el puerto del receptor.

Qué número tiene tu puerto. ArduPilot numera los canales MAVLink por orden entre los puertos configurados como MAVLink. En este montaje: **MAV1** = USB, **MAV2** = `SERIAL1` , **MAV3** = `SERIAL6` (el receptor). Si pones otro puerto en MAVLink, la numeración cambia.

Grupo (puerto del receptor)	Mensajes que usa el simulador	Valor de partida
`MAV3_EXTRA1`	ATTITUDE (actitud)	4
`MAV3_EXTRA2`	VFR_HUD (velocidades, altura, gas)	4
`MAV3_POSITION`	GLOBAL_POSITION_INT (posición)	2
`MAV3_EXT_STAT`	SYS_STATUS (batería, sensores), GPS_RAW_INT	1
`MAV3_EXTRA3`	BATTERY_STATUS, WIND, estado VTOL	1
`MAV3_RC_CHAN`	RC_CHANNELS (sticks en pantalla)	1
`MAV3_RAW_SENS`	—	0 o 1
`MAV3_RAW_CTRL` , `MAV3_PARAMS` , `MAV3_ADSB`	—	**0** (la documentación de ELRS pide dejarlos a 0)

La documentación de ELRS propone 1 en todos los grupos salvo los tres últimos. Los valores de la tabla suben la actitud y el VFR_HUD, que son los que necesita el instructor (2 o más mensajes por segundo). Si con 250 Hz no llegan, baja `MAV3_EXTRA3` y `MAV3_RC_CHAN` o sube la packet rate.

> **QGroundControl cambia las frecuencias**
>
> Con el Mac en el WiFi del Backpack, QGroundControl se conectaba solo por UDP y subía las frecuencias del puerto del receptor (por ejemplo, `MAV3_EXTRA1` a 10). El enlace se saturaba y todo iba lento. Solución: en QGroundControl, **Application Settings › General › AutoConnect** (en versiones nuevas, **Comm Links**), quita la conexión automática por **UDP**, y vuelve a poner tus valores. Opcional: ArduPilot 4.7 tiene `MAV3_OPTIONS` bit 2 («ignorar cambios de frecuencia pedidos por la estación»), que impide que ninguna estación de tierra las cambie.

26.9 Paso 7 · El WiFi del Backpack

1. Script ExpressLRS › **Backpack › Telemetry › WiFi**.

> **No uses «WiFi Connectivity › Enable Backpack WiFi»**
> Esa opción pone el Backpack en modo de actualización de firmware y no manda telemetría.

2. En el Mac, conéctate a la red **ExpressLRS TX Backpack XXXXXX** (contraseña `expresslrs`). Las X son parte del identificador de tu módulo.
3. Comprobación: en el navegador, `http://10.0.0.1` abre la página del Backpack con las estadísticas MAVLink.
4. Desactiva cualquier cortafuegos que bloquee UDP. En el Mac, si macOS pregunta si Python puede aceptar conexiones entrantes, di que sí.

26.10 Paso 8 · AIRLAB Conector en el Mac

En este montaje se usó al principio un programa suelto, `airlab-puente.py`, lanzado con un comando en el Terminal. Ahora lo hace **AIRLAB Conector**, que también sirve para el ArduPilot real (capítulo 27) y se abre con doble clic.

1. **Una sola vez:** instala el conector desde **Conectar**: descarga `airlab-instalar.sh` y pega en el Terminal `bash ~/Downloads/airlab-instalar.sh`. Aparece «AIRLAB Conector» en el Escritorio.
2. **Cierra QGroundControl y Mission Planner del todo** (`Cmd`+`Q`): si están abiertos ocupan el puerto 14550.
3. Doble clic en **AIRLAB Conector**. Se abre una ventana de Terminal: déjala abierta mientras vuelas.
4. Lo que debe salir: «Vuelo real: escuchando la telemetría del Backpack (UDP 14550)» y, con el avión encendido, «Vuelo real: recibiendo telemetría de 10.0.0.1:...». Cada 10 s, una línea con los paquetes por segundo. En este montaje llegaban 5 o 6 paquetes por segundo a 250 Hz.
5. Para cerrarlo, `Ctrl`+`C` o cierra la ventana.

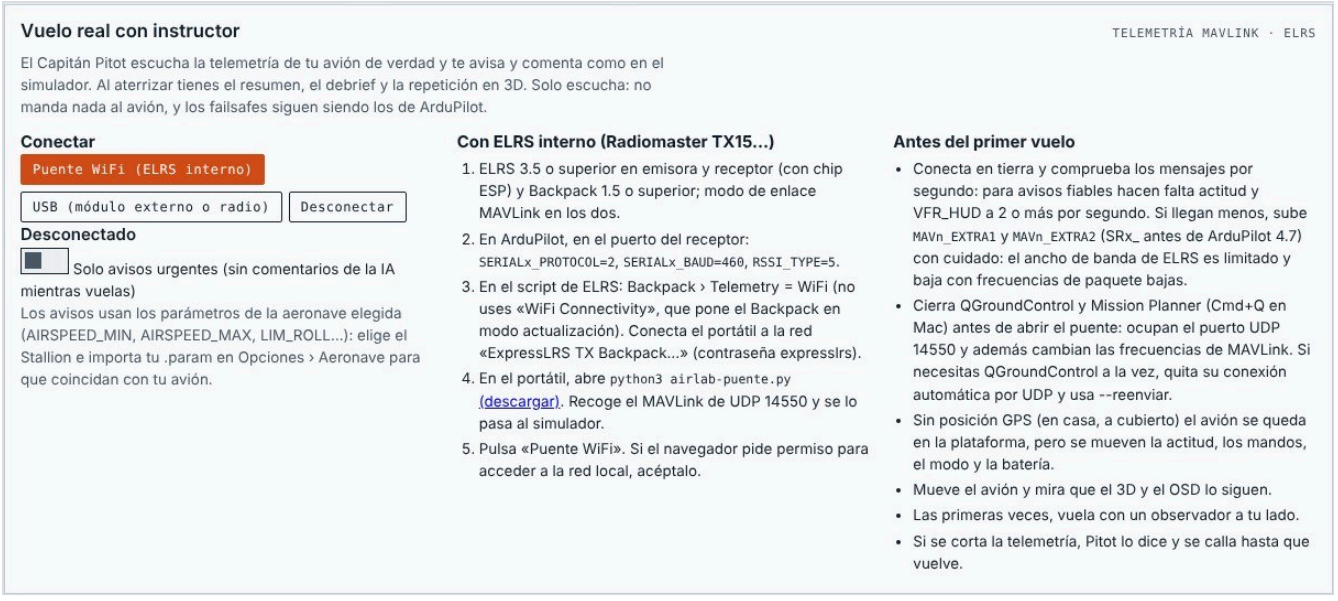
Lo que ves	Qué pasa
«el puerto UDP 14550 lo usa otro programa...»	QGroundControl o Mission Planner siguen abiertos. Ciérralos con Cmd+Q y vuelve a abrir el conector.
No sale «recibiendo telemetría»	No llega nada: comprueba que el Mac está en el WiFi del Backpack, que Backpack › Telemetry está en WiFi, que Link Mode es MAVLink y que hay C.
Conectar: «Simulador sin conectar»	El conector recibe, pero el simulador aún no se ha enganchado: pulsa **Puente WiFi** en el panel.

QGroundControl a la vez. Abre el conector desde el Terminal con `python3 ~/AIRLAB/airlab-conector.py --reenviar 14560`. En QGroundControl quita la conexión automática por UDP y crea un enlace UDP manual en el puerto 14560.

26.11 Paso 9 · El simulador

1. Abre el simulador en Chrome, ve a **Conectar › Vuelo real con instructor** y pulsa **Puente WiFi**. Si el navegador pide permiso para acceder a la red local, acéptalo.

2. El estado pasa a «Conectado al puente, esperando datos del avión...» y, con datos, a ARMADO o desarmado. Debajo, **Mensajes/s**: actitud, posición, latido, batería y tramas malas.
3. Mueve el avión con la mano: el 3D y el OSD lo siguen. Mueve los sticks: los sticks de pantalla también se mueven (vienen de la telemetría).
4. **Sin posición GPS** (en casa o a cubierto), el avión se queda en la plataforma: se mueven la actitud, los mandos, el modo y la batería. Con fijo de GPS, el punto de despegue se toma como casa y el avión se mueve por el escenario.



Conectar › Vuelo real con instructor: conexión, pasos con ELRS interno y comprobaciones antes del primer vuelo.

26.12 Antes de volar en modo MAVLink

> **Prueba de failsafe obligatoria**
>
> En modo MAVLink los mandos llegan a la controladora de otra forma. Antes del primer vuelo, sin hélices: arma en tierra, apaga la emisora y comprueba en QGroundControl que salta el failsafe de radio y que hace lo que tienes configurado (QLAND en este montaje). Vuelve a encender la emisora y comprueba cómo se recupera el control. Repítelo cada vez que cambies algo del enlace.

- Haz una prueba de alcance en tierra con la packet rate con la que vas a volar.
- Comprueba en el panel que la actitud y el VFR_HUD llegan a 2 o más por segundo.
- ¿Empeora el control? Con telemetría 1:2, uno de cada dos paquetes es de telemetría, así que los mandos se actualizan a la mitad de la packet rate (unos 125 por segundo a 250 Hz), de sobra para un avión. El conector y el simulador solo escuchan y no añaden tráfico hacia el avión. Lo que sí recorta alcance es subir la packet rate: no vueles al límite con una packet rate alta.
- Las primeras veces, vuela con un observador a tu lado.

26.13 Internet en el campo

Con el Mac en el WiFi del Backpack no hay internet, y el instructor con IA lo necesita. La solución que se dejó planteada: compartir los datos del iPhone **por cable USB** (Compartir internet) y, en **Ajustes del Sistema › Red**, menú **··· › Establecer orden de los servicios**, poner **iPhone USB** por encima de **Wi-Fi**. El

WiFi sigue recibiendo la telemetría del Backpack y el tráfico de internet sale por el iPhone. Pruébalo en casa antes de ir al campo. La versión sin conexión no usa IA: los avisos por reglas funcionan igual.

26.14 Problemas que aparecieron y solución

Síntoma	Causa	Solución
No aparece la opción MAVLink en el receptor	Receptor anterior a ELRS 3.5	Actualizarlo a 3.5.6 por WiFi (paso 2).
En la lista de redes solo sale «ExpressLRS TX Backpack»	Es la red de la emisora; el receptor no estaba en modo WiFi	Poner el receptor en WiFi y buscar «ExpressLRS RX».
La página del receptor pide un archivo que no tienes	El firmware no viene con el receptor	Generar `firmware.bin.gz` con ExpressLRS Configurator (método WiFi).
«Not while connected» al cambiar Link Mode	El receptor estaba conectado	Apagar el avión, cambiar Link Mode y encender.
El puente dice «Address already in use» o que el puerto está ocupado	QGroundControl tenía el UDP 14550	Cerrar QGroundControl con Cmd+Q y volver a abrir el puente (hoy, AIRLAB Conector).
Todo va lento	QGroundControl conectado por UDP subió `MAV3_*` y saturó el enlace	Quitar la conexión automática UDP de QGroundControl y volver a poner las frecuencias.
Conectado, pero el avión no se mueve	Sin posición GPS a cubierto	Normal: se mueven actitud, mandos y modo; la posición llega con fijo de GPS.
Sin internet para la IA en el campo	El Mac está en el WiFi del Backpack	iPhone por USB con prioridad sobre el Wi-Fi.

26.15 Resumen de valores

Dónde	Ajuste
Receptor (Other Devices)	ELRS 3.5.6 · protocolo MAVLink
Emisora (script ExpressLRS)	ELRS 3.5.x · Link Mode MAVLink · 250 Hz (500 Hz opcional) · telemetría 1:2 fija
Backpack	1.5.9 · Telemetry = WiFi · red «ExpressLRS TX Backpack…», clave `expresslrs`, `10.0.0.1`, UDP 14550
ArduPilot	`SERIAL6_PROTOCOL` 2 · `SERIAL6_BAUD` 460 · `RSSI_TYPE` 5 · `MAV_GCS_SYSID` 255 · `MAV3_*` según la tabla
QGroundControl	Conexión automática UDP desactivada
Mac	AIRLAB Conector: doble clic en el Escritorio (se instala una vez desde Conectar)
Simulador	Conectar › Vuelo real con instructor › Puente WiFi

Fuentes: ExpressLRS · MAVLink · ExpressLRS · Actualizar receptores · ExpressLRS · Módulos internos RadioMaster · ArduPilot · Crossfire y ELRS · ArduPilot · Cambios de nombre de parámetros (4.7).

27 Conexiones, ArduPilot real (SITL), visor en el móvil e instructor remoto

El navegador no puede abrir puertos UDP ni arrancar programas. Para conectar el simulador con tu avión real (capítulo 16) o con el ArduPilot de verdad hace falta un programa en el ordenador: **AIRLAB Conector**. Se instala una vez y luego se abre con doble clic. **Conectar** te dice en directo qué funciona y qué falta.

27.1 Instalar AIRLAB Conector (una vez, en el Mac)

1. En el simulador, **Conectar** › **airlab-instalar.sh**. Se descarga en Descargas.
2. Abre el Terminal (`Cmd` + `Espacio`, escribe «terminal») y pega este comando; el botón **Copiar** de la página lo copia por ti:

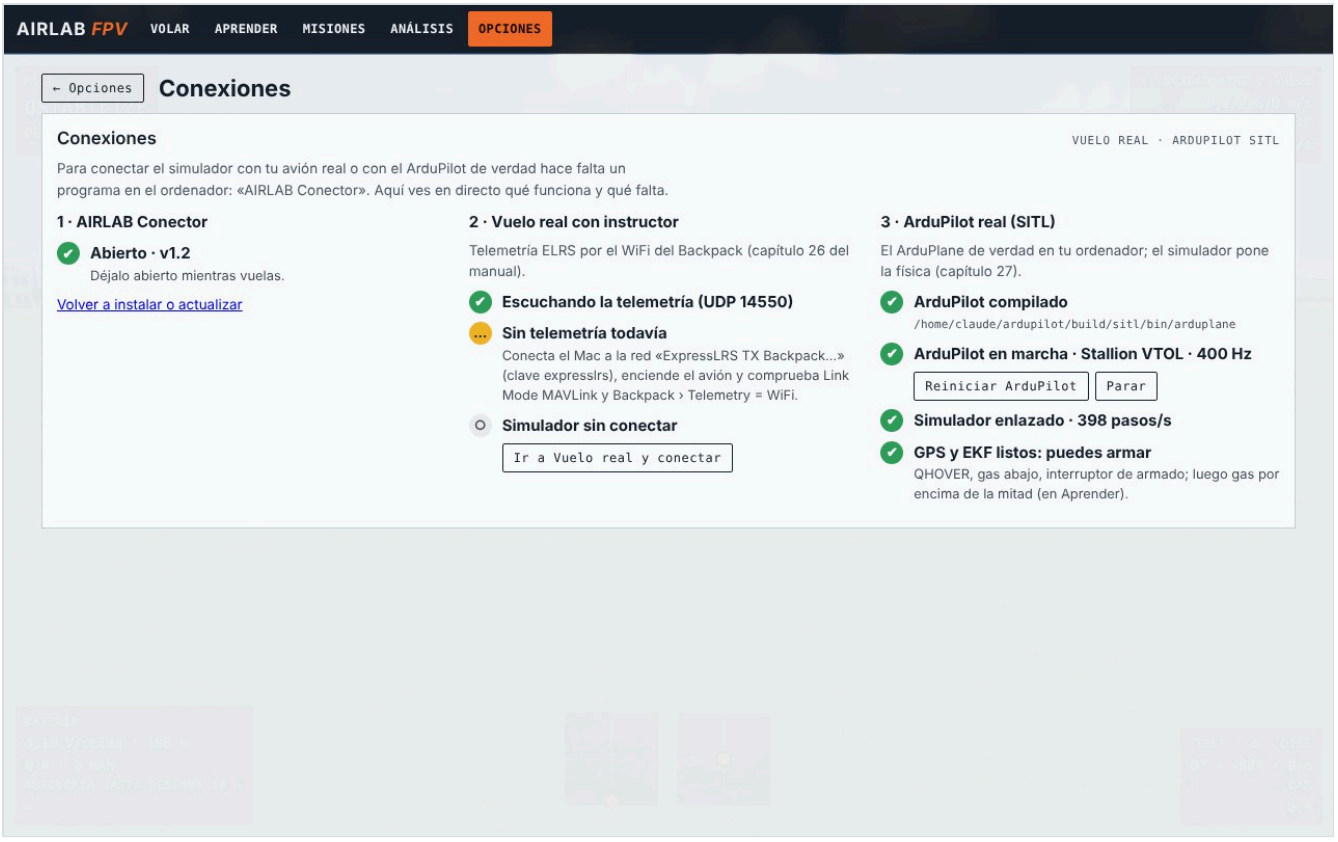
   ```
   bash ~/Downloads/airlab-instalar.sh
   ```

3. El instalador lo deja todo en la carpeta `~/AIRLAB`, pone **AIRLAB Conector** en el Escritorio y lo abre. Si macOS pide permiso para que el Terminal acceda al Escritorio, acéptalo.

Las demás veces, doble clic en **AIRLAB Conector** y déjalo abierto mientras vuelas; la primera línea de su ventana dice la versión (esta guía es para la **1.2**). Solo hace falta abrirlo para el vuelo real y para SITL: para volar con el autopiloto del simulador no se usa. Volver a ejecutar el instalador lo actualiza y la página avisa si hay una versión nueva. Antes, cierra el conector (`Ctrl` + `C`) y borra el instalador viejo de Descargas: si no, Chrome guarda el nuevo como `airlab-instalar (1).sh` y acabarías ejecutando el antiguo. Solo necesita el Python 3 del Mac: si falta, el instalador abre la instalación de las herramientas de Apple.

> **No toca tu avión**
>
> El conector no manda nada a la controladora: con el avión real solo escucha la telemetría, y con SITL solo habla con el ArduPilot que corre en tu Mac. Sus parámetros se guardan en `~/AIRLAB`. Lo único que cambia tu controladora es lo que hagas tú en QGroundControl conectado a ella: SITL es TCP `127.0.0.1:5760`, el avión es USB o el UDP del Backpack.

27.2 Conectar



La pestaña Conectar con el conector abierto, ArduPilot en marcha y listo para armar. Cada fila es verde cuando está bien, amarilla mientras espera y roja cuando hay que hacer algo; debajo dice qué.

Bloque	Qué comprueba
1 · AIRLAB Conector	Si está abierto y su versión. Si no lo está, muestra los pasos de instalación.
2 · Vuelo real con instructor	Que el puerto UDP 14550 está libre (si no, QGroundControl o Mission Planner lo ocupan), que llega telemetría del avión y que el simulador está conectado. Botón para ir al panel de vuelo real.
3 · ArduPilot real (SITL)	Que ArduPilot está compilado, si está en marcha y con qué aparato (con **Arrancar**, **Arrancar de cero**, **Reiniciar** y **Parar**), que el simulador está enlazado y que ArduPilot ya tiene GPS y EKF para armar.

27.3 ArduPilot real (SITL)

SITL (*Software In The Loop*) es el código de ArduPilot, el mismo que lleva la controladora, ejecutándose en el ordenador. Aquí ArduPilot pone el autopiloto (modos, PID, TECS, transición, límites, misiones, failsafes) y el simulador pone la física, el 3D y el escenario. Lo que vuelas lo decide el `.param`: el de prueba o el tuyo. ArduPilot y el simulador hablan con la interfaz JSON de SITL: en cada paso ArduPilot manda las salidas de sus servos y motores, y el simulador le devuelve sensores, posición, velocidad y actitud, siempre a la par (400 veces por segundo con el VTOL, 200 con el ala fija).

Aparato	Qué vuela ArduPilot	.param de prueba

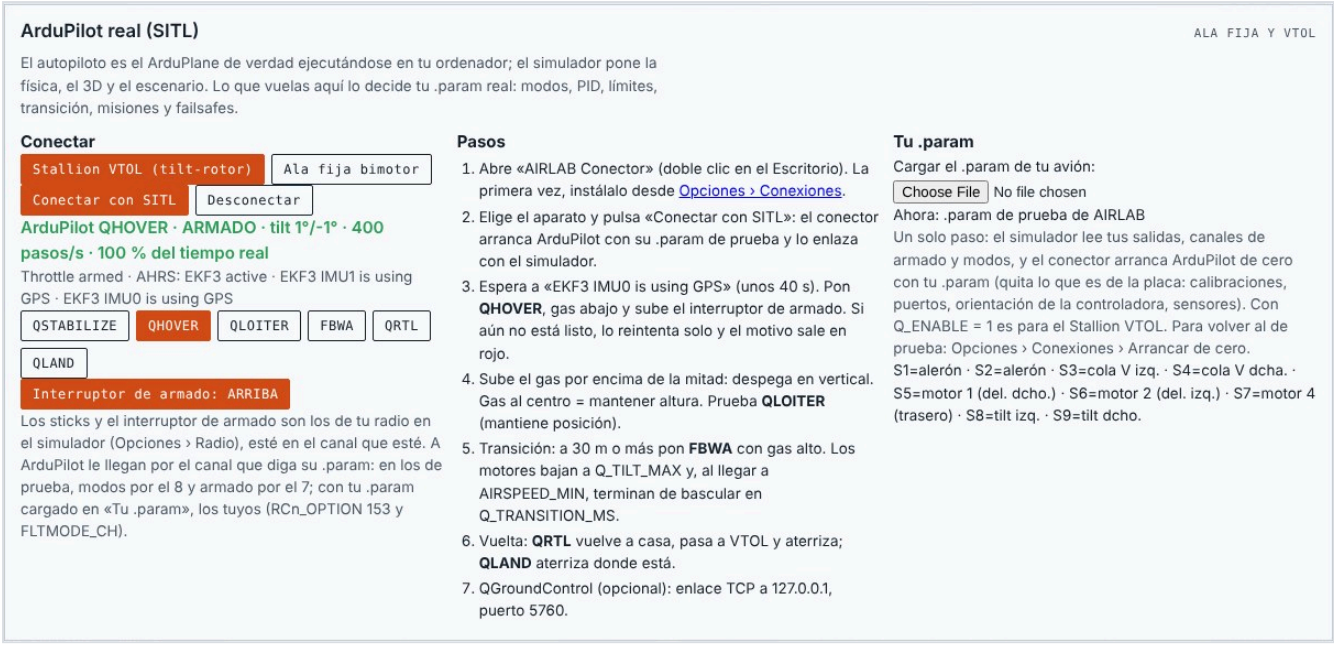
Stallion VTOL (tilt-rotor)	QuadPlane tricóptero con tilt vectored: hover, guiñada inclinando los motores delanteros, transición, avión, QRTL y QLAND	`stallion-vtol-sitl.parm`
Ala fija bimotor	El Stallion sin VTOL: lanzamiento a mano, FBWA, CRUISE, AUTO, RTL, LOITER	`stallion-sitl.parm`

Compilar ArduPilot (una vez, 20-40 min)

Con el conector instalado, en el Terminal:

```
bash ~/AIRLAB/compilar-ardupilot.sh
```

El script comprueba las herramientas de Apple y Homebrew, descarga ArduPilot en `~/ardupilot`, instala sus dependencias y compila ArduPlane para SITL. El mismo programa sirve para el ala fija y para el VTOL: no hay que compilar nada más. Si instala dependencias, al terminar pide cerrar el Terminal y volver a ejecutarlo. Respuestas a sus preguntas: Python con pyenv → `y` · STM32 toolchain → `n` · el resto → `y`. Si algo falla, la guía oficial es *Setting up the Build Environment (MacOSX)* en ardupilot.org.



Conectar › ArduPilot real (SITL) con el Stallion VTOL: aparato, estado de ArduPilot (modo, armado, ángulo de tilt, pasos por segundo y % del tiempo real), sus mensajes, los modos del canal 8, el interruptor de armado y «Tu .param».

27.4 Volar el Stallion VTOL con ArduPilot

1. Abre **AIRLAB Conector**.
2. **Conectar › ArduPilot real (SITL) › Stallion VTOL (tilt-rotor) › Conectar con SITL**. El conector arranca ArduPilot con el `.param` del VTOL y lo enlaza; si estaba en marcha el ala fija, la para él solo.
3. Pon **QHOVER**, gas abajo del todo y sube el **interruptor de armado**. Puedes hacerlo nada más conectar: mientras ArduPilot no esté listo (GPS y EKF, unos 40 s), el simulador baja y sube el interruptor cada 4 s, como harías tú, y debajo sale en rojo el motivo («AHRS: waiting for home», «not using configured AHRS type»...). Arma en cuanto puede: «Throttle armed».
4. Gas por encima de la mitad: despega en vertical. Gas al centro mantiene la altura. Con el timón, ArduPilot inclina un motor delantero hacia delante y el otro hacia atrás y el avión gira (Q_TILT_YAW_ANGLE).

5. **QLOITER** mantiene la posición aunque haya viento. **QLAND** baja, aterriza a Q_LAND_FINAL_SPD, dice «Land complete» y desarma.
6. **Transición**: a 20-30 m pon **FBWA** con gas alto. «Transition airspeed wait» (motores a Q_TILT_MAX, 45°) → «Transition airspeed reached» al llegar a AIRSPEED_MIN → los motores terminan de bascular en Q_TRANSITION_MS → «Transition FW done».
7. **QRTL**: vuelve a casa en avión, frena («VTOL airbrake»), pasa a VTOL, se acerca a Q_RTL_ALT y aterriza en vertical.

Salida	Función	En el simulador
5 · 6 · 7	33 · 34 · 36 (Motor1, Motor2, Motor4)	Motor delantero derecho, delantero izquierdo y trasero. En un tricóptero ArduPilot usa los motores 1, 2 y 4.
8 · 9	75 · 76 (TiltMotorFrontLeft / Right)	Ángulo de cada motor delantero. La salida recorre SERVOn_MIN…MAX: un extremo es Q_TILT_YAW_ANGLE por detrás de la vertical y el otro, horizontal.
1-2 · 3-4	4 · 79/80	Alerones y cola en V.

- El `.param` de prueba lleva los valores del manual de Flightory (Q_FRAME_CLASS 7, Q_TILT_MASK 3, Q_TILT_TYPE 2, Q_TILT_YAW_ANGLE 15, Q_TILT_MAX 45, Q_TILT_RATE_UP 15, Q_ASSIST_SPEED −1, Q_OPTIONS 163841, Q_TRANSITION_MS 7000, Q_LAND_FINAL_SPD 0,3), AIRSPEED_MIN 16 / CRUISE 19 / MAX 25, batería 6S y los PID de VTOL de partida de ArduPilot para tilt-rotor tricóptero. Modos en el canal 8: QSTABILIZE · QHOVER · QLOITER · FBWA · QRTL · QLAND.
- El motor del simulador responde como supone ArduPilot (Q_M_SPIN_MIN…MAX y Q_M_THST_EXPO), así que Q_M_THST_HOVER aprende el gas de hover real del modelo.
- El **menú Fallos** sigue funcionando con ArduPilot de verdad: para un motor o atasca un servo de tilt y mira qué hace tu configuración.
- Con FBWA y gas alto el modelo pasa de 35 m/s: es la hélice y la resistencia del modelo del simulador, no ArduPilot. En CRUISE, AUTO y QRTL manda el TECS con AIRSPEED_CRUISE.

27.5 Volar el ala fija

1. **Conectar › ArduPilot real (SITL) › Ala fija bimotor › Conectar con SITL**.
2. **FBWA**, gas abajo y sube el interruptor de armado (arma solo en cuanto ArduPilot está listo).
3. Gas al 70-85 % y **Lanzar a mano**. Prueba RTL (vuelve y da vueltas sobre casa), LOITER, CRUISE y MANUAL. En los modos automáticos, el gas por encima de la mitad sube la velocidad objetivo (`THROTTLE_NUDGE`).

27.6 Tu .param en un solo paso

En la tarjeta **Tu .param** del panel, **Elegir archivo** y el `.param` de tu avión, tal como lo guarda QGroundControl o Mission Planner. No hace falta pulsar «Conectar» ni abrir QGroundControl. Con `Q_ENABLE = 1` se aplica al Stallion VTOL.

- **El simulador** lee tus salidas (SERVOn_FUNCTION, MIN, MAX, TRIM, REVERSED), en qué canal armas (`RCn_OPTION 153`; con ELRS, normalmente el 5) y en qué canal cambias de modo (`FLTMODE_CH`). Los

seis botones de modo pasan a mostrar tus FLTMODE1…6. El interruptor de armado de tu radio en el simulador (Opciones › Radio) llega a ArduPilot por tu canal, sea cual sea.

- **El conector** arranca ArduPilot de cero con tu `.param`. Antes le quita lo que es de la placa: orientación de la controladora (`AHRS_ORIENTATION`), calibraciones de IMU, brújula y barómetro, puertos serie, GPS, sensor de velocidad, multiplicadores de batería y calibración de la radio. Encima pone lo que SITL necesita: bucle a 200 Hz y física a 400, motores por PWM en lugar de DShot y el failsafe de estación de tierra apagado (sin QGroundControl saltaría nada más arrancar). Todo lo demás es tuyo: PID, transición, velocidades, failsafes de radio y batería, modos, tilt.
- Tu archivo no se toca: la versión para SITL se guarda aparte en `~/AIRLAB/mi-param-vtol.parm` y se usa también las siguientes veces. Para volver al de prueba: **Conectar › Arrancar de cero**.
- Si sale algún motivo en rojo debajo del interruptor de armado, es un PreArm de tu configuración: corrígelo en QGroundControl (enlace TCP `127.0.0.1:5760`) o en tu `.param` y vuelve a cargarlo.

27.7 Reiniciar, de cero y QGroundControl

- **Tras un choque**, pulsa **Reiniciar**: el conector reinicia ArduPilot, como apagar y encender la controladora. El avión vuelve a la plataforma con GPS y EKF nuevos y los parámetros se conservan. No se puede «teletransportar» el avión sin reiniciar: el EKF vería un salto de posición y no dejaría armar («GPS and AHRS differ»).
- **Arrancar de cero** (en Conexiones) borra los parámetros guardados y tu `.param` cargado, y vuelve al de prueba del aparato elegido. Cada aparato guarda los suyos en su carpeta (`~/AIRLAB/sitl-run` y `sitl-run-vtol`).
- **QGroundControl** no hace falta. Ábrelo si quieres ver o cambiar parámetros, subir misiones para AUTO o ver mensajes y mapa: enlace TCP a `127.0.0.1`, puerto `5760`.
- El panel muestra los **pasos por segundo** (400 con el VTOL, 200 con el ala fija) y el **% del tiempo real**. Si baja mucho del 100 %, el ordenador no da abasto: cierra pestañas o activa el escenario ligero.
- Al cerrar el conector (`Ctrl` + `C` o cerrando la ventana) se para también el ArduPilot que arrancó.

27.8 Visor en el móvil (modo espectador)

Vuelas en el Mac con tu emisora, como siempre, y ves la escena en directo en un iPhone metido en un visor (por ejemplo, uno impreso por ti), como unas gafas FPV. **No es un vídeo**: el móvil carga el mismo simulador, la misma aeronave y el mismo escenario y los dibuja él mismo a su resolución. Por la red solo viaja el estado del vuelo (posición, actitud, motores, batería, modo…), unas 60 veces por segundo, así que la imagen sale nítida y con muy poco retardo. El Mac sigue haciendo todo: física, emisora, autopiloto, avisos e IA. El móvil no tiene mandos ni menús, no gasta licencia ni consultas de IA, y si se desconecta **el vuelo en el Mac no se ve afectado**.



Conectar › Visor en el móvil, esperando al móvil: QR, código y estado. Cuando el móvil conecta, la fila pasa a verde y muestra el retardo de ida y vuelta (RTT), los paquetes por segundo, las pérdidas y los fotogramas por segundo del móvil.

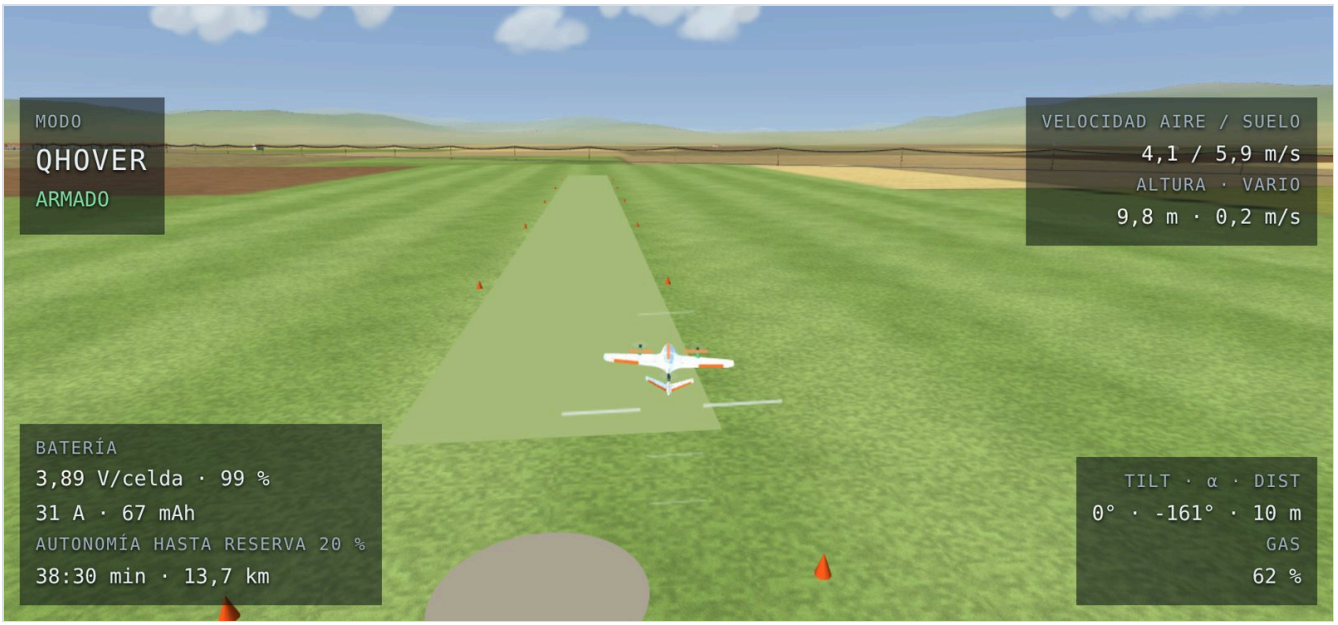
Emparejar (la primera vez, un minuto)

1. Mac e iPhone **en la misma wifi**. Algunas redes de invitados aíslan los dispositivos entre sí: ahí no conecta.
2. En el Mac, en la versión web: **Conectar › Visor en el móvil › Activar visor en el móvil**, o la tecla `G` durante el vuelo. Sale un QR y un código de 6 caracteres (sin 0/O ni 1/I para no confundirse).
3. En el iPhone, apunta con la **cámara** al QR y abre el enlace. También puedes abrir la web, ir a `/app.html?ver` (o «Ver como espectador» en el menú de inicio) y escribir el código. El móvil no necesita tu cuenta: el código sirve mientras el visor esté activo en el Mac y caduca 10 minutos después de cerrarlo.
4. Elige **Pantalla normal** o **Gafas VR (dos lentes)** (iOS exige un toque para dejar la pantalla encendida y para el sonido), gira el móvil en horizontal y mételo en el visor. En el Mac, la fila pasa a verde: **Conectado**.

El móvil sigue al Mac en todo momento: si cambias de aeronave, de escenario, de hora, de cámara (FPV, persecución, libre…) o empiezas una misión de trabajo, el visor cambia solo. Las repeticiones con la aeronave azul del instructor también se ven.

Pantalla completa en el iPhone

Safari no deja que una página oculte sus barras. Para verlo a pantalla completa, la primera vez toca **Compartir › Añadir a pantalla de inicio** y abre el visor desde ese icono («AIRLAB visor»): se abre en negro, sin barras, y recuerda el último código. La pantalla se mantiene encendida mientras el visor está abierto (en las apps de la pantalla de inicio, desde iOS 18.4; si tu iOS es anterior, pon **Ajustes › Pantalla y brillo › Bloqueo automático › Nunca** mientras vuelas). En vertical aparece «Gira el móvil»: Safari no permite bloquear la orientación.



Lo que ve el móvil: la misma escena dibujada por el propio iPhone, con el OSD. Sin menús ni botones.

Ajustes del visor (en el móvil)

Doble toque o toque largo en la pantalla abre el menú; se oculta solo a los pocos segundos. Todo se guarda en el móvil.

Ajuste	Para qué
Nitidez, sombras, distancia de dibujado, densidad de árboles, fotogramas máx.	Calidad gráfica propia del visor. Dentro de una caja cerrada el móvil se calienta: por defecto, nitidez 1,5, sin sombras y 60 fps como mucho. Si se calienta o va a saltos, baja a 30 fps y menos árboles.
Zoom y desplazamiento horizontal y vertical	Para centrar la imagen en la lente del visor.
Respetar la isla / el notch	Apagado, la imagen usa toda la pantalla (lo normal dentro del visor).
Brillo	Oscurece la imagen (con el visor pegado a los ojos, el brillo máximo cansa).
OSD y tamaño del OSD	El mismo OSD del Mac (incluido el tuyo propio), más grande o más pequeño.
Sonido del motor	Se sintetiza en el móvil a partir del gas y las revoluciones que llegan del Mac.
Avisos de Pitot	Subtítulo, voz o nada.
Gafas VR (dos lentes)	Modo gafas, 3D y su intensidad, separación y altura de las lentes, corrección de la lente (k1, k2), campo de visión, tamaño del OSD en las gafas y rejilla de ajuste (ver más abajo).
Retardo (suavidad)	El móvil dibuja con unos 40 ms de retraso para tener siempre dos estados entre los que interpolar. Menos retardo = más inmediato pero más tirones si la wifi pierde paquetes.



Ajustes del visor, con el estado de la conexión al pie.

Reacciones, voz y mirar alrededor

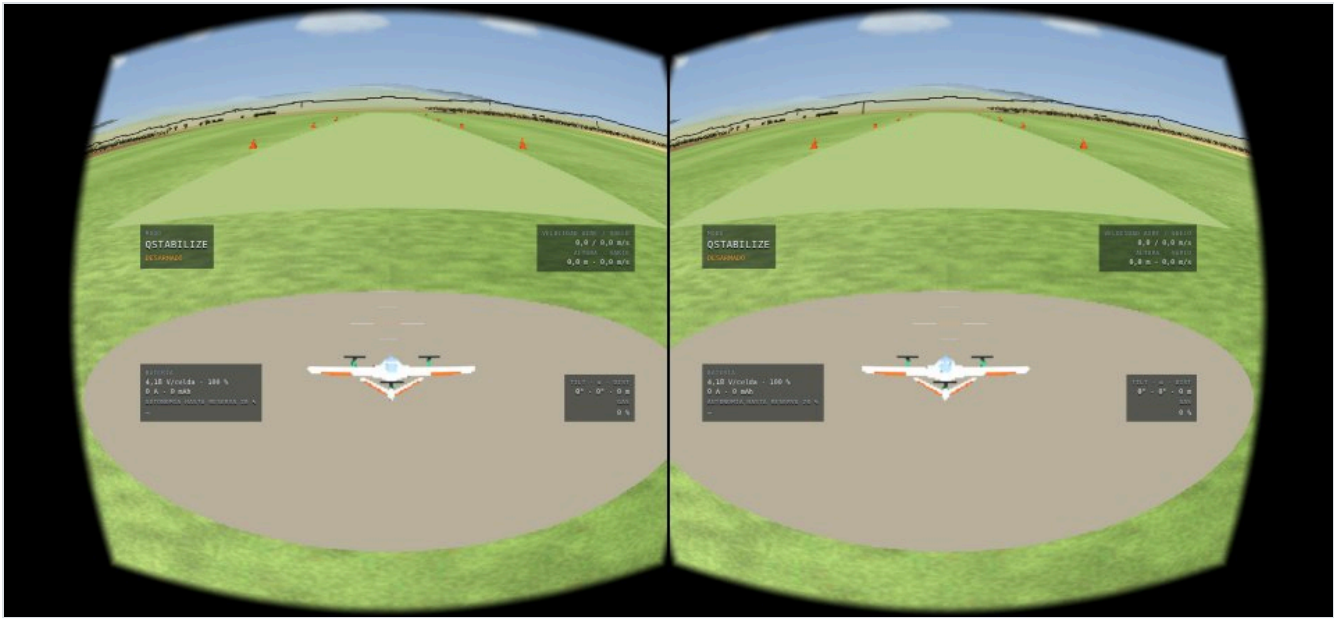
- **Reacciones**: en pantalla normal, abajo a la derecha hay una fila de emojis (❤️ 👏 🔥 😮 😂 👍). Cada toque sube por la derecha del vuelo en el Mac, con el nombre que pongas en **Ajustes del visor › Tu nombre**. Sirve para que quien te ve desde otra ciudad te anime mientras vuelas.
- **Voz**: en el móvil, mantén pulsado 🎤 para hablar con el piloto (la primera vez pide permiso para el micrófono). En el Mac sale «🎤 … te habla» y se oye. El piloto contesta con **Hablar con el móvil** en el panel del visor (se activa y se para con un toque, para tener las manos en la emisora); en el móvil sale «Te habla el piloto».
- **Mirar alrededor**: al girar el móvil, o la cabeza con las gafas VR, la cámara gira con él, como si fueras de copiloto; el vuelo del Mac no cambia. **Centrar la vista** en el menú pone el frente donde miras ahora. Se apaga con **Mirar alrededor moviendo el móvil**. En el iPhone, la primera vez pide permiso para usar el movimiento.

Las reacciones y la voz se quitan con **Botones de reacciones y voz**. En el modo gafas no se ven los botones (el móvil está dentro del visor), pero mirar alrededor sí funciona.

Gafas de realidad virtual de dos lentes y 3D

Con unas gafas de realidad virtual para móvil (las de dos lentes que venden por 15-35 €), elige **Gafas VR (dos lentes)** al empezar, o activa **Modo gafas** en el menú del visor. La imagen sale doble, una para cada ojo, cada una centrada en su lente y con la deformación en barril que compensa la de las lentes, para que el horizonte se vea recto. El OSD aparece en cada ojo, más pequeño, para que caiga dentro de la lente.

El **3D viene activado**: como el móvil dibuja la escena él mismo, lo hace dos veces con dos cámaras separadas como tus ojos (6,4 cm) y ves profundidad de verdad, cosa que unas gafas FPV reales no pueden. Se nota sobre todo en lo cercano (árboles, la pista, la plataforma al aterrizar). Puedes apagarlo y ver en 2D, o subir su intensidad para exagerar la profundidad en la cámara de persecución. El 3D cansa más la vista: empieza con vuelos cortos y, si te mareas, quítalo.



Modo gafas: una imagen por ojo, con la deformación que compensa la de las lentes y el OSD dentro de cada lente.

Ajustar tus gafas (una vez):

1. Activa **Rejilla para ajustar las lentes** en el menú del visor y mete el móvil en las gafas, centrado.
2. Con las ruedas de las gafas, ajusta el **enfoque** hasta que la rejilla se vea nítida.
3. Si ves dos puntos rojos o la imagen doble, cambia **Separación de las lentes** (63 mm de partida) hasta que los dos puntos rojos se junten en uno. **Altura de las lentes** sube o baja las dos imágenes si el punto no queda en el centro.
4. Si las líneas de la rejilla se ven curvas hacia fuera, sube **k1**; si se curvan hacia dentro, bájalo. **k2** corrige lo mismo pero solo en los bordes.
5. **Campo de visión** abre o cierra la imagen; **Tamaño del OSD en las gafas** lo agranda o lo encoge hasta que lo leas sin mover los ojos.
6. Apaga la rejilla. Los ajustes se guardan en el móvil.

Si algo falla

- **Se queda en «Esperando al piloto…»**: comprueba que los dos están en la misma wifi (no en la de invitados ni con datos móviles) y que el visor sigue activo en el Mac. Cambiar a la wifi de 5 GHz suele ir mejor.
- **«El código ha caducado»**: en el Mac pulsaste «Desconectar visor» o pasaron 10 minutos con el visor cerrado. Actívalo otra vez y escanea el nuevo QR.
- **«Ya hay otro móvil conectado»**: el visor admite un móvil. Desconecta el otro en el Mac.
- **«Conexión perdida, reconectando…»**: la imagen se congela y el móvil vuelve a conectar solo en cuanto puede; en el Mac no pasa nada.
- **Tirones**: mira en el menú del visor las pérdidas y los fps. Con pérdidas, sube el retardo; con pocos fps, baja la calidad.
- **Con gafas se ve doble o borroso**: ajusta enfoque y separación de las lentes con la rejilla (arriba). Si aun así cansa, apaga el 3D.
- De momento funciona en la **versión web**. En la versión sin conexión llegará más adelante.

27.9 Instructor remoto

Tu instructor ve tu vuelo en directo desde su ordenador, esté donde esté, y desde ahí te habla, te pone fallos, cambia el viento o el ejercicio y, si hace falta, toma los mandos con su emisora, como el cable de entrenador de una escuela. Funciona con el mismo sistema que el visor del móvil: no viaja vídeo, solo el estado del vuelo, y el ordenador del instructor dibuja el mismo mundo.

Invitar al instructor (alumno)

1. En **Conectar › Instructor remoto**, pulsa **Invitar a un instructor**.
2. Sale un código de 6 caracteres y un enlace. Pulsa **Copiar el enlace** (o **Compartir…**) y mándaselo por WhatsApp o correo.
3. Cuando entra, verás su nombre en el panel y, durante el vuelo, una etiqueta arriba en el centro.

En el mismo panel decides qué puede hacer: **tomar los mandos**; **poner fallos y cambiar el viento, la hora y el tiempo**; **cambiar el modo, armar, reiniciar y elegir lección, reto, aeronave o escenario**. Las tres opciones vienen activadas. **Terminar la clase** lo desconecta.

El puesto del instructor

El instructor abre el enlace en el navegador de su ordenador (o entra en la web con `/app.html?instr` y escribe el código), pone su nombre y pulsa **Conectar como instructor**. No necesita cuenta. A la izquierda ve el vuelo y a la derecha tiene el panel:

- **Vuelo**: modo, altura, velocidades, batería, distancia a casa y fase, un mapa con el recorrido y la cámara (como el alumno, persecución, FPV, libre o desde tierra).
- **Voz y mensajes**: mantén pulsada la `barra espaciadora` (o el botón) para hablar, o deja el micro siempre abierto. Hay mensajes rápidos («Sube», «Aterriza», «Muy bien»…) y un campo para escribir: al alumno le salen en grande y se los lee la voz del simulador.
- **Mandos y modo**: **Tomar los mandos** (tecla `T`) con su emisora conectada al ordenador (usa la calibración de su navegador) o con el teclado (flechas, `W`/`S` gas, `A`/`D` timón). Botones de modo, **Armar**, **Desarmar** y **Reiniciar**.
- **Fallos**: los mismos de la lista de fallos (capítulo 15), incluido el del GPS.
- **Viento, hora y tiempo** y **Ejercicio, aeronave y escenario**: empezar una lección o un reto, cambiar de aeronave o de escenario (con el alumno desarmado) y pausar el vuelo.
- **Registro**: lo que va pasando en el vuelo del alumno (tomas, transiciones, fallos, cambios de modo) y lo que hace el instructor.
- **Evaluación al logbook del alumno**: una nota de 0 a 10 y un comentario que se guardan en el último vuelo del alumno (capítulo 29).



Puesto del instructor: el vuelo del alumno en directo y, a la derecha, telemetría, mapa del recorrido, cámara, voz y mensajes.



En el simulador del alumno: aviso de que el instructor tiene los mandos, con el botón para recuperarlos, y su nombre arriba.

Desde el móvil y diagnóstico de la voz

El puesto del instructor también funciona en un móvil. En vertical, la escena 3D, con la cámara que elijas (como el alumno, persecución, FPV, libre o desde tierra), ocupa la parte de arriba y el panel queda debajo, con scroll. En horizontal, el panel es más estrecho. **Ver solo el vuelo** pliega el panel y deja la escena a pantalla completa; el botón **Panel del instructor** lo vuelve a abrir.

Debajo del botón de hablar, el instructor ve un medidor de su propio micrófono y qué está pasando con su voz: *cerrado*, *enviando N kbit/s* o *abierto, pero no capta nada* (micro silenciado o usado por otra aplicación). Además, el simulador del alumno le cuenta lo que le llega: ✓ *El alumno te oye*, *El alumno no*

recibe tu audio o que *el navegador del alumno ha bloqueado el sonido*. Esto último pasa porque los navegadores no dejan sonar nada hasta que el usuario toca la página, y la emisora, para el navegador, es un mando de juego que no cuenta. El simulador prepara el sonido cuando el alumno pulsa **Invitar a un instructor** o el micro y, si aun así el navegador lo bloquea, le sale al alumno un botón grande, **Pulsa aquí para oír a tu instructor**.

> **Mandos del instructor**
> Cuando el instructor los toma, al alumno le sale un aviso rojo, «El instructor tiene los mandos», con el botón **Recuperar los mandos**: el alumno los puede recuperar siempre. Si dejan de llegar los sticks del instructor durante medio segundo (se corta la conexión), los mandos vuelven solos al alumno. Antes de tomarlos, el instructor debe poner su gas donde lo necesite: en QHOVER el gas al mínimo hace bajar.

Voz

El navegador del instructor pide permiso para el micrófono al conectar. El alumno abre el suyo con **Hablar con el instructor** o la tecla `I`, y lo cierra igual. Usad auriculares: así el sonido del motor no se acopla. El volumen de la voz del otro se ajusta en cada panel.

En redes distintas

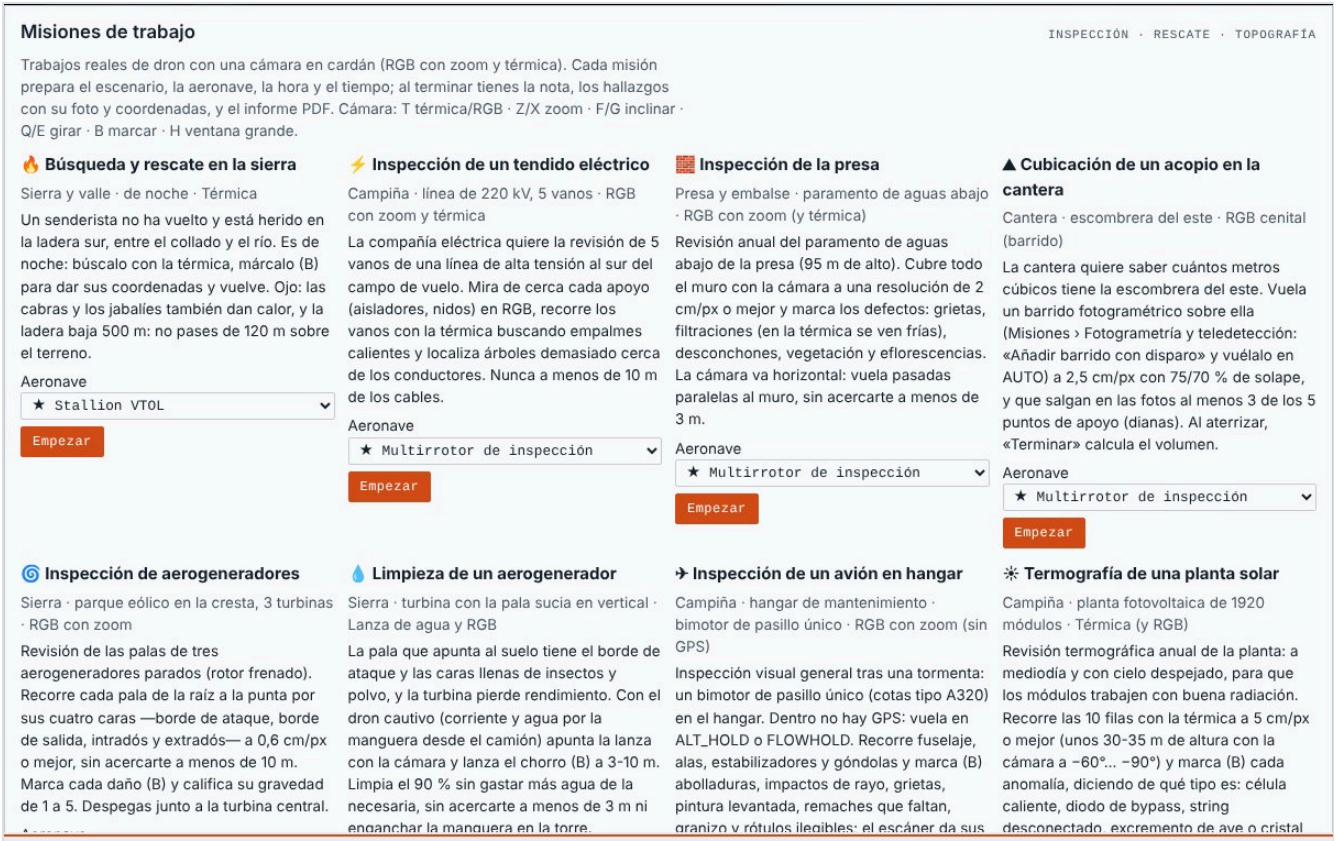
Los dos ordenadores se conectan directamente. Entre dos casas eso suele funcionar, pero algunas redes (empresas, escuelas, datos móviles) no dejan la conexión directa. Para esas, el servidor puede dar un **TURN**, un intermediario que reenvía los datos cifrados. Lo da si tiene configuradas las variables `CF_TURN_KEY_ID` y `CF_TURN_KEY_TOKEN` (Cloudflare Realtime › TURN). Con TURN, el panel lo dice y el visor del móvil también funciona fuera de la wifi de casa.

Lo que viaja es poco: el estado del vuelo y la voz, unos 100–150 MB por hora de clase.

Fuentes: ArduPilot · JSON interface · ArduPilot · Tilt Rotor Planes · ArduPilot · Build environment (MacOSX) · `ArduPlane/tiltrotor.cpp`, `libraries/AP_Motors/AP_MotorsTri.cpp` y `libraries/SITL/examples/JSON/readme.md` del repositorio de ArduPilot · manual Flightory Stallion VTOL V2 (págs. 18-22) · MDN · RTCDataChannel · MDN · Screen Wake Lock API · WebKit · Wake Lock en apps de la pantalla de inicio (iOS 18.4). · Cloudflare · Realtime TURN · MDN · Perfect negotiation

28 Misiones de trabajo

Doce trabajos reales de dron en los escenarios del simulador: rescate de noche, inspección de un tendido de alta tensión, de una presa, de aerogeneradores, de un avión en hangar, de una planta solar, del interior de un depósito, de una torre de telecomunicaciones y de un puente; limpieza de palas con un dron cautivo, cubicación de un acopio y búsqueda de rescoldos tras un incendio. Son prácticas para empresas, escuelas y pilotos que preparan su primer trabajo: hay un encargo, una cámara de carga útil, normas de seguridad, una nota sobre 100 y un informe PDF como el que se entregaría a un cliente.



Misiones › Misiones de trabajo: el encargo de cada trabajo, el escenario, la cámara y la mejor nota que llevas.

28.1 Empezar una misión

1. **Misiones › Misiones de trabajo**. En la tarjeta del trabajo, elige la **Aeronave** (las recomendadas van con ★) y pulsa **Empezar**.
2. La misión lo prepara todo: escenario, la aeronave elegida en la tarjeta, hora, tiempo y viento, y la cámara en **persecución**. Coloca los objetivos al azar, así que cada intento es distinto.
3. Vuelve a **Volar**. Arriba a la izquierda tienes el panel de la misión (lo que llevas hecho, tiempo de vuelo, altura sobre el terreno, distancia a cables o al muro) y a la derecha la ventana de la cámara.
4. Despega, haz el trabajo y vuelve a la plataforma. Aterriza, desarma y pulsa **Terminar y puntuar**.

Repetir empieza otra vez con objetivos nuevos. **Salir** deja el escenario, la aeronave, la hora y la cámara como estaban antes. Si cambias de escenario a mitad, la misión se cierra. No funciona con ArduPilot real (SITL) conectado: desconéctalo antes.

28.2 Elegir la aeronave

Cada tarjeta tiene su selector de **Aeronave**. Arriba van las recomendadas (★), que son las que se usarían en un trabajo real; debajo, todas las demás, por si quieres probar. La mejor nota se guarda por misión y por aeronave.

Misión	Recomendada	Por qué
Búsqueda y rescate	Stallion VTOL (o cualquier VTOL); multirrotor	Hay que cubrir mucha ladera con autonomía; el multirrotor sirve para confirmar de cerca.
Tendido eléctrico	Multirrotor de inspección	Hay que pararse delante de cada apoyo y acercarse con precisión. En un trabajo real, el VTOL se usa para muchos kilómetros de línea.
Presa	Multirrotor de inspección	Hace falta quedarse quieto frente al muro con viento: LOITER.
Cantera	Multirrotor de inspección o VTOL	Es un barrido en AUTO: los dos lo hacen. Para un acopio pequeño se suele usar el multirrotor.
Aerogeneradores, torre, puente	Multirrotor de inspección	Hay que quedarse quieto cerca de la estructura con viento. Bajo el puente, también el dron de jaula.
Limpieza de palas	Dron cautivo de limpieza	Es el único con manguera y lanza.
Avión en hangar	Multirrotor de inspección (o el de jaula)	Sin GPS y cerca del avión: ALT_HOLD o FLOWHOLD.
Depósito	Dron con jaula	Puede tocar las paredes; cualquier otro, al tocarlas, choca.
Planta solar, rescoldos	Multirrotor o VTOL	Barridos con la térmica: los dos sirven.

Las misiones junto a una instalación (aerogeneradores, hangar, planta solar, depósito, torre, puente) empiezan junto a ella, como al llegar con la furgoneta: ese punto es su plataforma y la casa del multirrotor para RTL.

Si eliges una aeronave poco adecuada, la tarjeta lo avisa antes de empezar y te deja probar: un **avión sin VTOL** no puede pararse delante del muro o del apoyo y solo vale con pasadas; un **dron FPV** vuela en

ANGLE o ACRO, sin posición ni altura fijas y sin AUTO, así que es un reto de pilotaje más que un trabajo realista.

28.3 La cámara de carga útil

Es una cámara en cardán estabilizado bajo el avión: no se mueve con el alabeo ni el cabeceo, solo con el rumbo y con lo que tú le mandes. Tiene dos sensores.

Sensor	Campo de visión	Resolución	Zoom	Para qué
RGB 4K	70°	4000 px de ancho	hasta ×8	Ver detalle: grietas, aisladores, nidos, vegetación
Térmica IR 640×512	45°	640 px de ancho	hasta ×4	Ver calor: personas y animales de noche, empalmes calientes, filtraciones frías

Tecla	Botón	Qué hace
T	IR / RGB	Cambia de sensor
Z · X	+ · −	Más y menos zoom
G · F	▲ · ▼	Inclina la cámara hacia arriba o hacia abajo (de −90°, mirando al suelo, a +20°)
Q · E	◀ · ▶	Gira la cámara a izquierda o derecha respecto al morro
B	Marcar (B)	Marca un hallazgo en el centro de la cruz
H	⤢	Ventana grande o pequeña

La línea de arriba de la ventana dice el sensor, el zoom, la inclinación, la distancia al suelo o al apoyo por el eje de la cámara (telémetro) y el **GSD**: cuántos centímetros de terreno caben en un píxel. Cuanto más cerca o más zoom, menor GSD y más detalle.

En la térmica, blanco es caliente y negro, frío. El terreno se calienta con el sol según su orientación; de noche se enfría. Las personas y los animales destacan mucho más que de día.

28.4 Marcar hallazgos

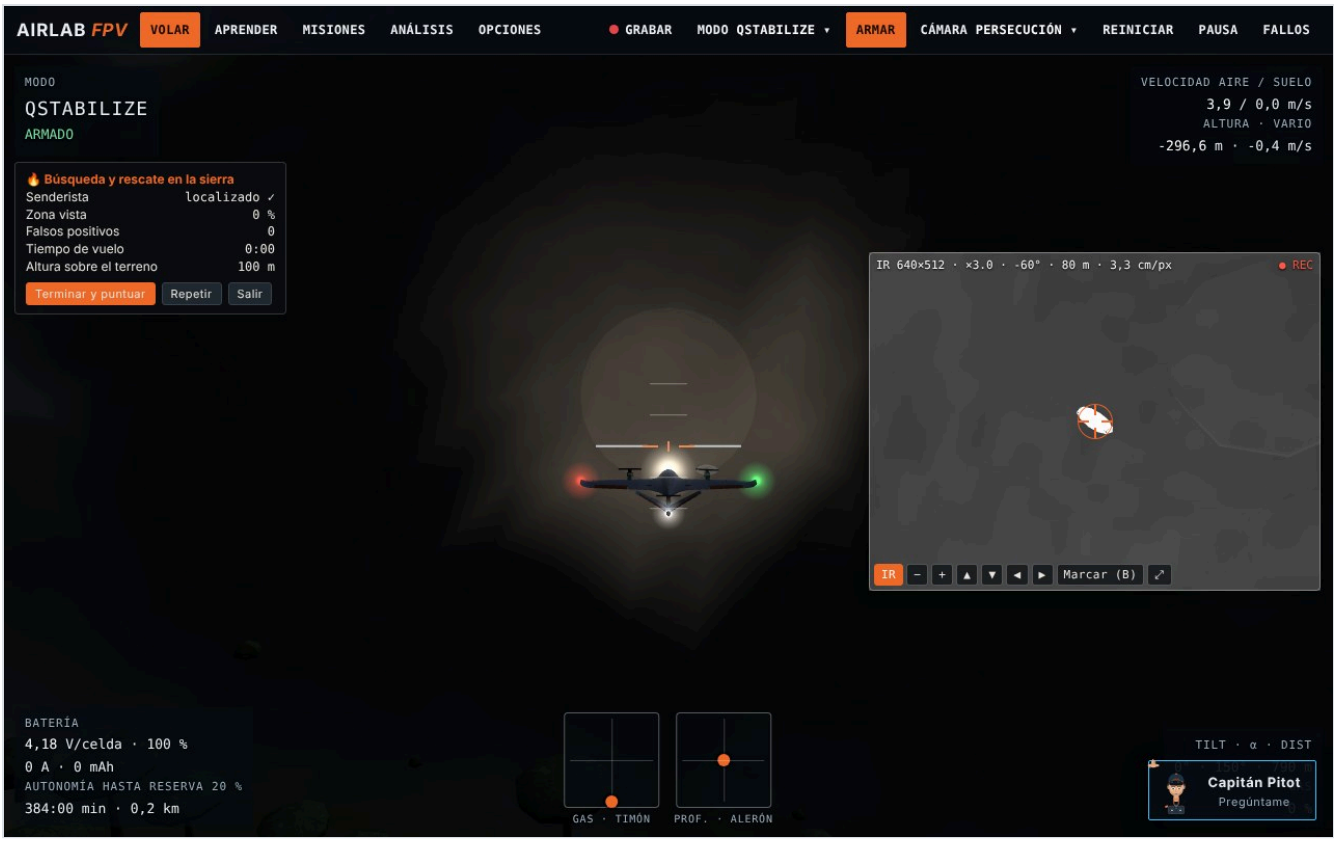
Pon el objetivo en el centro de la cruz y pulsa B. El simulador comprueba tres cosas, igual que un revisor comprobaría tu foto:

- **Que se ve**: que está en el centro de la imagen y que no lo tapa el terreno.
- **El sensor adecuado**: un empalme caliente solo se ve en la térmica; un aislador roto, un nido o una grieta, solo en RGB. Si no es el bueno, te lo dice.
- **Detalle suficiente**: cada hallazgo pide un GSD máximo. Si no llega, te dice cuánto tienes y cuánto hace falta: acércate o usa el zoom.

Si es un hallazgo, guarda la foto con su posición en coordenadas WGS84, la distancia, el GSD y el sensor. Si marcas algo que no lo es (una cabra en lugar del senderista, un trozo de muro sano), cuenta como **falso positivo** y resta.

En algunas misiones, al marcar se abre una ventanita para **clasificar** el hallazgo: su gravedad (aerogeneradores), su tipo (planta solar) o si está dentro de límites (avión). Se elige con el ratón o con las teclas 1-5, y la nota lo tiene en cuenta.

28.5 Búsqueda y rescate en la sierra



Rescate de noche: el senderista localizado con la térmica a 96 m y zoom ×3 (4 cm/px). En la vista normal no se ve nada.

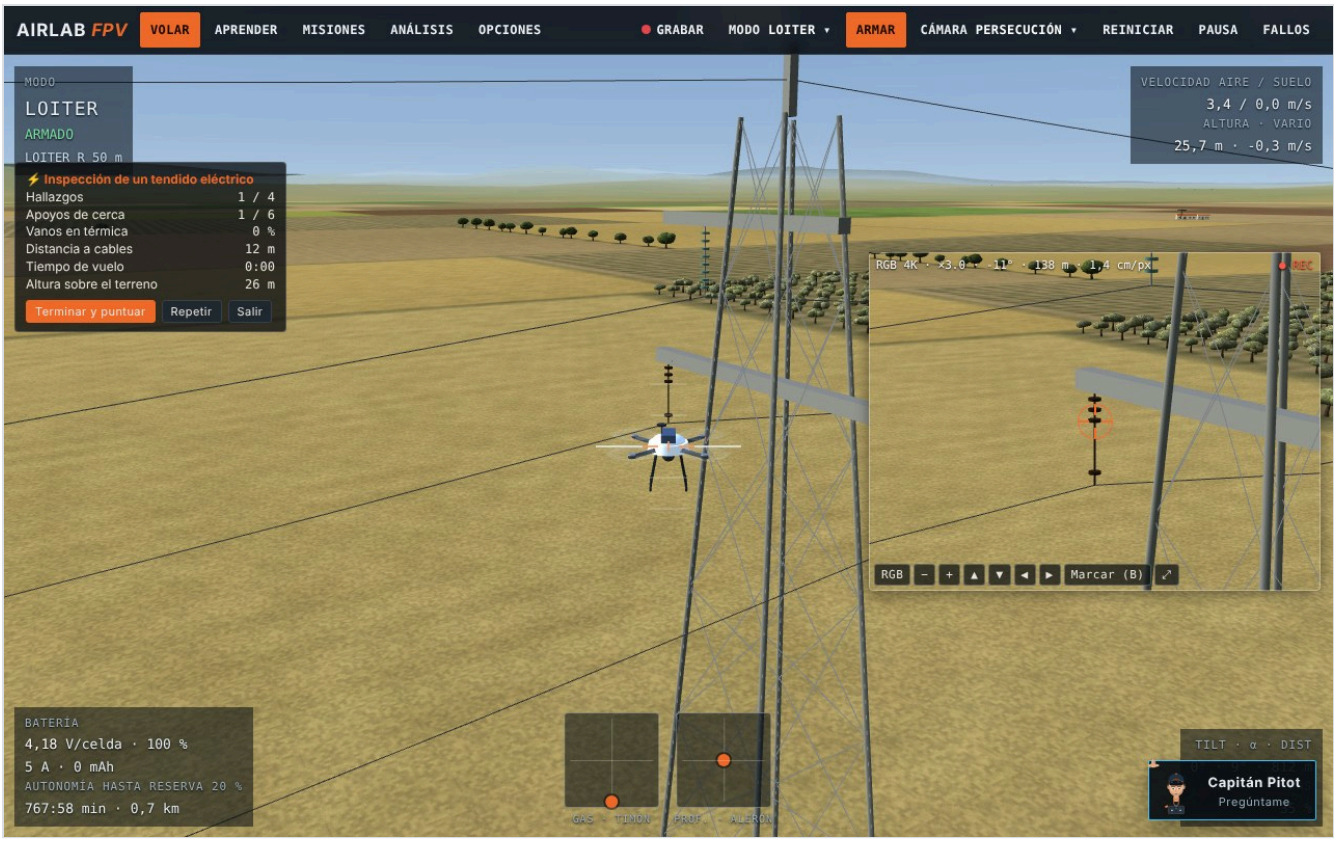
Es de noche (21:30). Un senderista herido está en la ladera sur, entre el collado y el río; la zona de búsqueda está marcada en el suelo con una línea naranja. Hay seis animales (cabras y jabalíes) que también dan calor.

- Vuela pasadas paralelas sobre la zona con la cámara inclinada hacia delante (−45° a −60°) en térmica. La ladera baja unos 500 m: mira la **altura sobre el terreno** del panel, no la altitud.
- Cuando veas un punto blanco, acércate o usa el zoom antes de marcar. Una persona tumbada es más larga y estrecha que un animal de pie.
- Al marcarlo, la posición queda en el informe para el equipo de tierra. Vuelve con batería de sobra.

Puntúa	Puntos
Senderista localizado	40
Precisión de la posición (error del punto marcado)	10
Tiempo hasta encontrarlo (todo por debajo de 5 min)	15
Sin falsos positivos (−5 cada uno)	10
Siempre por debajo de 120 m sobre el terreno	10

Vuelta y aterrizaje en la plataforma con ≥ 20 % de batería	15

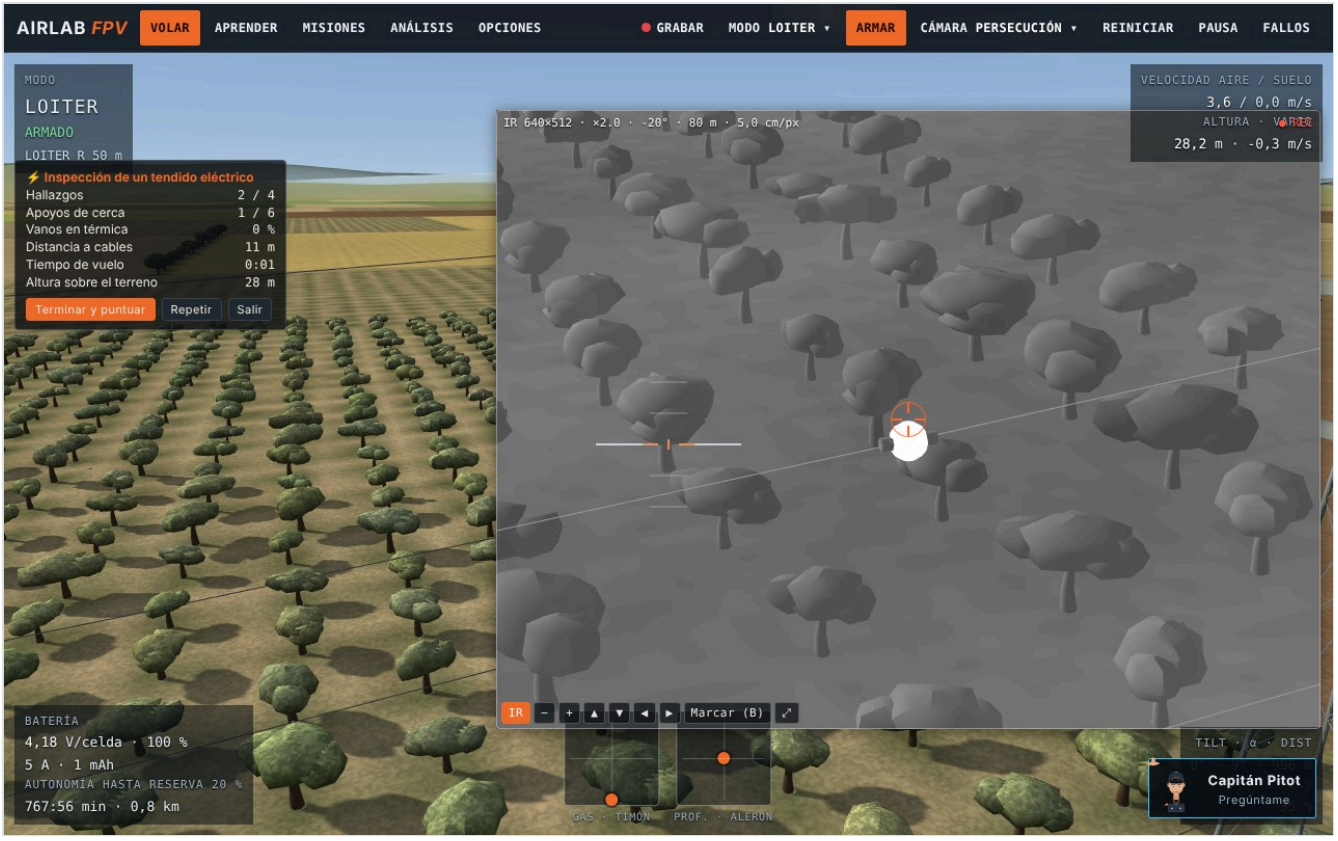
28.6 Inspección de un tendido eléctrico



Inspección de un apoyo en RGB con zoom ×3: la cadena de aisladores y la cruceta a 1,5 cm/px.

Una línea de 220 kV con 6 apoyos y 5 vanos, al sur del campo de vuelo. Hay 4 defectos al azar entre estos:

Defecto	Sensor	GSD máximo
Empalme caliente (punto caliente en un conductor)	Térmica	6 cm/px
Aislador roto (discos que faltan o ennegrecidos)	RGB	1,5 cm/px
Nido en la cruceta	RGB	2,5 cm/px
Árbol demasiado cerca de un conductor	RGB	8 cm/px

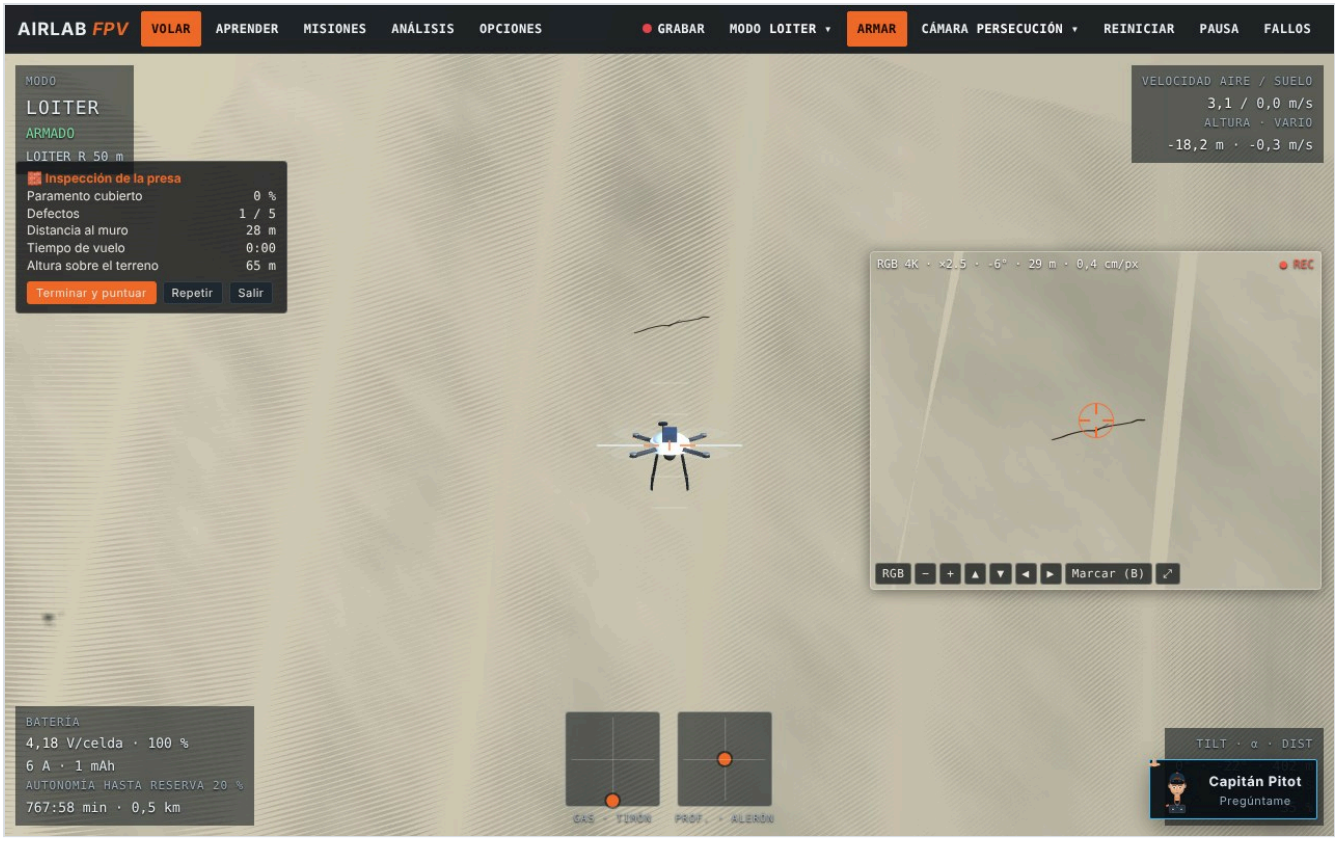


El mismo tendido en térmica, con la ventana grande (H): un empalme caliente en un conductor. Los conductores se ven algo más calientes que el fondo.

- Para cada apoyo, acércate en RGB y mira la cabeza (aisladores y crucetas) con 1,5 cm/px o menos: el panel cuenta los apoyos inspeccionados.
- Recorre los vanos en paralelo a la línea con la térmica, mirando los conductores con 8 cm/px o menos.
- **Nunca a menos de 10 m de los cables**: el panel muestra la distancia y avisa al bajar de 10 m. A menos de 1,2 m chocas con el conductor. Es la distancia de seguridad de esta práctica; en un trabajo real la fija la compañía eléctrica.

Puntúa	Puntos
Defectos encontrados	40
Apoyos inspeccionados de cerca (6)	15
Vanos recorridos en térmica (90 % o más)	15
Distancia de seguridad (−3 cada vez por debajo de 10 m)	10
Sin falsos positivos	5
Vuelta y aterrizaje	15

28.7 Inspección de la presa



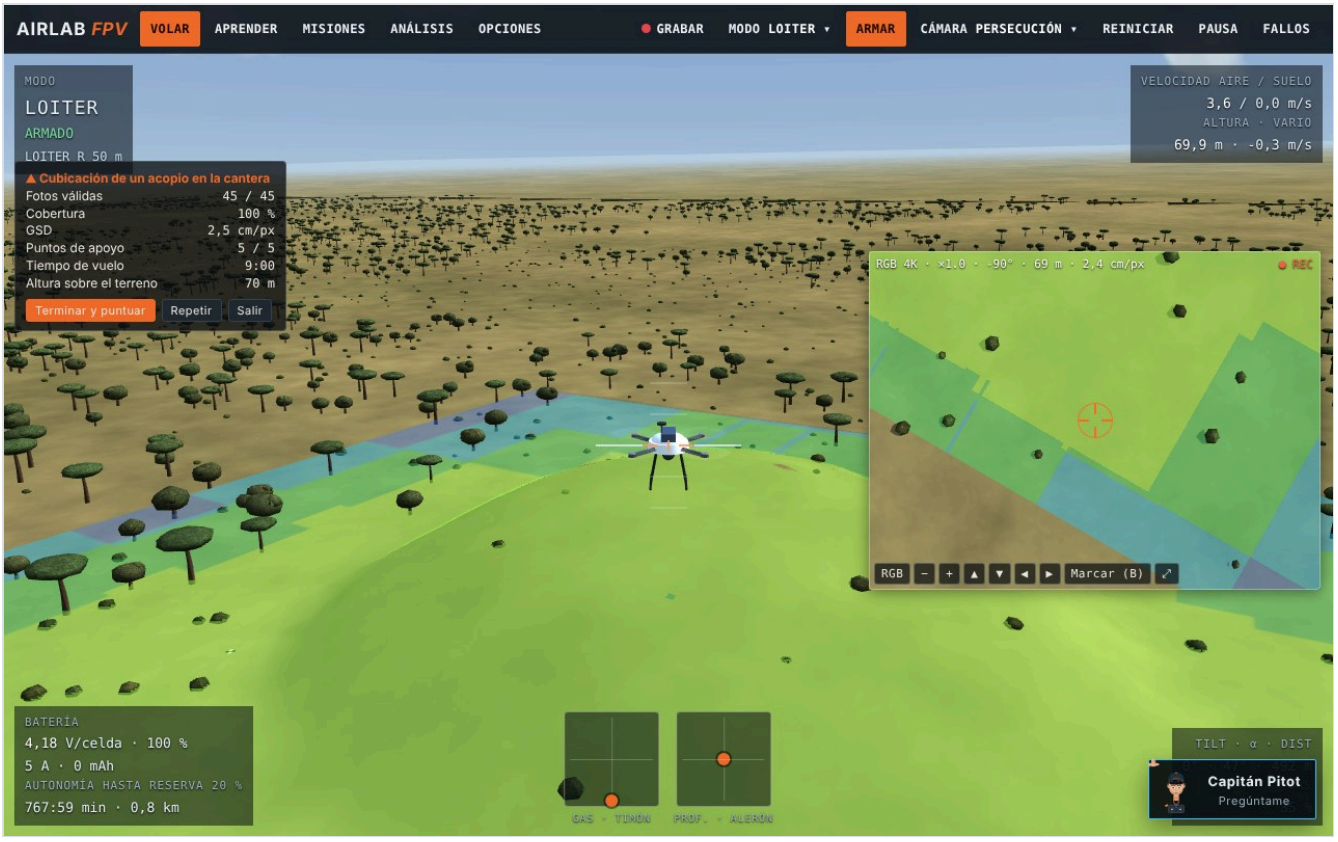
Paramento de aguas abajo con la cámara horizontal y zoom ×2,5: una grieta marcada a 28 m.

La revisión anual del paramento de aguas abajo (95 m de alto). Hay 5 defectos: grietas, filtración (en la térmica se ve fría), desconchón, vegetación en una junta y eflorescencias (manchas blancas de sales).

- Pon la cámara horizontal (inclinación 0° o un poco hacia abajo) y vuela pasadas horizontales paralelas al muro, de arriba abajo. **QLOITER** ayuda a mantener la distancia con viento.
- El panel dice qué parte del paramento has cubierto con 2 cm/px o mejor; con el RGB eso es a unos 55 m como máximo sin zoom. El objetivo es el 85 %.
- Nunca a menos de 3 m del muro.

Puntúa	Puntos
Paramento cubierto (85 % o más)	30
Defectos encontrados	40
Distancia al muro (−4 cada vez por debajo de 3 m)	10
Sin falsos positivos	5
Vuelta y aterrizaje	15

28.8 Cubicación de un acopio en la cantera



Cantera: la escombrera del este con su cobertura de fotos y dos de las cinco dianas de apoyo, en la cámara cenital.

La cantera quiere saber cuántos metros cúbicos tiene la escombrera del este. Aquí no se marca nada: se vuela un barrido de fotogrametría (capítulo 18) y el simulador calcula el volumen con las fotos que hayas sacado.

1. Al empezar, la misión deja preparado el área de barrido (un octógono alrededor del acopio) y la cámara en RGB a **2,5 cm/px** con **75 / 70 %** de solape.
2. **Planificar › Fotogrametría y teledetección › Añadir barrido con disparo**. Revisa las pasadas en el mapa del planificador.
3. Despega, pon **AUTO** y deja que vuele el barrido. La cámara dispara sola.
4. Al aterrizar, **Terminar y puntuar**.

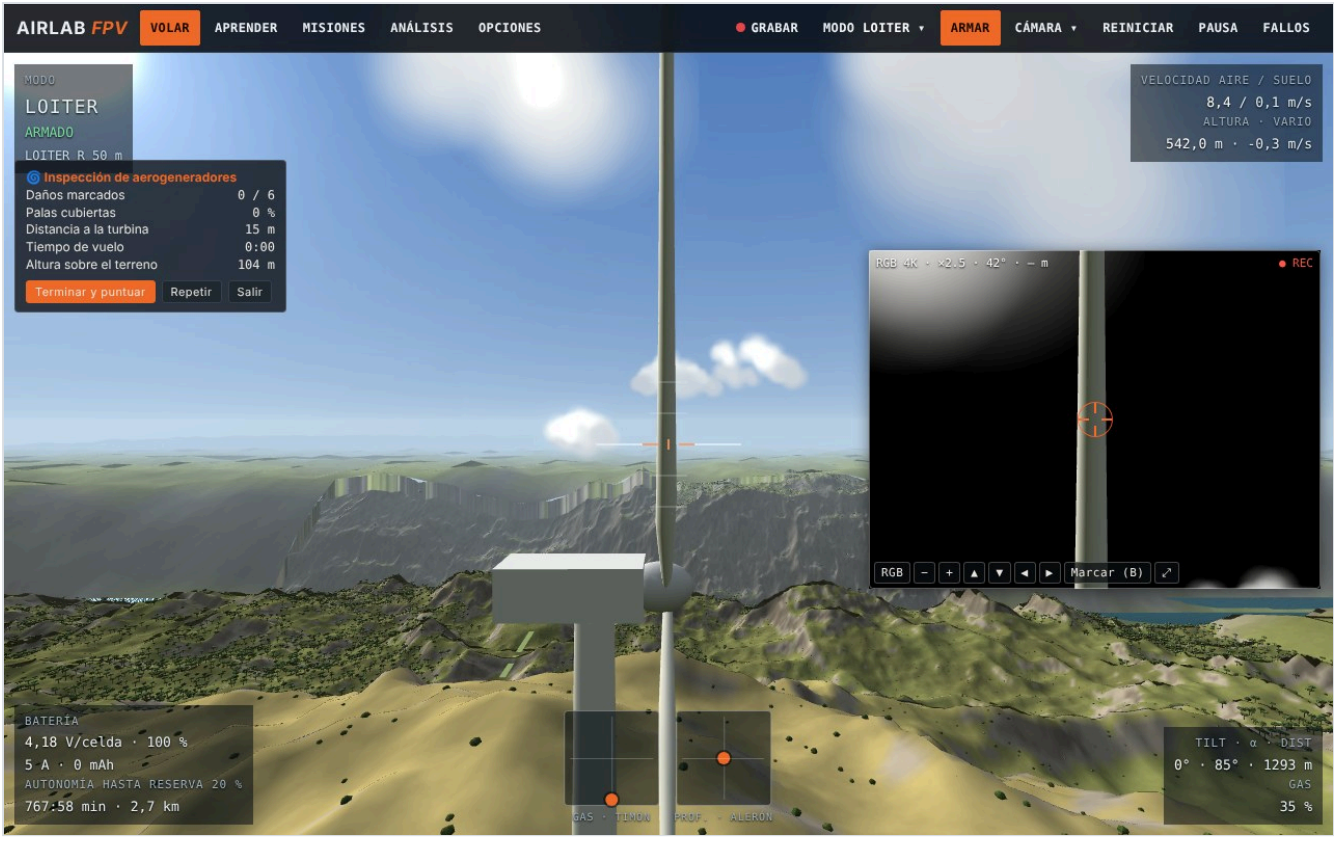
Alrededor del acopio hay 5 dianas (cuadros blancos y negros): son los **puntos de apoyo** (GCP). Tienen que salir en al menos 2 fotos cada una, y hacen falta 3 para georreferenciar bien. Sin ellos, el modelo arrastra un error de altura y de escala que no se puede corregir.

Cómo se calcula. Donde hay 2 fotos válidas o más, se reconstruye la superficie (la altura real más un error que crece con el GSD). Donde no hay fotos queda un hueco y se rellena con el plano base, así que el volumen sale corto. El plano base es la cota media del pie del acopio. Se compara con el volumen real del modelo del terreno.

Puntúa	Puntos
Error del volumen (todo por debajo del 1 %, nada a partir del 8 %)	40
Cobertura del acopio con 2 fotos o más (98 % o más)	20

Solapes: 70 % frontal y 60 % lateral o más	15
GSD de 3 cm/px o mejor	10
Puntos de apoyo en las fotos (5 por cada uno, hasta 3)	15

28.9 Inspección de aerogeneradores



Una pala recorrida con el multirrotor a unos 15 m y zoom ×2,5: una marca de daño en el centro de la cámara.

Tres aerogeneradores en la cresta de la sierra, con el rotor frenado: torre de 80 m, buje a 82 m y palas de 44 m. Despegas junto a la turbina central, con viento de 7 m/s del oeste.

- Recorre cada pala de la raíz a la punta por sus cuatro caras: **borde de ataque**, **borde de salida**, **intradós** (la cara que mira al viento) y **extradós**, a 0,6 cm/px o mejor y a más de 10 m.
- Hay 6 daños al azar: erosión del borde de ataque, grieta en el laminado, delaminación, impacto de rayo cerca de la punta, impacto de ave o granizo, borde de salida abierto y desgaste del recubrimiento.
- Al marcar un daño eliges su **gravedad** en una escala didáctica de 5 niveles (también con las teclas 1-5): 1 estético, 2 leve (vigilar), 3 moderado (reparar en la próxima parada), 4 grave (reparar pronto) y 5 crítico (parar la turbina). Si te quedas a un nivel del correcto, cuenta la mitad.
- A menos de 10 m de la turbina salta un aviso; a menos de 0,9 m, choque.

Puntúa	Puntos
Daños encontrados	35
Gravedad bien calificada	15

Palas cubiertas (80 % de las cuatro caras)	25
Distancia a la turbina (≥ 10 m; −2 cada vez)	10
Vuelta y aterrizaje	15

28.10 Limpieza de un aerogenerador con dron cautivo



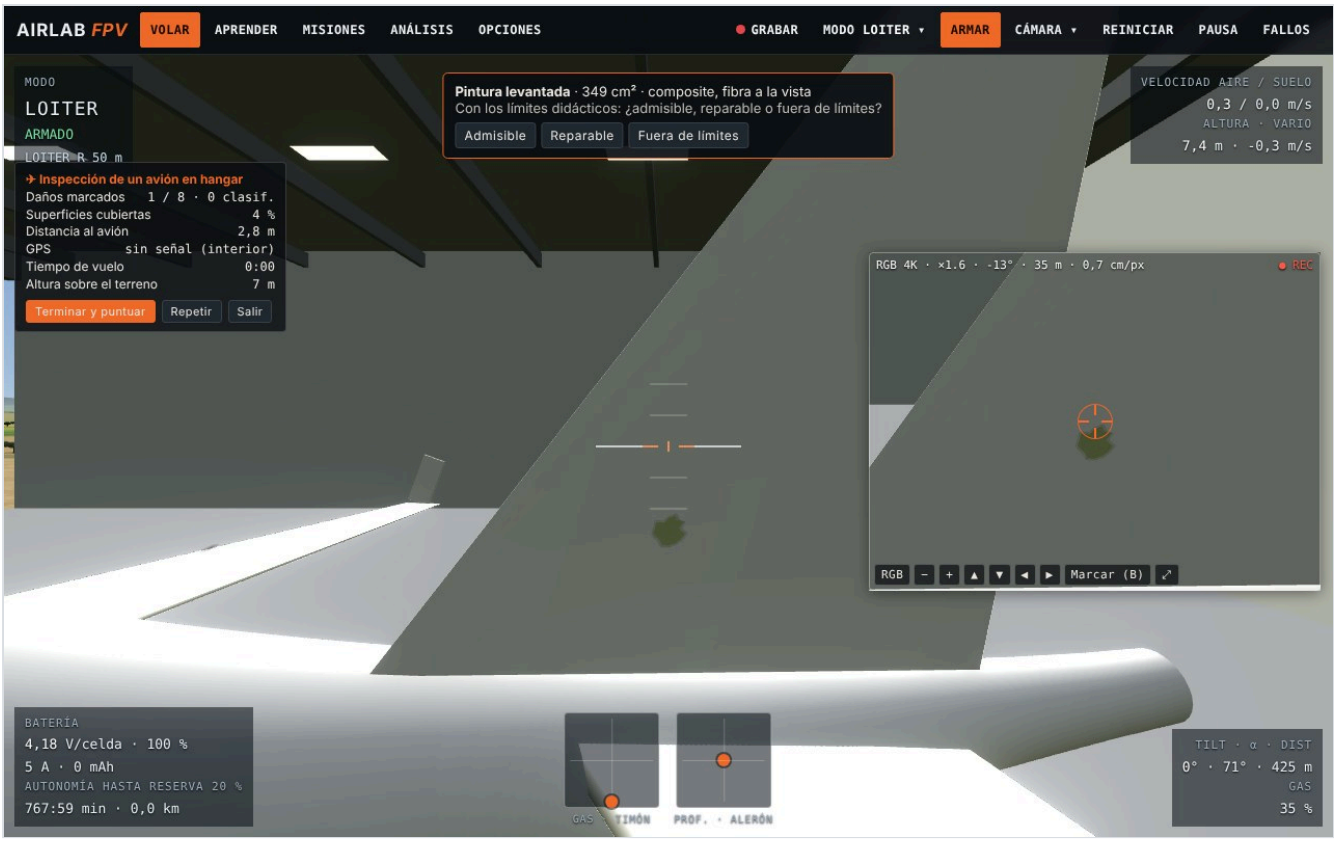
El dron cautivo lavando la pala que apunta al suelo. La manguera baja hasta el camión; las zonas ya limpias no tienen suciedad.

La pala que apunta al suelo tiene el borde de ataque y las caras cubiertos de insectos y polvo. El **dron cautivo de limpieza** (cap. 8) recibe corriente y agua por la manguera desde el camión, que lleva un depósito de 1000 L.

- La lanza va en el cardán: apunta con la cruz de la cámara y abre o cierra el chorro con B. El chorro (25 L/min) limpia de 2 a 11 m, mejor cuanto más cerca, y te empuja hacia atrás.
- La manguera llena pesa 0,35 kg/m y el viento la arrastra: el dron se inclina para aguantar. No puedes alejarte más de 150 m del camión.
- No te acerques a menos de 3 m de la pala. Si la manguera roza la torre o las palas, cuenta en contra.

Puntúa	Puntos
Superficie limpia (objetivo 90 %)	45
Agua gastada (sin penalización hasta 450 L)	15
Distancia a la pala (≥ 3 m; −3 cada vez)	15
Manguera libre (−1 cada 2 s rozando)	10

28.11 Inspección de un avión en hangar, con damage chart



Dentro del hangar, sin GPS: al marcar un daño, el escáner da sus medidas y tú lo clasificas.

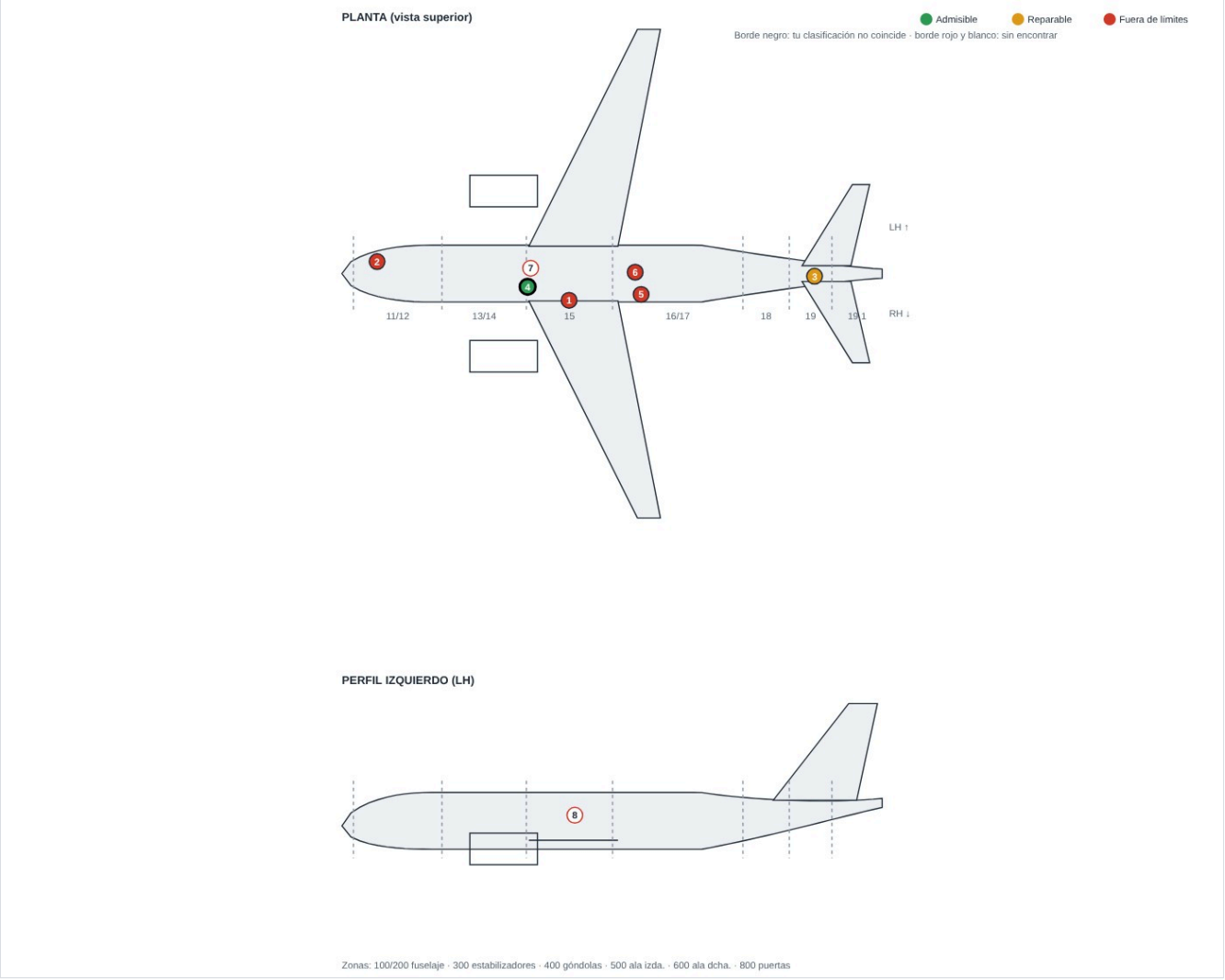
Inspección visual general tras una tormenta de un bimotor de pasillo único genérico con cotas tipo A320: 37,57 m de largo, fuselaje de 3,95 m de ancho, 11,76 m de alto y unos 34 m de envergadura. No es ningún avión real y no lleva marcas.

- **Sin GPS**: dentro del hangar el multirrotor no tiene posición. Arma y vuela en **ALT_HOLD** o **FLOWHOLD** (cap. 8). LOITER, RTL y AUTO no están disponibles.
- Recorre fuselaje, alas, estabilizadores y góndolas a 0,3 cm/px o mejor (0,15 para grietas y remaches), sin acercarte a menos de 2 m del avión. Las paredes, el techo y el avión son choques.
- Hay 8 daños al azar. Al marcar uno, el escáner da sus medidas y tú lo clasificas como **admisible**, **reparable** o **fuera de límites** con estos límites didácticos:

Daño	Admisible	Reparable	Fuera de límites
Abolladura	≤ 1,5 mm de profundidad y Ø ≤ 50 mm	≤ 4 mm	> 4 mm. Sobre una cuaderna, un nivel más.
Impacto de rayo	Solo pintura quemada	Picaduras ≤ 0,4 mm	Picaduras > 0,4 mm
Grieta	—	En estructura secundaria (carenado) ≤ 25 mm	En estructura primaria, o > 25 mm
Pintura levantada	Sobre metal, o composite sin fibra a la vista	Composite con fibra a la vista	—

Remaches que faltan	—	1	2 o más seguidos
Granizo	Profundidad máx. ≤ 0,8 mm	≤ 2 mm	> 2 mm
Rótulo ilegible	—	Siempre (se sustituye)	—

> **Límites didácticos**
> Los límites reales de daños están en el SRM (Structural Repair Manual) del fabricante, que no es público. Estos son inventados para practicar y el informe lo dice.



Damage chart del informe: planta y perfil izquierdo con las secciones del fuselaje, y cada daño numerado con el color de tu clasificación (borde negro si no coincide con la correcta).

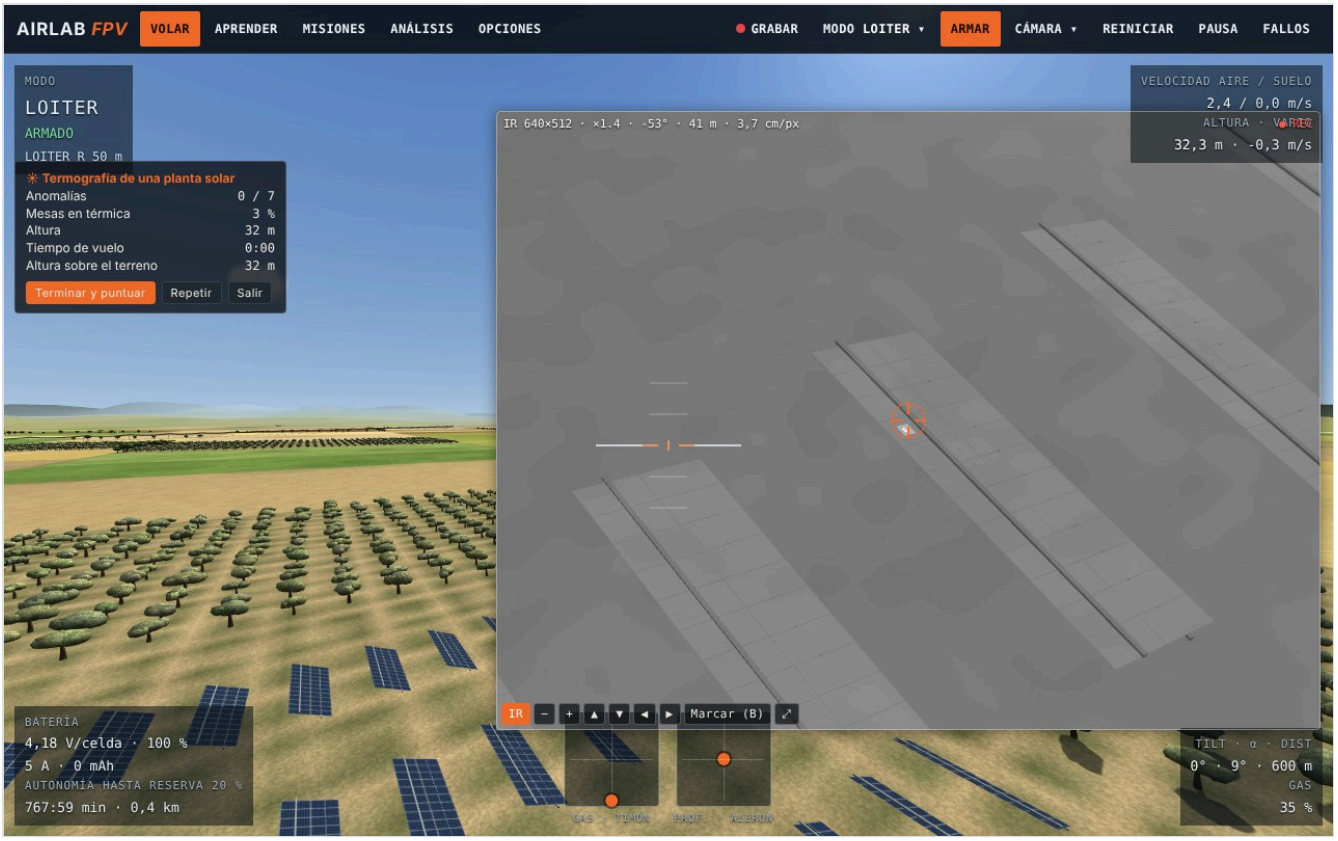
Cada daño se sitúa como en la documentación de mantenimiento (ATA 06):

- **Zona mayor**: 100 y 200 (mitades inferior y superior del fuselaje), 300 estabilizadores, 400 góndolas, 500 y 600 (alas izquierda y derecha), 800 puertas (831, 841…).
- **Sección** del fuselaje: 11/12 a 19.1.
- **Estación** (STA, en mm desde la STA 0, que está 2540 mm por delante del radomo) y **cuaderna** (FR).
- **Lado**: LH o RH.

El damage chart va en el resultado y en el PDF, con la tabla de daños, sus medidas, tu clasificación y la correcta.

Puntúa	Puntos
Daños encontrados	35
Clasificación con los límites	25
Superficies cubiertas (objetivo 75 %)	15
Distancia al avión (≥ 2 m)	10
Vuelta y aterrizaje en el punto de salida	15

28.12 Termografía de una planta solar



Una mesa de módulos en térmica a unos 30 m: un string desconectado se ve como una fila templada y uniforme.

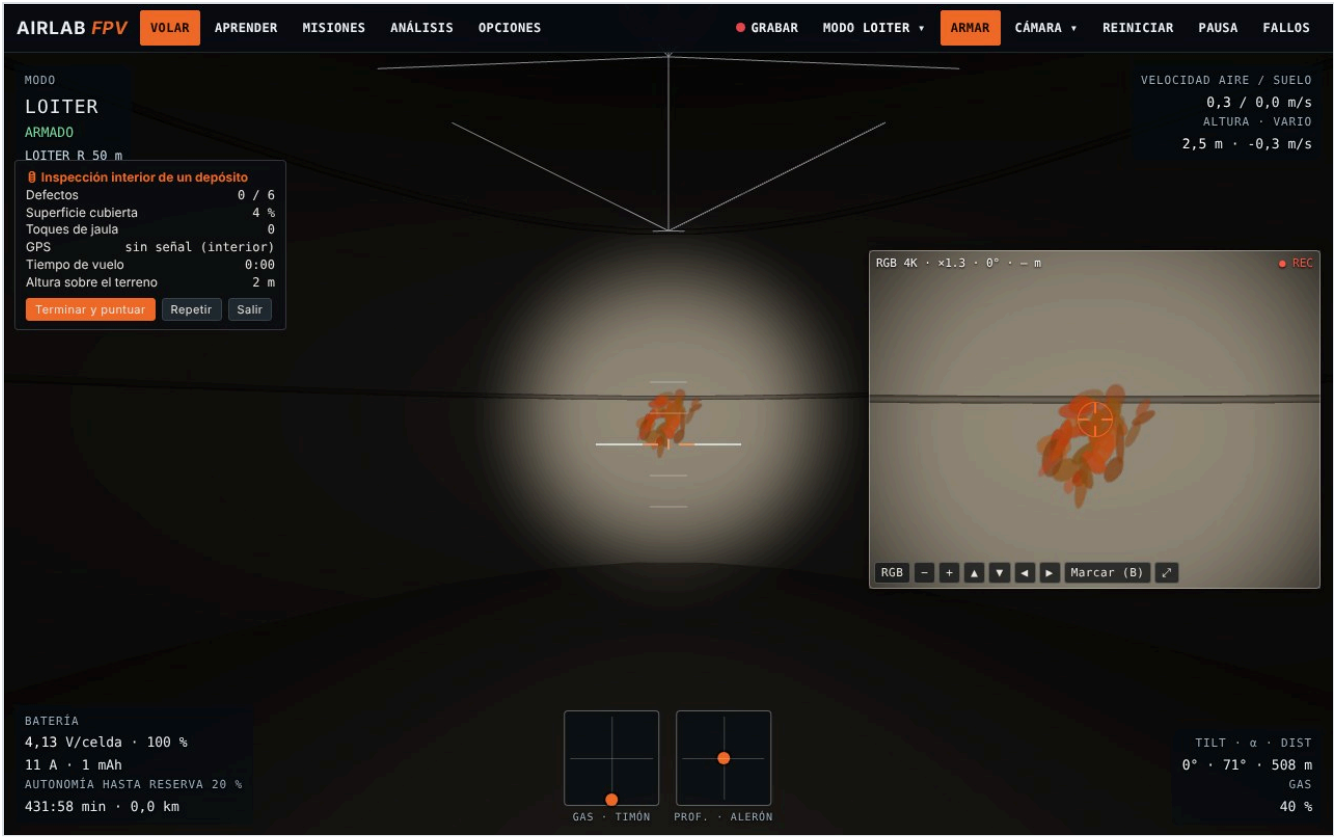
Planta de 1920 módulos: 10 filas de 8 mesas de 2 × 12 módulos, inclinados 25° al sur. La revisión es a mediodía y con cielo despejado, porque los módulos tienen que trabajar con buena radiación; como referencia, se suele pedir al menos unos 600 W/m².

- Recorre las filas con la térmica a 5 cm/px o mejor, a unos 30-35 m de altura con la cámara entre −60° y −90°. Se puede hacer en AUTO con un barrido (cap. 18).
- Hay 7 anomalías. Al marcarlas dices de qué tipo es cada una:
  - **Célula caliente**: un punto muy caliente.
  - **Diodo de bypass**: un tercio del módulo templado.
  - **String desconectado**: los 12 módulos de una fila templados y uniformes.

- **Excremento de ave**: un punto caliente que también se ve en RGB.
- **Cristal roto**: se ve en RGB y está caliente.

Puntúa	Puntos
Anomalías encontradas	35
Tipo de anomalía	20
Planta cubierta en térmica (objetivo 90 %)	25
Sin falsos positivos	5
Vuelta y aterrizaje	15

28.13 Interior de un depósito



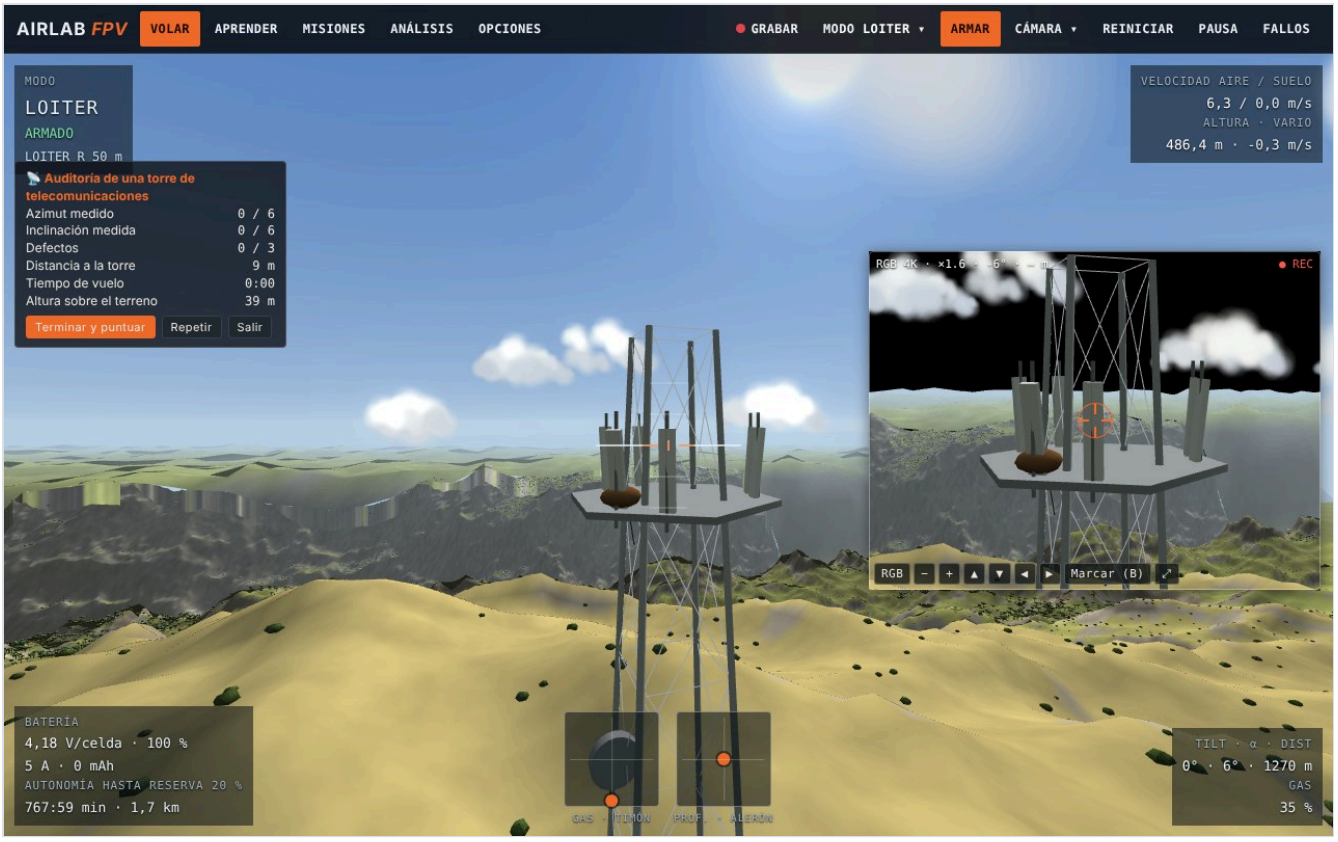
Dentro del depósito con el dron de jaula: los focos son la única luz.

Depósito vacío de 20 m de diámetro y 14 m de alto. La inspección se hace sin que nadie entre. El **dron de jaula** (cap. 8) empieza dentro, en el fondo, y vuela con su cámara (vista FPV).

- Está a oscuras: solo hay la luz de tus focos. No hay GPS: ALT_HOLD o FLOWHOLD, y el flujo óptico va regular con poca luz.
- Busca corrosión en la chapa y en el techo, picaduras, una grieta en una soldadura, ampollas del revestimiento y sedimento en el fondo, a 0,5 cm/px o mejor (0,2 para la grieta).
- Con la jaula puedes tocar la pared y rebotas; un golpe a más de 3,5 m/s es un choque. Con otro dron, tocarla es un choque.

Puntúa	Puntos
Defectos encontrados	40
Superficie interior cubierta (objetivo 70 %)	30
Toques con la pared (−1 cada uno)	15
Vuelta y aterrizaje en el punto de salida	15

28.14 Auditoría de una torre de telecomunicaciones



Torre de celosía de 40 m con tres sectores de dos antenas: midiendo una antena de frente.

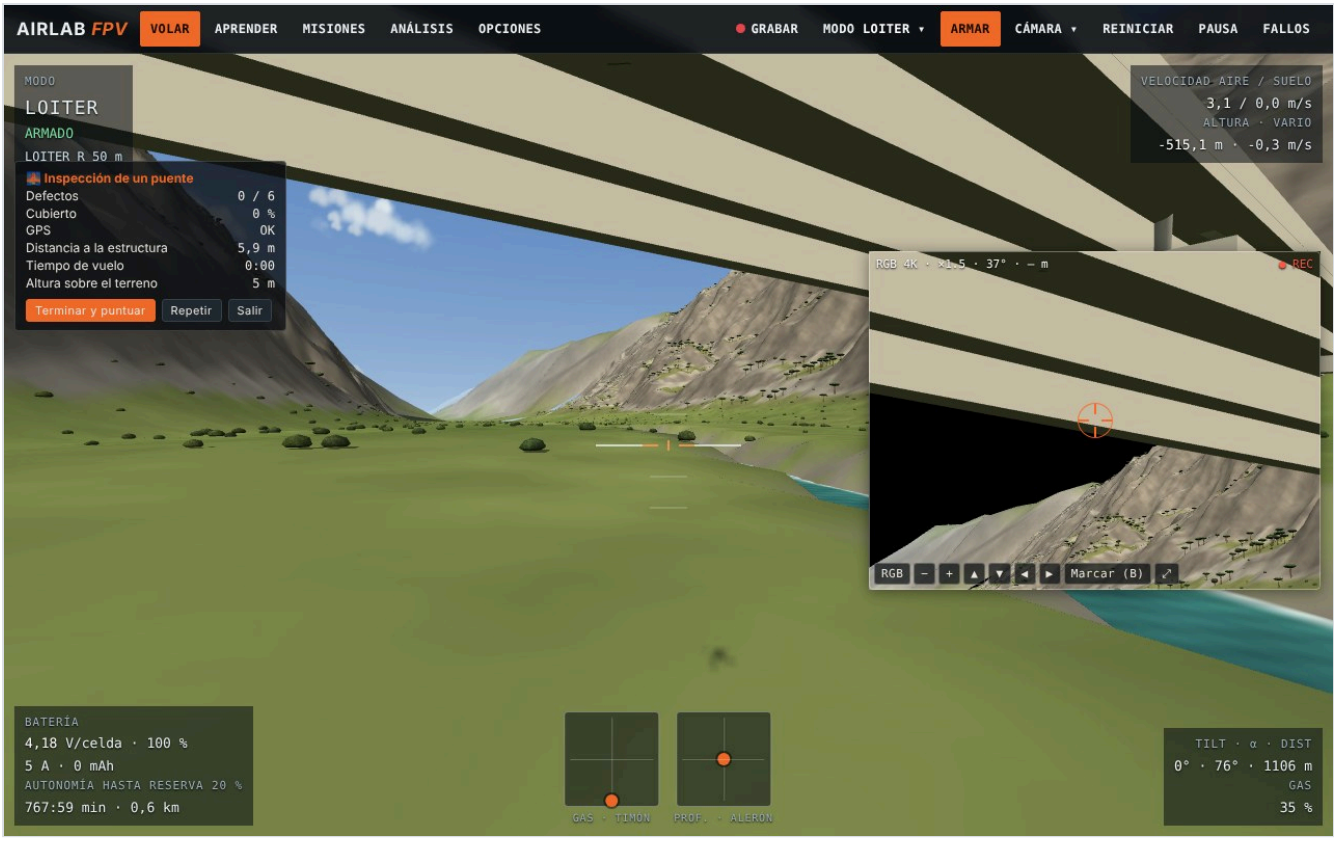
El operador quiere comprobar la orientación de sus 6 antenas (3 sectores) y el estado de la torre.

- Para medir una antena, ponla en la cruz y pulsa B a 1,5 cm/px o mejor:
  - **de frente** (±15°), para el **azimut**;
  - **de perfil** (±15°), para la **inclinación**.
- El informe compara cada antena con la hoja de diseño. Más de ±5° de azimut o ±2° de inclinación es «fuera de tolerancia».
- Busca también óxido en un soporte, un latiguillo suelto y un nido.
- No te acerques a menos de 3 m de la torre ni te pongas a menos de 5 m delante de una antena. Es una zona de exposición didáctica: la real depende de la potencia de cada antena.

Puntúa	Puntos
Antenas medidas (azimut e inclinación)	35

Antenas desorientadas detectadas	10
Defectos de la torre	25
Seguridad	15
Vuelta y aterrizaje	15

28.15 Inspección de un puente



Bajo el tablero del puente del valle: sin GPS, el multirrotor está en ALT_HOLD.

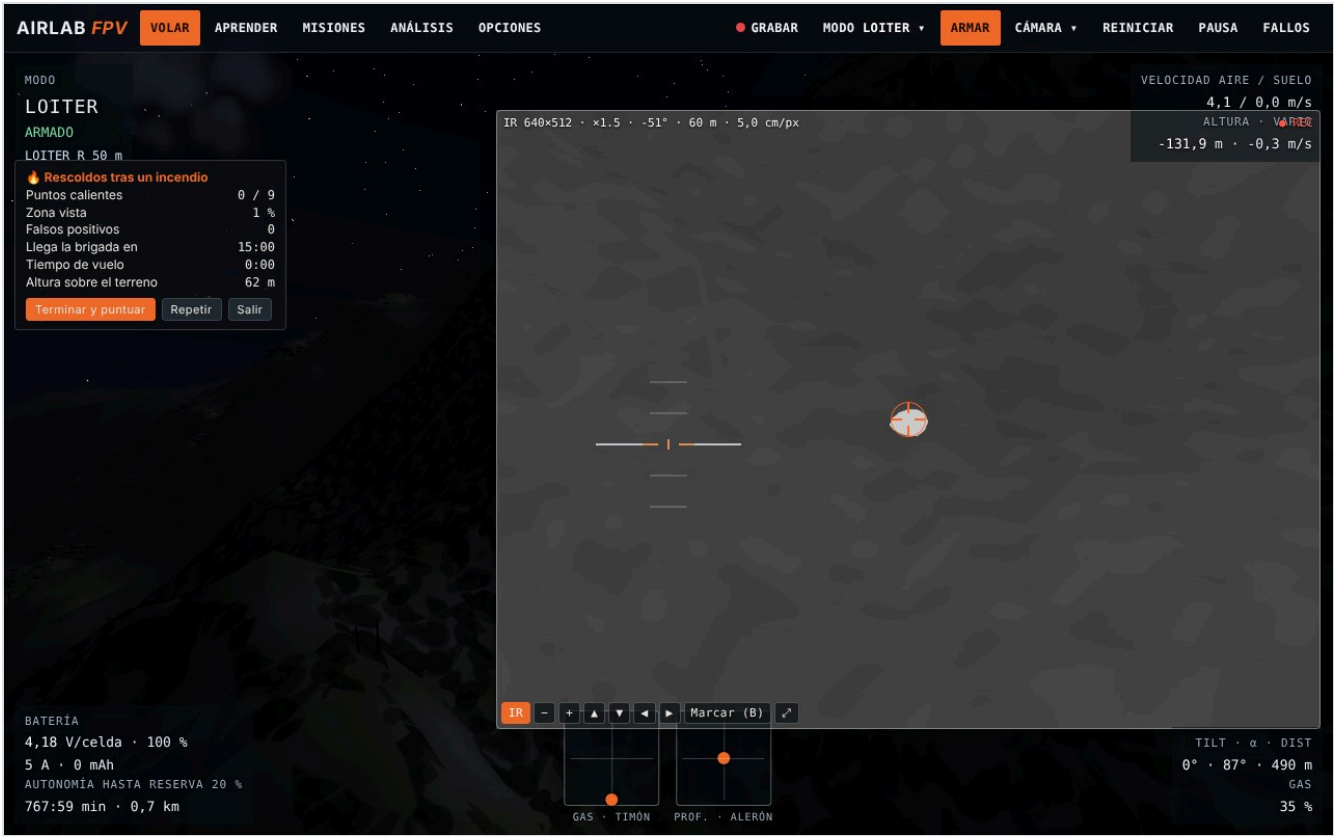
Puente de hormigón de tres vanos (25 + 40 + 25 m) sobre el río del valle, con un tablero de 10 m sobre tres vigas y pilas de dos fustes.

- Bajo el tablero el GPS se pierde y el multirrotor pasa a **ALT_HOLD** (cap. 8). Tendrás que sujetarlo tú o usar FLOWHOLD; sobre el agua, el flujo óptico apenas sirve.
- Hay 6 defectos al azar en la losa, las vigas, las pilas, los apoyos y las juntas: grietas, desconchones con la armadura al aire, eflorescencias, un apoyo dañado y filtraciones. Hay que verlos a 0,5 cm/px o mejor.
- No te acerques a menos de 2 m de la estructura. El tablero, las vigas y las pilas son choques.

Puntúa	Puntos
Defectos encontrados	40
Tablero inferior y pilas (objetivo 70 %)	25
Distancia a la estructura (≥ 2 m)	15

Vuelta y aterrizaje	20

28.16 Rescoldos tras un incendio



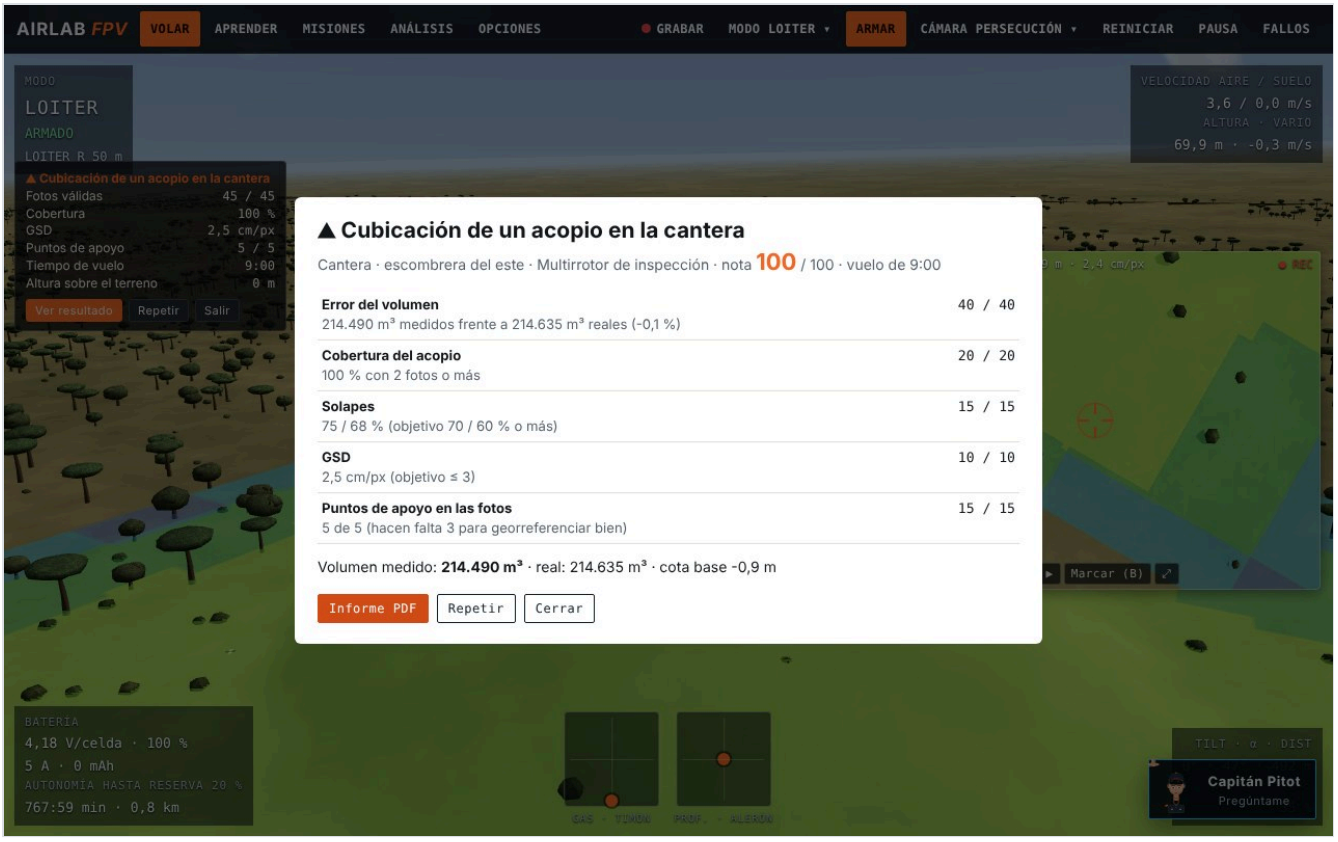
De noche sobre la ladera quemada: un punto caliente en la térmica.

De noche (22:00), sobre una zona quemada de unos 520 × 360 m en la ladera sur. El incendio está controlado, pero puede reavivarse, y la brigada llega en 15 minutos.

- Recorre la zona con la térmica a 15 cm/px o mejor y marca los 9 puntos calientes (brasas bajo tocones y raíces).
- Las piedras guardan el calor del día y se ven templadas, no calientes: marcarlas es un falso positivo, igual que el jabalí.
- No pases de 120 m sobre el terreno.

Puntúa	Puntos
Puntos calientes marcados	45
Zona quemada vista en térmica (objetivo 90 %)	20
Falsos positivos (−3 cada uno)	10
Antes de que llegue la brigada	10
Altura legal	5
Vuelta y aterrizaje	10

28.17 Resultado e informe PDF



Resultado de la cubicación: cada apartado con sus puntos y el volumen medido frente al real.

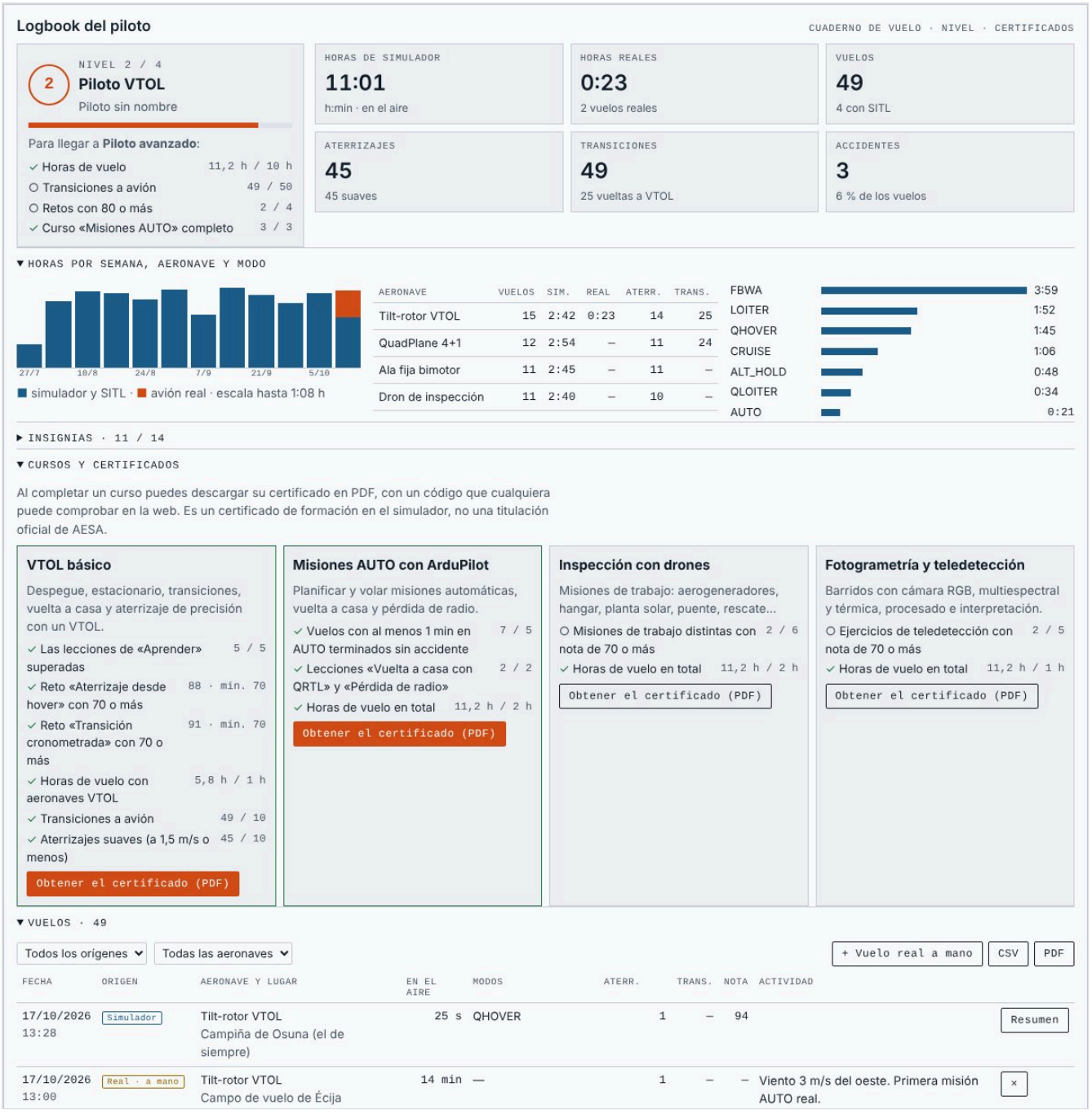
Al pulsar **Terminar y puntuar** sale la nota sobre 100 con cada apartado, los hallazgos con su foto, coordenadas, distancia, GSD y sensor (y los que se quedaron sin encontrar) y, en la cantera, el volumen. **Informe PDF** lo descarga con el encargo, la aeronave, la cámara, el tiempo de vuelo, los resultados, las fotos de cada hallazgo y los falsos positivos. La mejor nota de cada misión se guarda en el navegador y sale en su tarjeta.

> **Para escuelas y empresas**
>
> Como los objetivos cambian en cada intento, sirve para evaluar: el alumno no puede aprenderse dónde están. El informe PDF es la prueba del ejercicio. Los datos son simulados y el informe lo dice en cada página.

Fuentes: altura máxima de 120 m sobre el terreno en la categoría abierta, Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 (EUR-Lex). Volumen, GSD y solapes: capítulo 18. Inspección de palas por UAV, a más de 10 m y por debajo de 2 m/s: arXiv 2507.04922. Tipos de daño en palas: Fluix. Limpieza con dron cautivo (cable, manguera, camión con generador y bomba): The Drive. Inspección de aviones con dron (tarea AMM para la familia A320; dent & buckle charts): AviTrader, Mainblades. Cotas, zonas, secciones y estaciones del A320: manual de formación A319/320/321 ATA 06-10 de Lufthansa Technical Training. Termografía fotovoltaica (irradiancia típica ≥ 600 W/m²): Sinovoltaics. Drones con jaula en depósitos: RUAS. FS_EKF_ACTION y FLOWHOLD: código de ArduCopter (`ArduCopter/Parameters.cpp` , `mode_flowhold.cpp`).

29 Logbook del piloto, nivel y certificados

El simulador lleva tu **cuaderno de vuelo** sin que tengas que apuntar nada. Cada vuelo, desde que armas hasta que desarmas, queda registrado en **Análisis › Logbook del piloto**. También se llega desde el botón **Logbook** de la pantalla de inicio, que muestra tu nivel y tus horas.



Análisis › Logbook del piloto: nivel y lo que falta para el siguiente, totales, horas por semana, por aeronave y por modo, cursos y lista de vuelos.

29.1 Qué se apunta en cada vuelo

- **Fecha y hora**, **aeronave**, **escenario** y si era de noche.
- **Tiempo en el aire** y tiempo armado, y el **tiempo en cada modo** (QHOVER, FBWA, AUTO…).

- **Aterrizajes** (un toque cuenta si antes llevabas al menos 3 s en el aire; es *suave* si bajabas a 1,5 m/s o menos y con menos de 20° de inclinación), **transiciones** a avión y vueltas a VTOL, y si acabó en **accidente**.
- Altura máxima, distancia recorrida, la **nota del debrief** y la **actividad**: lección superada, reto con su nota, misión de trabajo o misión a medida con IA.
- El **origen**: simulador, ArduPilot SITL, **avión real** (con «Vuelo real con instructor», capítulo 16; guarda también las coordenadas del punto de despegue) o **real apuntado a mano**.

Los vuelos de menos de 3 s en el aire (armar y desarmar en el suelo) no se apuntan. Las repeticiones tampoco.

29.2 Horas de simulador y horas reales

Las horas de simulador (y SITL) y las horas reales van siempre **separadas**, en los totales, en la gráfica semanal (azul y naranja) y en las exportaciones. Para un vuelo de tu avión sin telemetría, pulsa **+ Vuelo real a mano** y rellena fecha, hora, tiempo en el aire, aeronave, lugar, aterrizajes, transiciones, modos y notas. Solo los vuelos apuntados a mano se pueden borrar; los demás los apunta el simulador y no se editan.

CSV descarga todos los vuelos para Excel (separado por punto y coma). **PDF** descarga el logbook completo en A4 apaisado, con los totales y espacio para la firma del piloto y la del instructor.

> **¿Sirve como cuaderno de vuelo oficial?**
> Es un registro personal muy completo y te ayuda a llevar el tuyo, pero no sustituye a los registros que la normativa pueda exigir a un operador.

29.3 Nivel del piloto

El nivel no sube solo por horas: también hay que demostrar habilidades. Debajo del nivel aparece lo que te falta para el siguiente.

Nivel	Qué hace falta
0 · Alumno	Para empezar.
1 · Piloto en formación	30 min de vuelo, 5 aterrizajes suaves y la lección «Primer vuelo estacionario».
2 · Piloto VTOL	El curso «VTOL básico» completo.
3 · Piloto avanzado	10 h de vuelo, 50 transiciones, los cuatro retos con 80 o más y el curso «Misiones AUTO».
4 · Piloto profesional	25 h de vuelo y los cursos «Inspección con drones» y «Fotogrametría y teledetección».

Las horas de los niveles y cursos cuentan el simulador, SITL y los vuelos reales con telemetría; los apuntados a mano no. En **Insignias** tienes catorce logros más: primera transición, aterrizaje de 95 o más, vuelo nocturno, pérdida de radio superada, primera misión AUTO o de trabajo, vuelo con SITL, vuelo real, 100 aterrizajes, 20 vuelos seguidos sin accidente…

29.4 Cursos y certificados

Curso	Requisitos
VTOL básico	Las cinco lecciones de «Aprender»; retos «Aterrizaje desde hover» y «Transición cronometrada» con 70 o más; 1 h con aeronaves VTOL; 10 transiciones; 10 aterrizajes suaves.
Misiones AUTO con ArduPilot	5 vuelos con al menos 1 min en AUTO terminados sin accidente; lecciones «Vuelta a casa con QRTL» y «Pérdida de radio»; 2 h de vuelo.
Inspección con drones	6 misiones de trabajo distintas con 70 o más; 2 h de vuelo.
Fotogrametría y teledetección	Los cinco ejercicios de teledetección con 70 o más; 1 h de vuelo.
Normativa de drones EASA/AESA	Simulacros A1/A3 y A2 con el 75 % o más; prácticas «Techo de 120 m» y «A2: distancia a las personas» y ejercicio de zonas UAS con 70 o más (capítulo 36).
Operador de dron en caja	Tres servicios distintos del centro de operaciones con 70 o más; uno de nivel 4 o 5 con 70 o más; seis contingencias resueltas bien; 1 h de vuelo (capítulo 39).

Cuando un curso está completo se activa **Obtener el certificado (PDF)**. La primera vez te pide **tu nombre y apellidos**, tal como quieres que salgan; se guarda en tu cuenta y vale para todos los certificados (se cambia con **Cambiar**, en «Cursos y certificados»).



Certificado del curso «VTOL básico»: requisitos superados, registro de vuelo, fecha, código de verificación y QR.

El certificado lleva un **código de verificación** (como AL-7K2Q-M9XD) y un QR. Cualquiera puede comprobarlo en **www.airlabfpv.es/verificar.html**: sale el nombre, el curso, la fecha y el registro de vuelo. Las horas, vuelos, aterrizajes y transiciones del certificado los calcula el servidor con los vuelos guardados en tu cuenta. Si lo vuelves a descargar, conserva el código.

> **No es una titulación oficial**
> Es un certificado de formación en el simulador y así lo dice. No es una titulación de AESA ni de EASA (A1/A3, A2, STS) y no habilita para operar aeronaves no tripuladas.

29.5 Dónde se guarda

Con cuenta, el logbook, el nombre, el progreso (lecciones, retos, misiones y ejercicios) y los certificados se guardan en tu cuenta: entras desde otro ordenador y lo tienes todo. Si un vuelo no se ha podido subir, aparece con una flecha ↑ y se sube solo tras el siguiente vuelo. En la versión sin conexión se guarda en el navegador; exporta el CSV de vez en cuando para tener una copia. Los certificados que emite la versión sin conexión no llevan código de verificación.

30 Planeador: aerorremolque, térmicas, ladera y variómetro

El **Planeador de 2,5 m** es un velero de radiocontrol sin motor: 51 dm², alargamiento 12,3, perfil SD7037, cola en cruz y 1,45 kg (30 g/dm²). Entra en pérdida hacia 6 m/s y planea unas 18 veces su altura a 9 m/s. Es un diseño genérico, no un modelo comercial: su aerodinámica sale de AeroBuildup y NeuralFoil, como las demás aeronaves, pero sin el CFD de un fabricante para calibrarla.



Aerorremolque: el planeador detrás del remolcador, con la cuerda, y a la izquierda el variómetro con el estado del remolque y el botón Soltar.

30.1 Salir remolcado

1. Elige el planeador en el inicio. Aparece en la pista con el remolcador (un bimotor naranja) 20 m por delante y la cuerda floja.
2. **Arma** (espacio o el interruptor de la radio). A los 2 s el remolcador tensa la cuerda y rueda.
3. Mantén las alas niveladas. Un ayudante sujeta la punta del ala hasta 5 m/s. Hacia 10–12 m/s tira un poco de la profundidad: el planeador despega antes que el remolcador.
4. Durante la subida (12,5 m/s, unos 2 m/s de ascenso) el remolcador hace un circuito: tramo recto y viraje de 180° con 15° de inclinación. Síguelo con alerón y timón, justo detrás y un poco por encima de su estela.
5. Al llegar a la **altura de suelta** (200 m por defecto) se oye «Altura de suelta». Pulsa L o el botón **Soltar**. Si no sueltas en 45 s, suelta el remolcador.

> **Como en la realidad**
>
> Si te pones muy alto (más de 25° por encima), muy de lado (más de 45°) o te adelantas, el remolcador suelta por seguridad: un planeador alto le levanta la cola. Si la cuerda se tensa de golpe por encima de 38 N, se rompe. La fuerza de la cuerda sale en el indicador.

En el mapa meteorológico puedes cambiar la salida a **lanzamiento a mano** (para laderas): al armar, el planeador se lanza a los 2 s.

Te suelta junto a una térmica. Si hay térmicas, el remolcador no da vueltas al azar: va hacia la mejor térmica cercana, la rodea y, al llegar a la altura de suelta junto a ella, te suelta solo. El Capitán Pitot te dice dónde está («a 150 m, a las 10») para que gires hacia ella. Sin térmicas (de noche, cubierto o con las térmicas desactivadas) hace el circuito de siempre. Puedes soltar antes con L.

30.2 Modos

Sin motor, el planeador vuela en **MANUAL**, **FBWA** y **ACRO**. Los modos que piden gas (FBWB, CRUISE, LOITER, AUTO…) no se pueden elegir; los de failsafe sí actúan.

Con el motor del motovelero fuera y con batería (30.7), el Capitán Pitot puede decirte que des gas; con el motor recogido, sus consejos son de planeador: bajar el morro para ganar velocidad, nunca «da gas».

30.3 Variómetro

El indicador de la izquierda es un variómetro de **energía total**: mide lo que sube o baja el planeador contando también la velocidad. Por eso no pita cuando tiras de la profundidad y cambias velocidad por altura; solo cuando el aire sube de verdad. Debajo sale la media de los últimos 20 s.

- **Sube**: pitidos, más agudos y más rápidos cuanto más subes.
- **Entre 0 y −0,8 m/s** (el descenso normal del planeo): silencio.
- **Baja más**: tono grave continuo, más grave cuanto más bajas. El umbral se cambia en el mapa (−0,5 a −2 m/s).

30.4 Térmicas

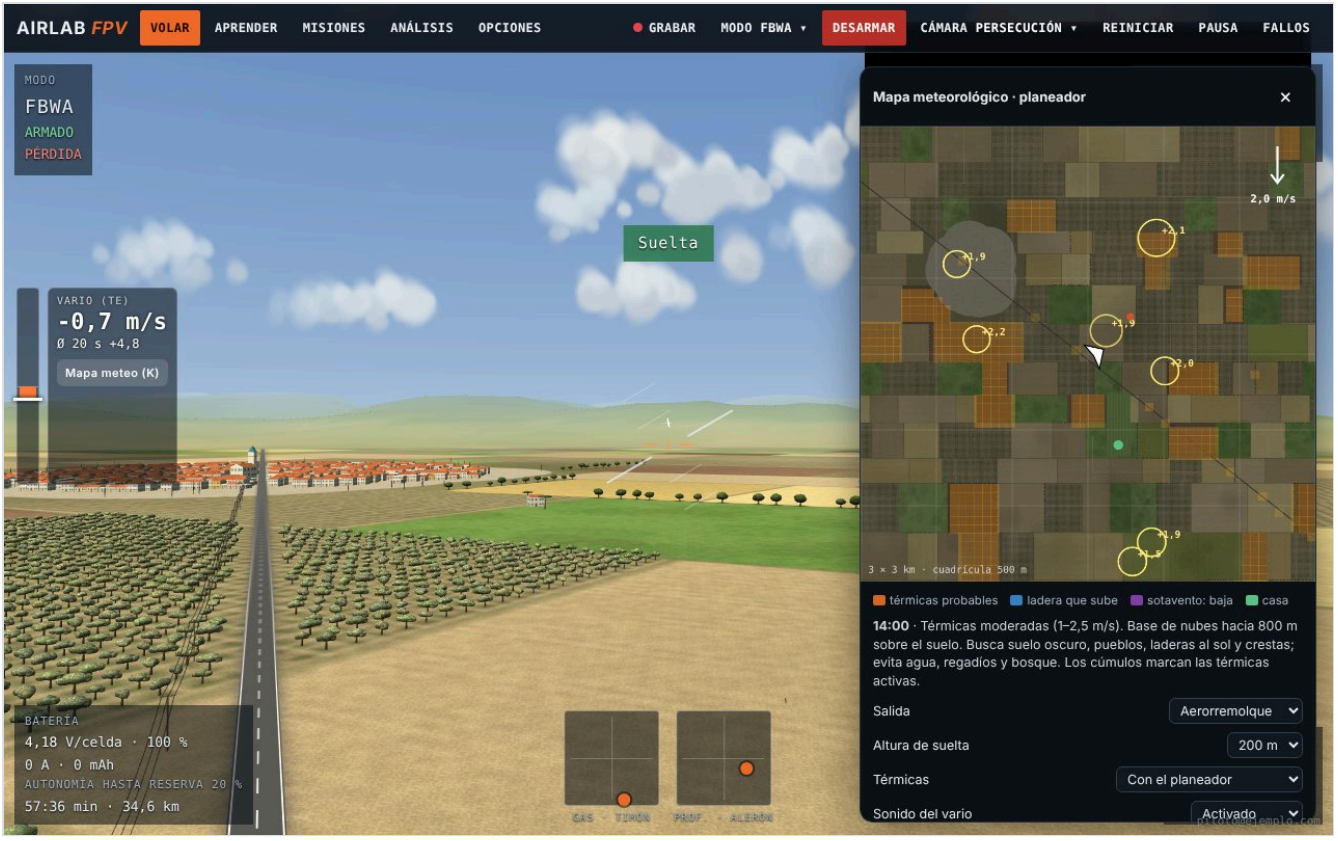
Las térmicas son burbujas y columnas de aire caliente que suben desde el suelo cuando el sol lo calienta. En el simulador nacen más donde el suelo se calienta más:

- **Sol**: con el sol a menos de 8° no hay. Son más fuertes al mediodía y por la tarde, débiles con nubes y nulas con cielo cubierto, niebla o lluvia.
- **Suelo**: la tierra oscura, los pueblos y el rastrojo calientan más que el verde de regadío, el bosque o el agua.
- **Relieve**: las laderas de cara al sol y las crestas y cerros, que es donde se despegan las burbujas.

Cada térmica tiene un núcleo de 1 a 4 m/s y un anillo de aire que baja alrededor. Dura de 6 a 15 minutos, se desplaza e inclina con el viento y llega hasta la base de las nubes (de 350 a 1.200 m sobre el suelo, según el día), donde se forma un **cúmulo**. Entre térmicas el aire baja un poco. Para aprovecharla, vira en cuanto el vario pite y ve desplazando el círculo hacia donde más sube.

El núcleo de cada térmica mide de 85 a 160 m de radio, con el aire que más sube en el centro: hay sitio para virar dentro sin salirte. **En el vuelo 3D** (opción del mapa, activada al principio) cada térmica se ve

como una columna translúcida del tamaño de su núcleo: amarilla si es floja, naranja y roja cuanto más sube, inclinada con el viento y con bandas que suben despacio; en el suelo, un anillo marca dónde nace. Para volar como en la realidad, apágala y guíate por los cúmulos y el vario.



Mapa meteorológico (tecla K): zonas probables de térmicas en naranja, ladera en azul y morado, viento, casa y ajustes del planeador; con «aprendizaje» se ven las térmicas reales.

30.5 Mapa meteorológico (tecla K)

Muestra 3 × 3 km alrededor del planeador:

- En **naranja**, las zonas donde es más probable que haya térmicas con el sol y el suelo de esa hora.
- En **azul**, las laderas de cara al viento, que dan ascendencia. En **morado**, las de sotavento, con descendencia y turbulencia.
- La flecha del viento, la casa, el remolcador y una previsión: intensidad de las térmicas y base de las nubes.

En el mismo panel se elige la salida, la altura de suelta, si hay térmicas (solo con el planeador, con todas las aeronaves o nunca), el sonido del vario y su umbral. También está **Mostrar las térmicas reales**, para aprender: dibuja cada térmica con su fuerza en ese momento.

También están **Ver las térmicas en el vuelo 3D**, el **Motor del motovelero** (sí o no) y la **Batería del motor** (2, 3 o 5 minutos a plena potencia).

30.6 Ladera

Con viento contra una ladera el aire sube por ella, y la ascendencia es mayor cerca de la ladera y por delante de la cresta. En los escenarios con relieve (sierra, costa, presa, cantera) y en el terreno real de tu

zona, vuela en ochos delante de la cara de barlovento. No te metas a sotavento: allí baja el aire y hay rotores.

30.7 Motovelero: motor retráctil

Como muchos veleros, el planeador lleva un motor eléctrico en un mástil que sale del lomo, detrás del ala. Con la tecla `J` o el botón **Sacar motor (J)** del recuadro del variómetro, el mástil sale en 1,5 s y con el gas sube (unos 2–3 m/s). Otra vez `J` y se recoge.

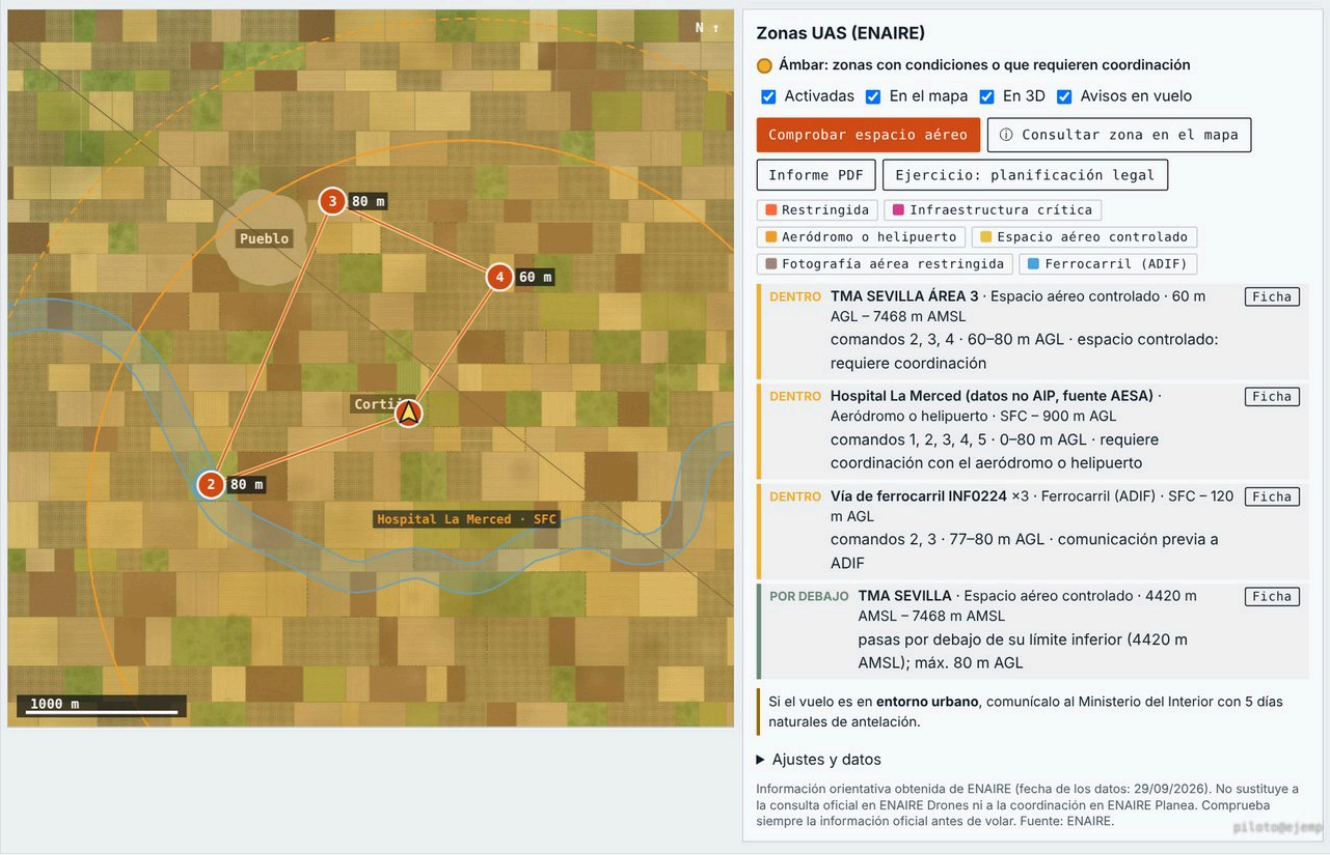
- **Batería del motor**: 2, 3 o 5 minutos a plena potencia; gasta según el gas. El recuadro da lo que queda (barras y tiempo). El Capitán Pitot avisa al 25 % y cuando se acaba. Cada reinicio, batería llena.
- Con el motor fuera y parado, la hélice frena mucho: si no lo usas, recógelo.
- Salida **Con el motor (motovelero)** en el mapa: autodespegue desde la pista; el mástil sale al armar.
- Úsalo para lo que se usa en la realidad: subir cuando no encuentras térmicas o volver a casa si te quedas bajo y lejos.

Fuentes: perfil SD7037 de la base de datos UIUC (vía aerosandbox) · ArduPilot · Soaring · velocidades y polar del planeador calculadas con `tools/aeronaves/generar.py`.

31 Zonas UAS de ENAIRE: planificación legal y avisos en vuelo

El simulador conoce las **zonas geográficas UAS oficiales de España**, las mismas que muestra la aplicación ENAIRE Drones: aeródromos y helipuertos, espacio aéreo controlado, zonas prohibidas, restringidas y reservadas, infraestructuras críticas, vías de tren y entornos urbanos. Las ves en el mapa del planificador y en 3D, comprueban tu misión antes de volar y te avisan durante el vuelo, también en el vuelo real con telemetría.

> **Información orientativa**
>
> Los datos se obtienen de ENAIRE y la aplicación muestra siempre su fecha. No sustituyen a la consulta oficial en ENAIRE Drones ni a la coordinación en ENAIRE Planea: compruébalo siempre antes de volar. El simulador nunca dice que un vuelo «está autorizado»; como mucho, que no ha encontrado zonas en los datos consultados.



Planificador con las zonas UAS alrededor de Osuna: el helipuerto del Hospital La Merced (naranja), la vía del tren (azul), el semáforo y la lista de zonas que afectan a la misión.

31.1 De dónde salen los datos

De los ficheros oficiales de ENAIRE en formato ED-318 (el estándar europeo de zonas UAS), que se publican en el AIP. AIRLAB los lleva preparados en tres capas:

- **Aeronáuticas**: aeródromos, helipuertos, zonas de ultraligeros, CTR, ATZ, FIZ, TMA y CTA, zonas P (prohibidas), R (restringidas) y TSA/TRA (reservadas), zonas de aeromodelismo y de fotografía aérea

restringida. Se actualizan cada ciclo AIRAC (28 días).

- **Infraestructuras**: infraestructuras críticas y las vías de ferrocarril de ADIF.
- **Entorno urbano**: un aviso general para todo el territorio.

Se descargan por zonas alrededor de la casa del planificador y se guardan en el navegador, así que siguen funcionando sin conexión. En **Ajustes y datos** puedes guardar de antemano las zonas de 50 km alrededor de casa y elegir la **consulta en directo a ENAIRE** (experimental): si ENAIRE no responde, se usan los datos incluidos. Si hay un ciclo AIRAC más reciente que los datos, la aplicación lo avisa.

> **Lo que los datos no traen**
> ENAIRE no publica en estos datos las **zonas medioambientales** (parques naturales, ZEPA…) ni los **horarios** de forma estructurada: los horarios de los CTR y la activación de las TSA/TRA por NOTAM vienen escritos en el mensaje de cada zona. Consúltalos en ENAIRE Drones.

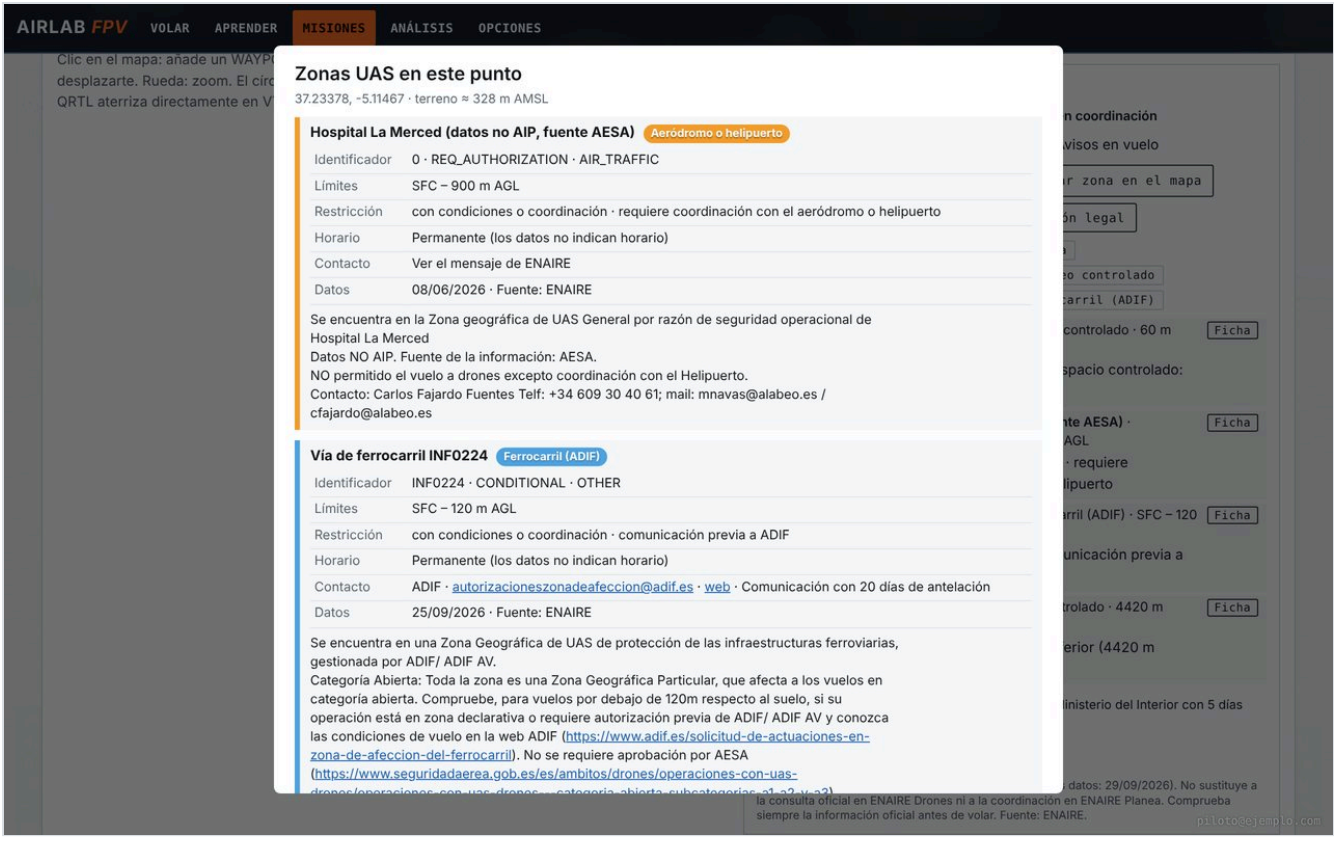
31.2 Las zonas en el mapa del planificador

En **Planificar › Planificador**, debajo de la lista de avisos, está el recuadro **Zonas UAS (ENAIRE)**. Con **En el mapa** se dibujan las zonas con un color por tipo; la leyenda sirve también de filtro (toca un tipo para ocultarlo). Una zona con **borde discontinuo** empieza por encima del suelo: puedes volar por debajo de su límite inferior sin entrar en ella.

Cómo se ven en el mapa. Las zonas que llegan hasta la altura de vuelo de un dron (límite inferior hasta 150 m sobre el suelo) se rellenan con un **rayado diagonal** de su color, más denso en las prohibidas y restringidas, y llevan por dentro del borde una banda ancha, como las cortinas del vuelo, para que se vea de qué lado queda la zona. Las que empiezan muy arriba (una TMA a 4420 m, por ejemplo) solo se perfilan con trazo discontinuo. Si la zona es más grande que la vista y el centro está dentro, abajo a la izquierda aparece **«Toda esta vista está dentro de:»** con sus nombres. Y la **ruta de la misión se pinta del color de la zona** en los tramos que pasan dentro de una zona a su altura de vuelo, con un anillo en los waypoints que caen dentro: rojo en una restringida, naranja en un aeródromo, amarillo en espacio controlado…

Tipo	Qué supone
Prohibida (P) · Restringida (R)	No se vuela, o solo con autorización expresa y sus condiciones.
Infraestructura crítica	Permiso previo y expreso del titular de la instalación.
Aeródromo o helipuerto	Coordinación con el aeródromo o helipuerto (contacto en la ficha).
Espacio aéreo controlado (CTR, ATZ, FIZ, TMA, CTA)	Coordinación con el servicio de control, normalmente a través de ENAIRE Planea.
Reservada (TSA/TRA)	Puede estar activada: consulta los NOTAM.
Ferrocarril (ADIF)	Comunicación previa a ADIF (normalmente con 20 días) por debajo de 120 m.
Fotografía aérea restringida	Condicionantes técnicos del CECAF para captar imágenes.
Aeromodelismo	Informativa: zona con exención para aeromodelismo.
Entorno urbano	Comunicación al Ministerio del Interior con 5 días naturales si vuelas en entorno urbano.

Pulsa **Consultar zona en el mapa** y toca un punto: sale la **ficha** de cada zona de ese punto con sus límites (AGL o AMSL), la restricción, el horario, el contacto para coordinar, el mensaje de ENAIRE tal cual, la fecha de los datos y enlaces a ENAIRE Drones y ENAIRE Planea. Vuelve a pulsar el botón para seguir añadiendo waypoints.



Ficha de las zonas de un punto: límites, restricción, contacto y el mensaje de ENAIRE.

31.3 Comprobar el espacio aéreo de la misión

Cada vez que cambias la misión, el planificador revisa cada waypoint y cada tramo entre waypoints, cada 20 m, con su altura. Para las zonas con límites **AGL** usa la altura sobre el suelo en ese punto; para las **AMSL**, la altitud del terreno de casa (del terreno real o de un modelo de elevaciones) más la altura de la misión. El resultado sale como un **semáforo**:

- **Verde**: no se han detectado zonas en los datos consultados.
- **Ámbar**: entras en zonas con condiciones o que requieren coordinación.
- **Rojo**: entras en una zona prohibida o que requiere autorización expresa.

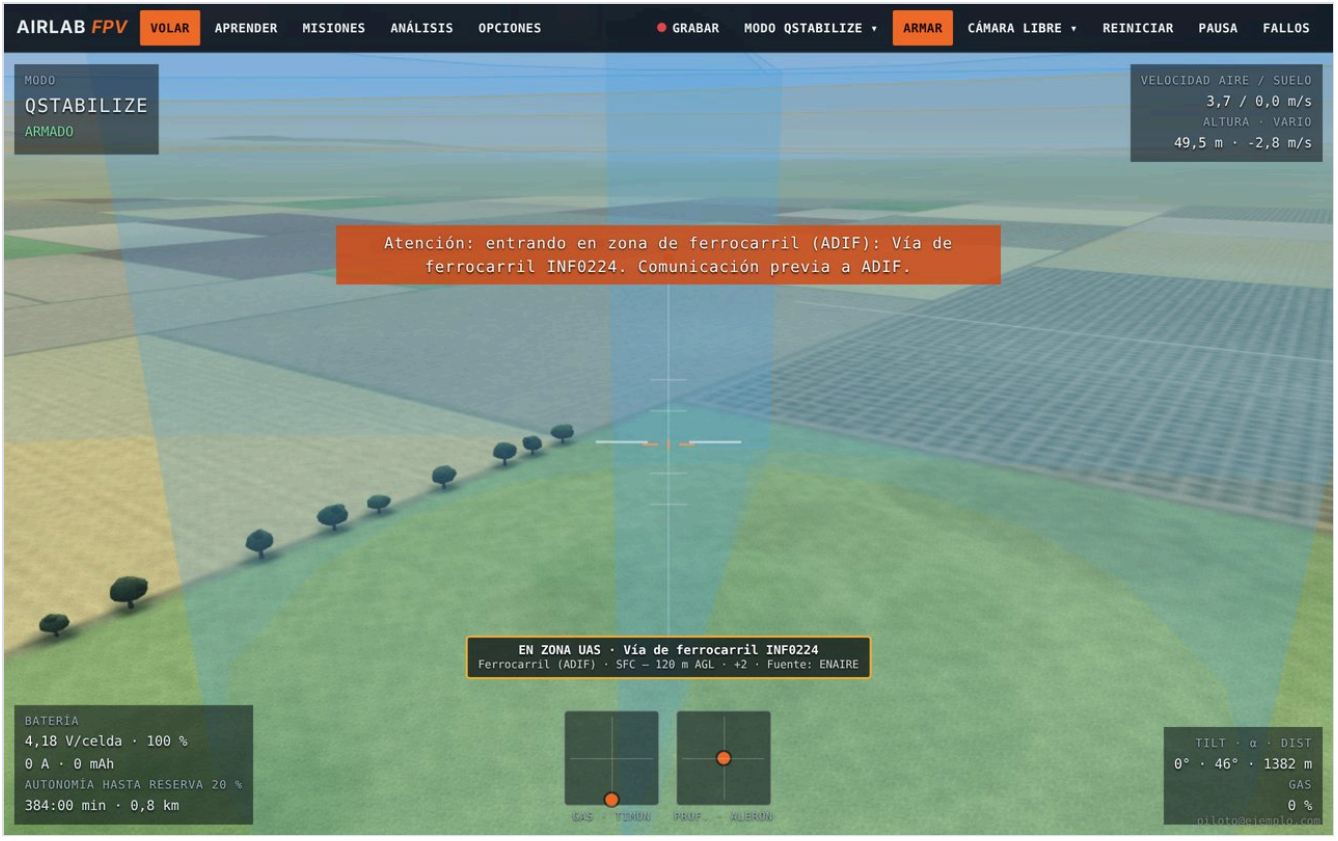
La lista indica para cada zona si estás **dentro** (con qué comandos y a qué alturas), **cerca** (a menos de 150 m) o **por debajo** de su límite inferior. Las zonas en las que entras salen también en la lista de avisos del planificador. **Informe PDF** genera un informe con el mapa, el semáforo, cada zona con su contacto y el aviso legal, para llevarlo al campo o adjuntarlo a una solicitud.

31.4 Avisos durante el vuelo

Con el avión armado (en el simulador, con ArduPilot real en SITL y en el **vuelo real con telemetría**), el simulador avisa:

- al **acercarte** a una zona (200 m en horizontal y 20 m en vertical por defecto; se cambia en **Ajustes y datos**);
- al **entrar**: «Atención: entrando en zona de aeródromo o helipuerto: Hospital La Merced. Requiere coordinación…», en pantalla y con la voz del Capitán Pitot;
- al **salir**.

Mientras estás dentro, un recuadro en la parte de abajo de la pantalla indica la zona, su tipo y sus límites. Las entradas y salidas quedan en la caja negra y en el resumen del vuelo, que te recuerda qué habría que hacer en un vuelo real. En el vuelo real con telemetría solo avisa: nunca actúa sobre el avión.



En vuelo: los volúmenes de las zonas en 3D (la vía del tren en azul), el aviso al acercarse y el recuadro de zona actual.

Con **En 3D** se dibujan los volúmenes de las zonas cercanas entre su límite inferior y el superior (recortado a 160 m sobre el suelo). La lista prevuelo incluye **Prevuelo legal**, con las zonas de casa y el semáforo de la misión, y el chat del Capitán Pitot conoce la zona en la que estás para responder preguntas sobre ella.

31.5 Ejercicio: planificación legal del vuelo

Ejercicio: planificación legal te da un encargo: fotografiar una nave a 80 m de altura cerca de casa, elegida con los datos de ENAIRE (si hay una vía de tren cerca, junto a ella). El objetivo se marca en el mapa y en 3D.

1. Planifica la misión: despega en casa, pasa por el objetivo sin superar 120 m y vuelve a aterrizar.
2. Pulsa **Comprobar espacio aéreo** y revisa las fichas.
3. Pulsa **Evaluar** y responde: qué zonas exigen algo para tu vuelo (pasar por debajo del límite inferior de una zona no te mete en ella), qué hay que hacer con cada tipo y si hay que comunicar el vuelo a Interior.

La nota sobre 100 cuenta el plan (25), haber comprobado el espacio aéreo con la misión final (10), la identificación de las zonas (25), lo que hay que hacer con cada una (30) y no entrar en zonas que no necesitas (10). La corrección explica cada respuesta.

31.6 Resumen de la operación antes de volar

Al pulsar **Armar y empezar en AUTO**, antes de armar, sale el **Resumen de la operación**. Sigue el orden en que se prepara una operación real en España:

1. **La misión**: comandos y longitud de la ruta, duración y batería, altura máxima sobre el suelo y distancia máxima al piloto. En un barrido, además: área, pasadas, fotos, GSD y solape lateral previsto.
2. **Categoría (orientativa)**. Abierta A3 para una aeronave de construcción propia de menos de 25 kg sin marcado de clase: lejos de personas, a 150 m de zonas urbanas, en VLOS y hasta 120 m. Pasa a **específica** si supera 120 m, si sale de la vista del piloto, si cruza entorno urbano o si pesa 25 kg o más. En la específica hace falta una autorización operacional de AESA, porque los escenarios estándar STS-01 y STS-02 exigen las clases C5 y C6. La norma no fija una distancia para el VLOS, sino que veas la aeronave sin ayudas en todo momento; el resumen avisa a partir de 500 m como criterio práctico para un avión de este tamaño.
3. **Espacio aéreo y permisos**: cada zona UAS en la que entra la ruta a su altura de vuelo, con lo que exige el RD 517/2024:
   - Aeródromo o helipuerto: coordinar con su gestor (con AENA, por el contacto de ENAIRE Planea / ENAIRE Drones).
   - Espacio controlado: coordinar con ENAIRE por ENAIRE Planea con 10 días de antelación y como mucho un mes antes, salvo en VLOS, a 60 m AGL o menos y fuera de zonas de aeródromo.
   - Infraestructura crítica: permiso del titular.
   - Ferrocarril: comunicar a ADIF.
   - TSA/TRA: consultar los NOTAM.
   - Zona prohibida o con autorización expresa: no se vuela.
   - Entorno urbano: comunicar al Ministerio del Interior con 5 días de antelación.

   Para cada zona indica también con quién (contacto de la ficha de ENAIRE) y con qué plazo. Las zonas que sobrevuelas por debajo de su límite inferior se listan aparte.
4. **Requisitos**: operador registrado en AESA con el número en la aeronave, piloto, seguro, autorización en la específica, NOTAM y meteo del día, permiso del terreno y protección de datos si las fotos pueden captar personas.
5. **Antes de armar**: lo que falta por resolver.

Simular la solicitud abre un formulario con los datos de la operación: operador, piloto, teléfono, aeronave, fecha, franja, área y altura. La solicitud se «envía» hoy para la fecha prevista del vuelo, que se elige arriba. Si no se respeta el plazo, la solicitud se deniega. Si se respeta, llega la respuesta con un número y condiciones de ejemplo: altura y franja, llamadas de inicio y de fin, aterrizar si aparece una aeronave tripulada y que la coordinación no es una autorización. En la realidad cada gestor fija sus condiciones, y si no contesta, es denegación. Las llamadas y el aviso de un helicóptero se practican en el ejercicio **Coordinación en zona UAS** (36.5).

Volar se activa cuando todo está resuelto. **Volar igualmente (práctica)** arranca la misión y apunta en el registro lo que faltaba; en la realidad no se podría volar así. En vuelo avisa si te pasas de la altura coordinada dentro de la zona. La casilla del pie desactiva el resumen.

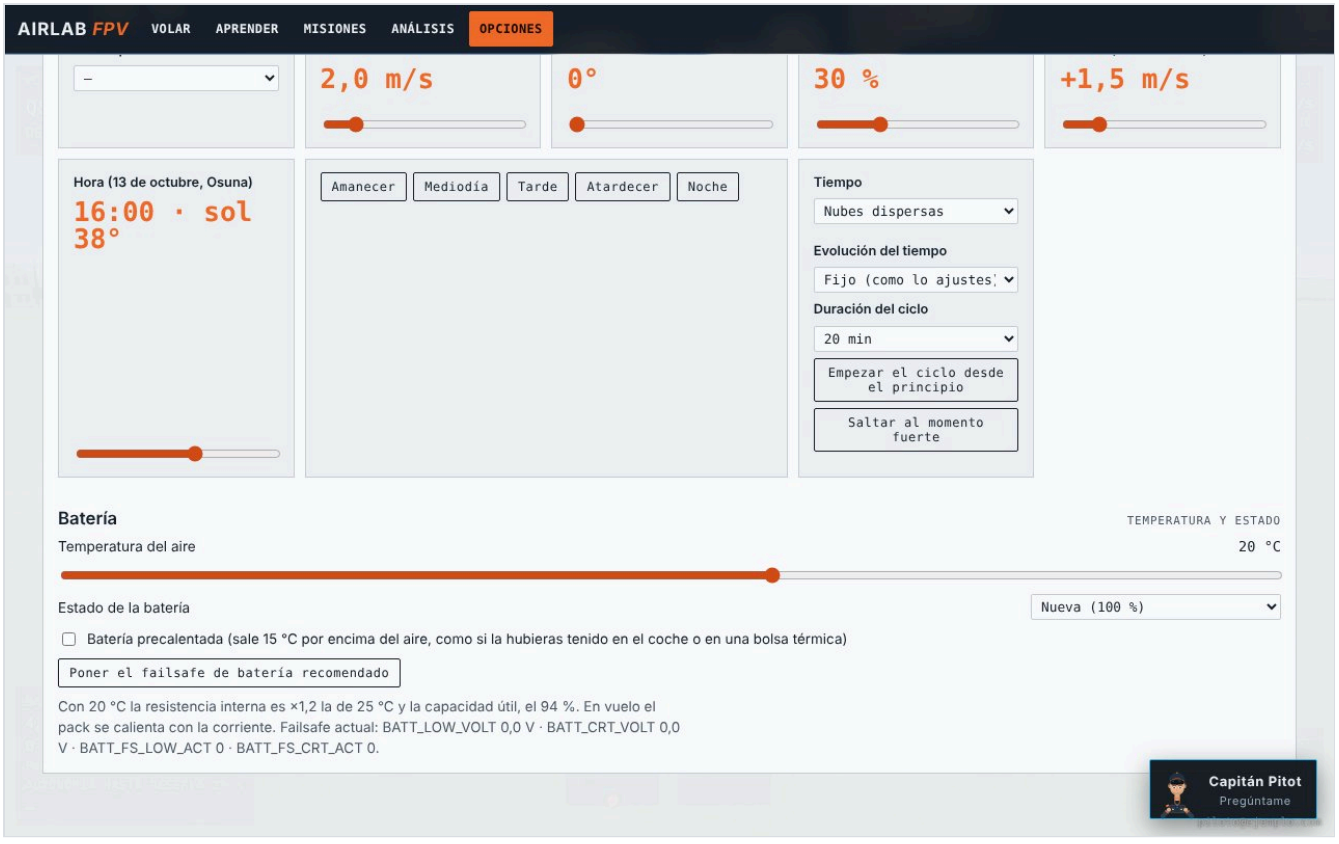
Fuentes: ENAIRE · Zonas geográficas de UAS (AIP, ED-318) · ENAIRE Drones · ENAIRE Planea · Real Decreto 517/2024 · AESA, guía UAS-OPS-DT01 de zonas geográficas UAS.

32 Batería realista y failsafe de batería

La batería ya no es una tensión fija menos una caída. Ahora se comporta como una LiPo de verdad:

- **Frío**: la resistencia interna sube con el frío (algo más del doble a 0 °C que a 25 °C) y la capacidad útil baja (en torno al 70 % a 0 °C). Con gas alto la tensión cae mucho más y el aviso de batería baja llega antes.
- **Carga**: además de la caída inmediata con la corriente, hay una caída lenta con carga sostenida (polarización) que se recupera en unos segundos al soltar gas.
- **Calentamiento**: el pack se calienta con la corriente y se enfría con el aire. Una batería fría rinde mejor a los pocos minutos de vuelo.
- **Desgaste**: una batería usada o gastada tiene más resistencia y menos capacidad.
- Si la batería no puede dar la potencia que piden los motores, cae la tensión y con ella el empuje.

En **Opciones › Hora y meteorología › Batería** eliges la **temperatura del aire** (con el clima variable se usa la del clima), el **estado de la batería** (nueva, usada o gastada) y si está **precalentada** (sale 15 °C por encima del aire, como si la hubieras tenido en el coche o en una bolsa térmica). En el OSD, debajo de la tensión, salen la temperatura del pack y **CAÍDA DE TENSIÓN** cuando la caída por la carga es grande.



Opciones › Hora y meteorología › Batería: temperatura, estado, precalentado y el failsafe recomendado.

32.1 Failsafe de batería como en ArduPilot

Funciona como el monitor de batería de ArduPlane, con sus parámetros (en **Parámetros › Batería**):

Parámetro	Qué hace

BATT_LOW_VOLT · BATT_LOW_MAH	Batería baja: por tensión (por debajo durante BATT_LOW_TIMER segundos) o por mAh consumidos. 0 = desactivado.
BATT_CRT_VOLT · BATT_CRT_MAH	Batería crítica, con valores menores que los de baja.
BATT_FS_LOW_ACT · BATT_FS_CRT_ACT	Acción: 0 aviso, 1 RTL, 2 Land, 3 Terminate, 4 QLand, 6 Loiter to QLand. El crítico manda sobre el de baja.
BATT_LOW_TIMER	Segundos seguidos por debajo de la tensión antes de disparar (10 por defecto): evita que salte por un tirón de gas.
BATT_FS_VOLTSRC	0: tensión medida. 1: tensión compensada por la caída (la que tendría en reposo), más estable con gas alto.

Al disparar salen los mensajes de ArduPilot («Battery 1 is low 21.40V used 6400 mAh») y el Capitán Pitot lo anuncia. En un avión sin VTOL, QLand se convierte en RTL. **Poner el failsafe de batería recomendado** lo deja en 3,5 V por celda o 25 % de mAh → RTL y 3,3 V por celda o 10 % → QLand (Land en un avión). Los drones con Betaflight no tienen failsafe de batería: avisan en el OSD con **BATT LOW** y **LAND NOW**. Con ArduPilot real (SITL) o en el vuelo real manda el ArduPilot de verdad.

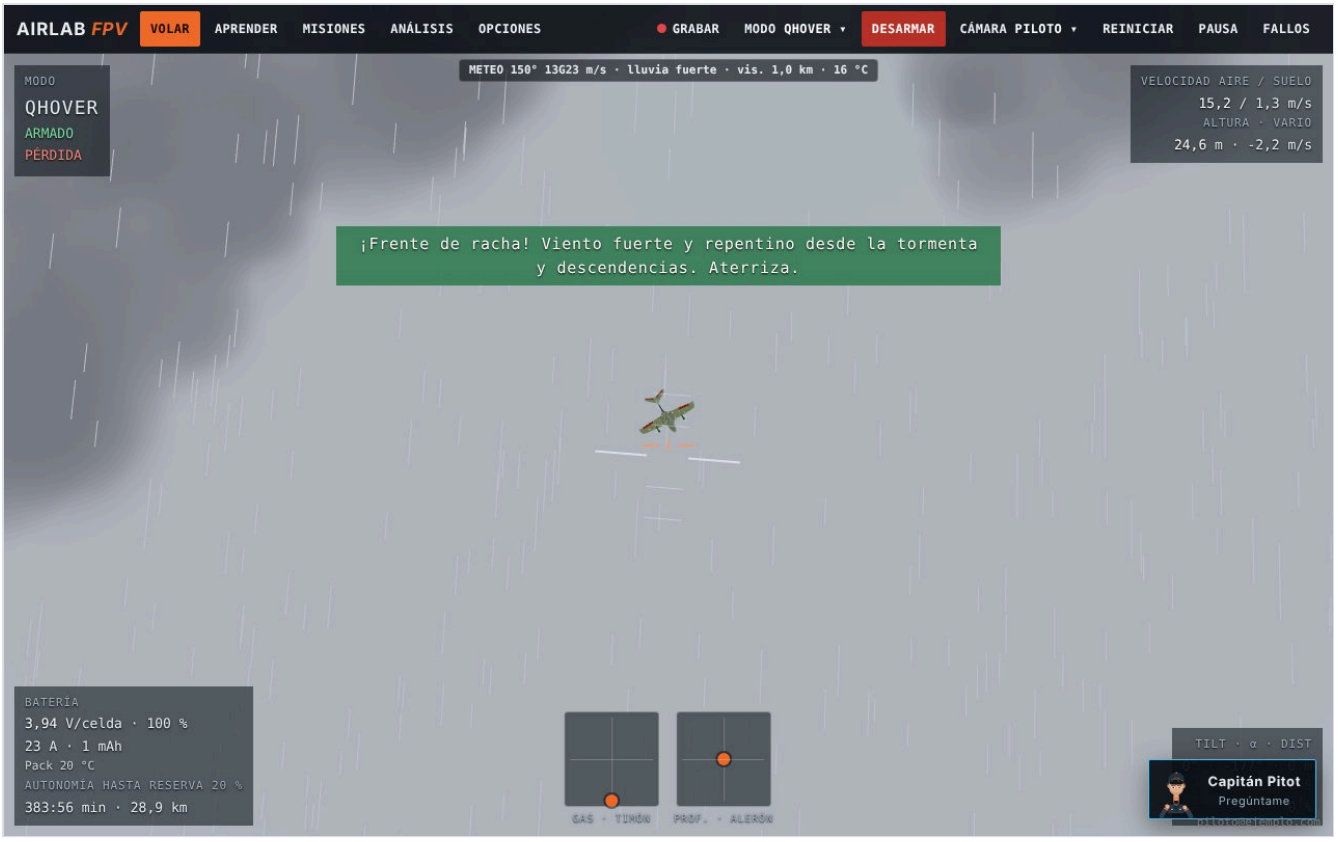
> **Prueba**
>
> Pon 0 °C y la batería usada, despega en QHOVER y sube con gas alto: verás cómo cae la tensión y salta el aviso mucho antes que a 25 °C. Repite con la batería precalentada.

33 Clima variable durante el vuelo

En **Opciones › Hora y meteorología › Evolución del tiempo** el tiempo puede cambiar mientras vuelas:

- **Fijo**: como lo ajustes (lo de siempre).
- **Variable**: nubes, viento y dirección cambian poco a poco y de vez en cuando cae un chubasco.
- **Paso de un frente**: el cielo se cubre, el viento rola al suroeste y arrecia, llueve con fuerza y baja la visibilidad, la temperatura cae unos 6 °C y luego despeja con viento del noroeste racheado.
- **Tormenta de verano**: calor y cúmulos que crecen; llega el **frente de racha** (viento fuerte y repentino que sale de la tormenta, con descendencias), lluvia torrencial con rayos y truenos, y después escampa.

Eliges la **duración del ciclo** (8, 15, 20 o 40 minutos), puedes empezarlo de nuevo o **saltar al momento fuerte**. Arriba, en el centro, la línea **METEO** da el viento y las rachas, la lluvia y la visibilidad, como un parte. El Capitán Pitot anuncia cada cambio («¡Frente de racha! … Aterriza.»).



Tormenta de verano: lluvia, visibilidad reducida y la línea METEO con el viento y las rachas.

La lluvia reduce la visibilidad, oscurece el suelo y, en la cámara FPV, deja **gotas en la lente** que se van con la velocidad. Los rayos iluminan la escena y el trueno llega con el retraso de la distancia. La temperatura del clima la usa la batería (capítulo 32). Al volver a «Fijo» se restauran tus ajustes de viento y tiempo.

> **Lo que enseña**
>
> El frente de racha llega antes que la lluvia y puede doblar el viento en segundos. Si ves crecer las torres de cúmulos, aterriza antes de que llegue.

34 Terreno real en cualquier sitio del mundo

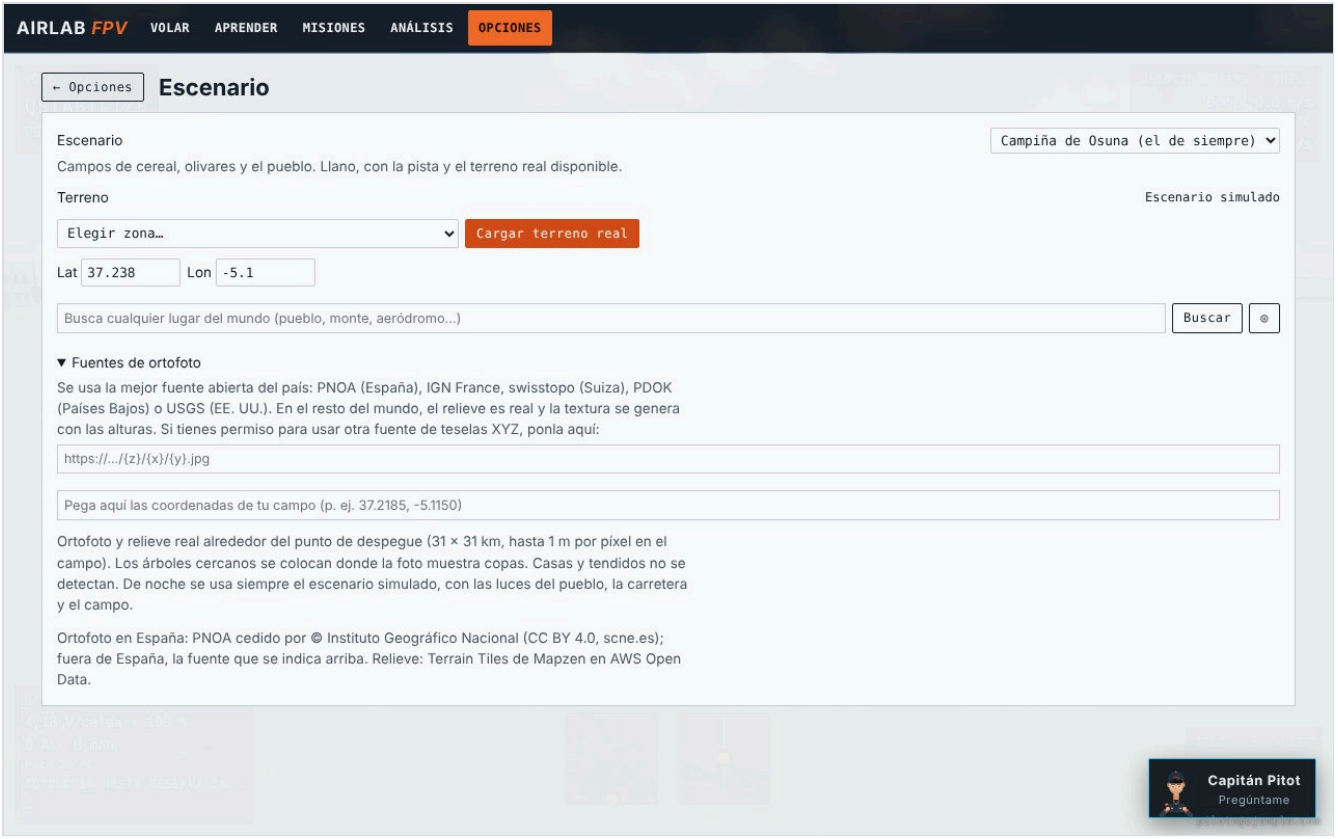
El terreno real ya no se limita a España. En **Opciones › Escenario › Terreno real**:

- **Buscar**: escribe un pueblo, un monte o un aeródromo de cualquier país (búsqueda de OpenStreetMap). También **Usar mi ubicación** y los lugares recientes.
- **Sitios conocidos de vuelo**: duna de Pilat (Francia), Torrey Pines (EE. UU.), Mam Tor (Reino Unido), Algodonales y Piedrahíta, Àger, Interlaken (Suiza) y Texel (Países Bajos), además de las zonas de Osuna.

El **relieve** es real en todo el mundo (SRTM, EU-DEM). La **ortofoto** sale de fuentes abiertas según el país:

Zona	Ortofoto
España	PNOA del IGN
Francia	IGN France (BD ORTHO)
Suiza	swisstopo SWISSIMAGE
Países Bajos	PDOK Luchtfoto
Estados Unidos	USGS The National Map
Resto del mundo	Textura generada con el relieve: cultivos y prados en el llano, roca en las pendientes, nieve en las cumbres altas y mar a cota 0, con sombreado del relieve.

Si una fuente no responde o da teselas vacías, se prueba la siguiente. Puedes poner tu propia fuente de teselas XYZ (respeta sus condiciones de uso). Abajo sale siempre la atribución de los datos. El **sol** sale y se pone según la latitud del sitio y la fecha. Las zonas UAS de ENAIRE solo existen en España: fuera, el semáforo sale en gris («Sin datos»).



Opciones › Escenario › Terreno real: buscador, sitios conocidos de vuelo y fuentes de ortofoto.

35 Concursos de planeador

Desde **Aprender › Concursos de planeador**, o con el planeador elegido desde el botón **Concursos** del recuadro del variómetro, se abren dos pruebas inspiradas en las de competición de veleros de radiocontrol (no son el reglamento FAI completo):

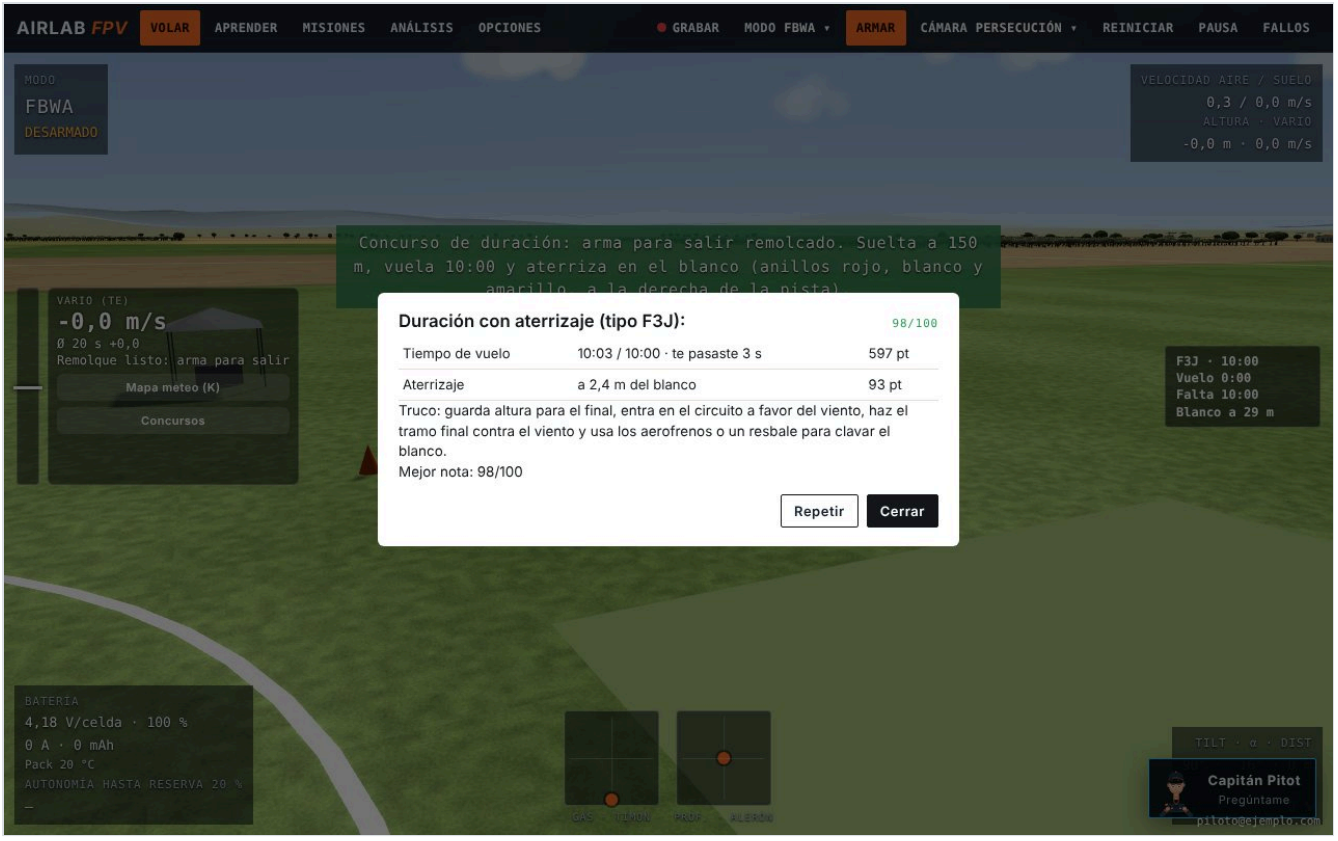
35.1 Duración con aterrizaje de precisión (tipo F3J)

1. Elige el tiempo de trabajo: 5, 8 o 10 minutos. Sales remolcado y la suelta es a 150 m.
2. El tiempo empieza al soltar. Busca térmicas para aguantar justo el tiempo objetivo.
3. Aterriza en el **blanco**: los anillos rojo (1 m), blanco (5 m), amarillo (10 m) y blanco (15 m), a la derecha de la pista.

Puntos: 1 por segundo de vuelo hasta el objetivo; cada segundo de más resta 1. Aterrizaje: 100 a 1 m o menos, bajando hasta 30 a 15 m; más lejos, 0. Si rompes al tocar, 0. La nota sobre 100 es el 80 % del vuelo más el 20 % del aterrizaje. A la derecha, un indicador da el tiempo de vuelo, lo que falta y la distancia al blanco.

Indicador y clasificación: arriba a la derecha, la cuenta atrás grande (en verde, amarillo el último minuto y rojo si te pasas), el tiempo volado y la distancia al blanco. Debajo, la **clasificación del grupo** en directo: vuelas a la vez que otros 7 pilotos ficticios, que suman puntos mientras vuelan y su aterrizaje al tocar; algunos aterrizan antes de tiempo. Al terminar sale la clasificación final con tu puesto.

Comentarios del Capitán Pitot: cada medio minuto o así te dice en qué puesto vas y te da un consejo según lo que haces (estás en ascendencia, vas bajo y queda mucho, te sobra altura...); avisa a mitad de tiempo, con un minuto y con 25 s, cuando un rival aterriza y cuando subes de puesto. Si usas el motor del motovelero después de soltar, el tiempo de vuelo no cuenta: en F3J no hay motor.



Resultado del concurso de duración: tiempo de vuelo, aterrizaje y nota.

35.2 Distancia en ladera (tipo F3B distancia)

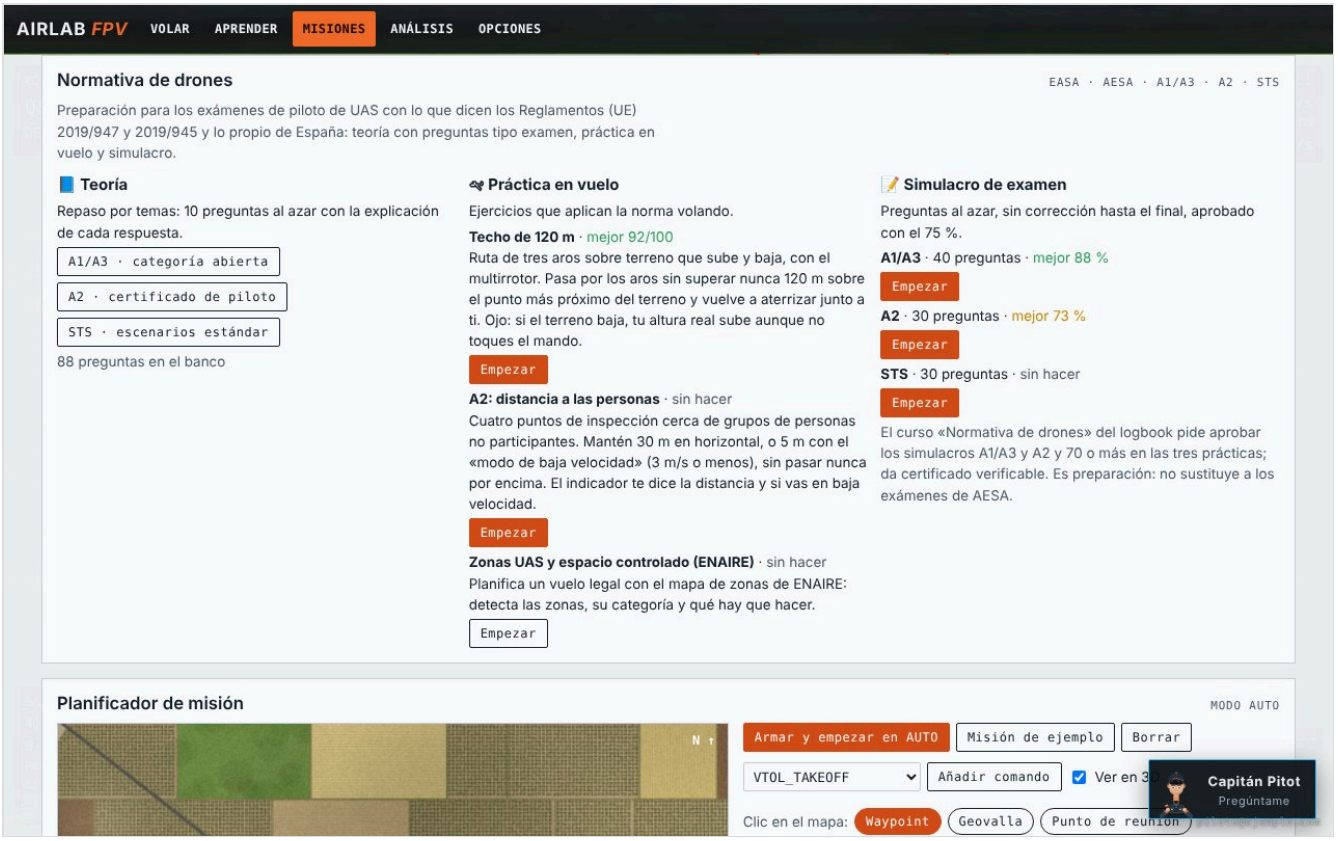
Lanzamiento a mano en una ladera con viento de cara. Dos bases, A (naranja) y B (azul), a 150 m a lo largo de la ladera. Cuentan los **tramos** completos de base a base en **4 minutos**; la nota es tramos / 16 × 100 (16 tramos son 2.400 m, unos 10 m/s de media). Necesitas una ladera y viento de 6 a 9 m/s contra ella: el acantilado, la sierra o un sitio real de ladera (duna de Pilat, Algodonales...).

En distancia también hay cuenta atrás y clasificación en directo con los tramos de cada rival.

Las mejores notas de cada prueba quedan guardadas y salen en el menú de concursos.

36 Normativa de drones EASA/AESA

En **Aprender**, el panel **Normativa de drones** prepara para los exámenes de piloto de UAS de la categoría abierta (A1/A3 y A2) y para los escenarios estándar (STS) de la específica, con lo que dicen los Reglamentos (UE) 2019/947 y 2019/945 y lo propio de España (AESA, zonas geográficas de ENAIRE).



Aprender › Normativa de drones: teoría, práctica en vuelo y simulacro de examen.

36.1 Teoría

Un banco de preguntas tipo examen de tres temas: **A1/A3** (categoría abierta: alturas, distancias, clases C0–C4, registro, VLOS y observador, zonas, noche, responsabilidades), **A2** (meteorología, prestaciones del UAS y mitigación del riesgo en tierra) y **STS** (escenarios estándar, zona controlada en tierra, volumen de contingencia, declaración, SORA, PDRA y LUC). En el repaso salen 10 preguntas al azar y, al responder, la explicación de cada una.

36.2 Práctica en vuelo

- **Techo de 120 m**: con el multirrotor, una ruta de tres aros sobre el terreno que más sube y baja alrededor de casa. Pasa por los aros sin superar nunca 120 m sobre el **punto más próximo** del terreno y vuelve a aterrizar junto a ti. El indicador da la altura sobre el terreno y la altura sobre el despegue: sobre un valle o al salir de un cortado, la real es mayor que la que marca el dron.
- **A2: distancia a las personas**: cuatro puntos de inspección cerca de grupos de personas no participantes. Mantén 30 m en horizontal o, en **modo de baja velocidad** (3 m/s o menos), 5 m; nunca por encima. En el suelo, el círculo rojo marca los 30 m y el amarillo los 5 m. El indicador da la distancia a la persona más cercana, tu velocidad y si vas en baja velocidad.

- **Zonas UAS y espacio controlado**: el ejercicio de planificación legal con el mapa de ENAIRE (capítulo 31.5).
- **Coordinación en zona UAS**: un vuelo completo dentro de una zona que exige coordinación (apartado 36.5).

Cada práctica da una nota sobre 100: los aros, aterrizar junto al piloto y el cumplimiento (tiempo por encima de 120 m o incumpliendo la distancia). Pasar por encima de personas no participantes limita la nota a 40.



Práctica A2: grupos de personas con los círculos de 30 m y 5 m, el aro de inspección y el indicador de distancia y velocidad.

36.3 Simulacro de examen

Simulacro	Preguntas	Aprobado
A1/A3	40	75 %
A2	30 (sobre todo de A2, con algunas de A1/A3)	75 %
STS	30 (sobre todo de STS)	75 %

No hay corrección hasta el final; luego salen la nota, si apruebas y las preguntas falladas con la respuesta correcta y su explicación.

36.4 Certificado

El curso **Normativa de drones EASA/AESA** del logbook pide: simulacros A1/A3 y A2 con el 75 % o más, las prácticas «Techo de 120 m» y «A2: distancia a las personas» con 70 o más y el ejercicio de zonas

UAS con 70 o más. Da un certificado verificable como los demás.

> **Es preparación**
> No sustituye a los exámenes de AESA ni habilita para volar. Para la categoría abierta, la formación y el examen A1/A3 se hacen en la sede electrónica de AESA, y el examen A2 ante AESA o una entidad reconocida.

36.5 Coordinación en zona UAS

Practica lo que hay que hacer para volar dentro de una zona geográfica UAS que exige coordinación. Se elige el caso: **tu zona real** (si el punto de despegue está dentro de la zona de un aeródromo, un helipuerto o un espacio controlado), o uno de ejemplo: **helipuerto de hospital**, **aeropuerto de AENA** o **CTR de ENAIRE**. Son seis pasos:

1. **Identificar**: tres preguntas sobre a quién se coordina, con qué antelación y qué es la coordinación.
2. **Solicitud**: operador, piloto, móvil durante el vuelo, fecha, horario, altura, radio, categoría, aeronave y descripción. Si falta algo esencial, la fecha está fuera de plazo o pides más de 120 m, te la devuelven.
3. **Respuesta**: número de coordinación y condiciones (altura máxima, radio, llamar al iniciar y al terminar, franja, móvil operativo, aterrizar si aparece una aeronave tripulada, consultar los NOTAM).
4. **Llamada de inicio**: suena el teléfono del gestor y le hablas con el micrófono (en Chrome) o escribes. Tienes que decir quién eres, el número de coordinación y que vas a iniciar el vuelo; si falta algo, te lo pregunta.
5. **Vuelo**: con el multirrotor de inspección, pasa por los dos puntos azules sin salir del círculo amarillo ni pasar de la altura máxima. El indicador de la derecha da altura, distancia, puntos y la franja que queda. En algún momento el gestor avisa de un helicóptero sanitario: aterriza de inmediato.
6. **Llamada de fin**: al aterrizar y desarmar junto a ti, llamas para cerrar el vuelo.

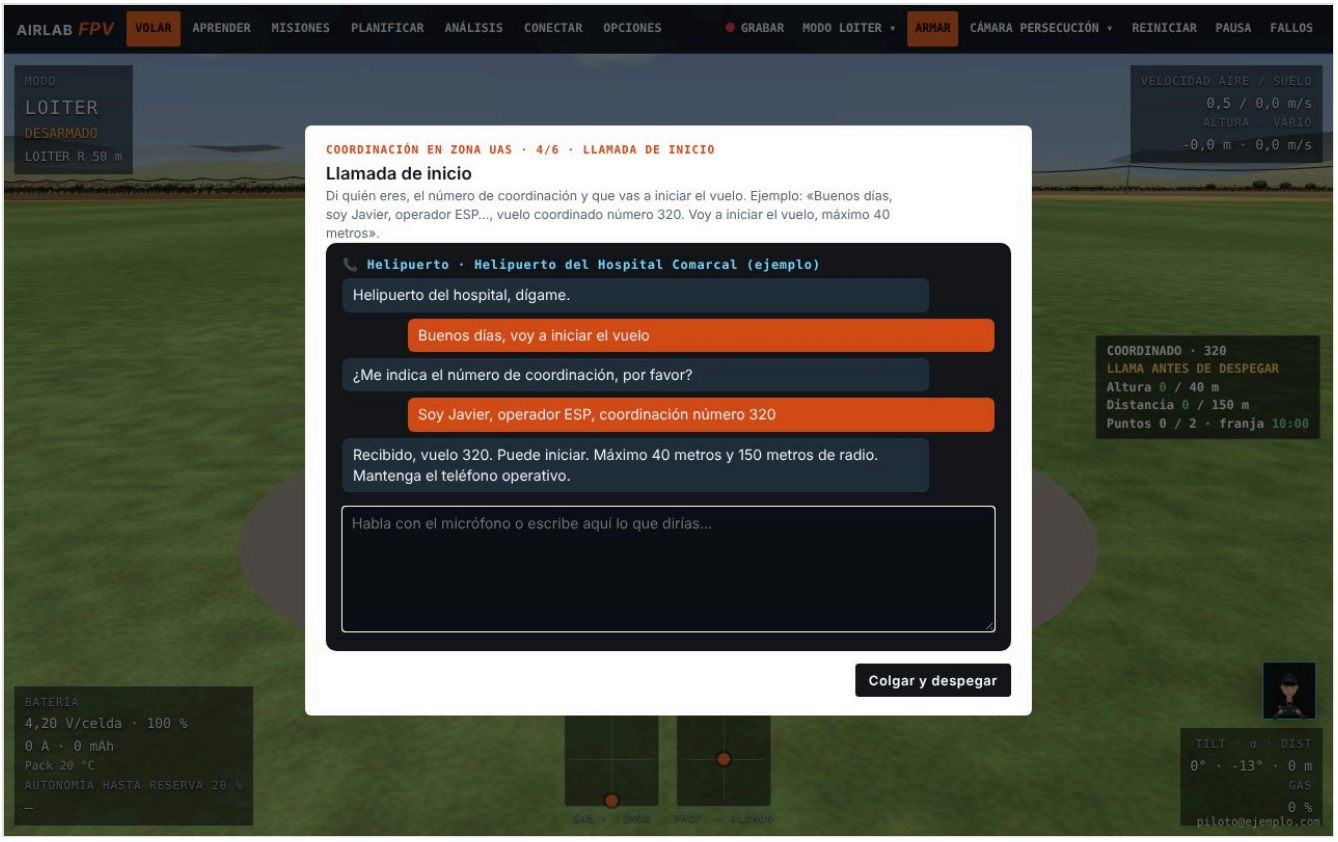
Concepto	Puntos
Identificación	15
Solicitud (−4 por cada devolución)	20
Llamada de inicio	15
Altura máxima	15
Área de la operación	10
Aterrizaje ante el helicóptero (≤30 s todo, ≤60 s la mitad)	15
Puntos de inspección	5
Llamada de fin	10

Descuentos: despegar antes de la llamada de inicio (−15), pasarse de la franja (−5) y no marcar la consulta de los NOTAM (−5). Un impacto limita la nota a 30.

Si te sales de las condiciones (altura máxima o área), el gestor te llama al momento: «descienda por debajo de 40 metros» o «vuelva al área», y el indicador cuenta 15 s. Si corriges, queda anotado (−3 si tardas 5 s o menos, −6 si tardas más). Si no corriges en 15 s, o pasas del doble de la altura o del radio

coordinados, el gestor **anula la coordinación** y ordena aterrizar: aterriza, desarma y la nota queda en 40 como máximo. En la realidad, incumplir las condiciones de la coordinación es una infracción y la coordinación deja de valer.

> **Cómo es en la realidad**
>
> Para el espacio aéreo controlado de ENAIRE no hace falta coordinar si vuelas en VLOS, fuera de las zonas de aeródromos y helipuertos y a 60 m AGL o menos; si no, la solicitud va por ENAIRE Planea con al menos 10 días naturales (y como mucho un mes antes), y el silencio es denegación. Cerca de los aeropuertos de AENA, por el contacto que indica ENAIRE Planea o ENAIRE Drones, con 20 días. Cada helipuerto tiene su procedimiento (por ejemplo, el del Hospital General de Segovia pide 7 días naturales). La coordinación no es una autorización y cada gestor fija sus condiciones: las del ejercicio son un ejemplo.



Llamada de inicio al gestor del helipuerto: el gestor pide el número de coordinación que faltaba y da paso.

Fuentes: Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 y sus AMC/GM · Reglamento Delegado (UE) 2019/945 · AESA · Drones · Real Decreto 517/2024 · ENAIRE · vuelos en zonas de ENAIRE · Procedimiento de coordinación del helipuerto del Hospital General de Segovia.

37 Mundo real: tiempo, tráfico y ladera

Tres funciones que llevan al simulador lo que pasa ahora mismo en tu sitio de vuelo: el tiempo de verdad, los aviones y helicópteros que vuelan cerca y la ascendencia de ladera del relieve real. Necesitan internet; en la versión sin conexión piden los datos a www.airlabfpv.es.

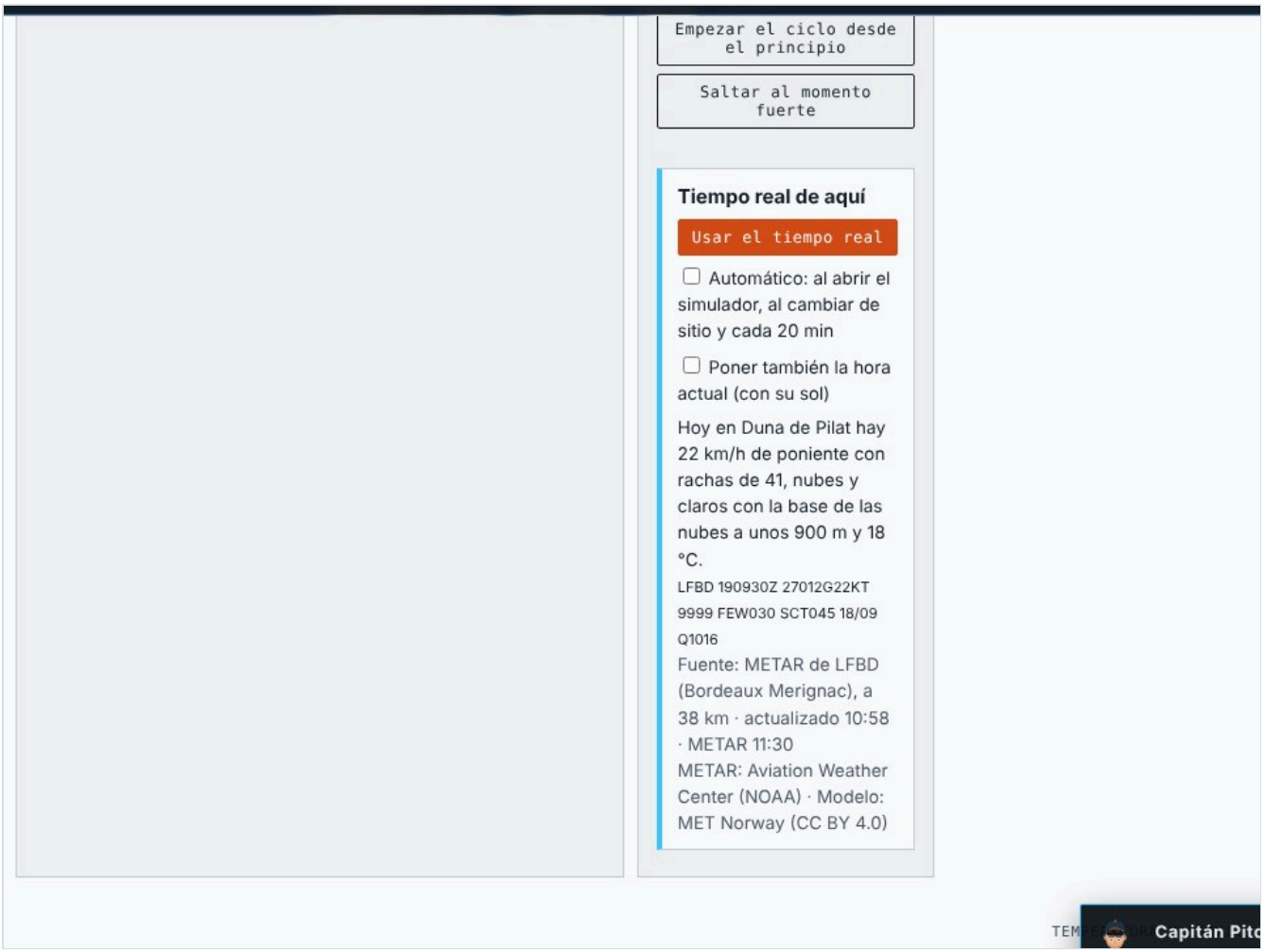
37.1 Tiempo real de aquí

En **Opciones › Hora y meteorología**, el recuadro **Tiempo real de aquí** (y, junto al terreno real, el botón **Tiempo real de este sitio**). Al pulsar **Usar el tiempo real** se pide el parte del punto de despegue:

- **METAR** del aeródromo más cercano (hasta 60 km), del Aviation Weather Center de NOAA. Si está a 45 km o menos, manda el METAR.
- Si no hay aeródromo cerca, el **modelo de MET Norway** en el punto exacto.

Se aplica al simulador: viento medio, dirección y rachas; nubosidad y base de las nubes (que es también el techo de las térmicas del planeador); visibilidad (niebla); lluvia; temperatura (la usa la batería) y QNH (lo usa el tráfico real para la altitud). El Capitán Pitot lo resume, por ejemplo: «Hoy en Osuna hay 25 km/h de poniente con rachas de 40, poco nuboso y 18 °C». Arriba, en vuelo, el indicador **METEO REAL** da el aeródromo, el viento y la temperatura mientras no lo cambies a mano.

Con **Automático** se actualiza al abrir el simulador, al cambiar de sitio y cada 20 minutos. **Poner también la hora actual** mueve el sol a la hora de ahora. El simulador admite hasta 54 km/h (15 m/s) de viento: si hay más, se queda ahí y te avisa.



Opciones › Hora y meteorología › Tiempo real de aquí: resumen, METAR en bruto y fuentes.

37.2 Tráfico aéreo real

En **Opciones › Escenario**, el recuadro **Tráfico aéreo real**. Con **Ver el tráfico real de ahora mismo**, cada 10 s llegan los aviones y helicópteros que emiten ADS-B en el radio que elijas (9 a 46 km) y se dibujan en 3D: avioneta, reactor, gran reactor, helicóptero con rotor, planeador, ultraligero o globo, según su categoría. Entre dos datos se mueven con su velocidad, rumbo y régimen de subida.

- **Altura**: la altitud barométrica corregida con el QNH del tiempo real, menos la altura de tu punto de despegue.
- **Ayudas visuales**: un punto que se ve de lejos y una etiqueta con indicativo, tipo, diferencia de altura y distancia. Sin ellas, los ves como en la realidad: muy pequeños hasta que están cerca.
- **Indicador de tráfico** (a la izquierda): los cuatro más cercanos con distancia, diferencia de altura y posición en horas del reloj. En amarillo, a menos de 3 km y 450 m de altura; en rojo, a menos de 800 m y 200 m.
- **Ver y evitar**: con el dron en el aire, el Capitán Pitot avisa del tráfico que se acerca («tráfico a las 3, a 1,2 km, 150 m por encima: helicóptero») y, si pasa cerca, da la alerta para que desciendas y te apartes.
- **Tráfico de práctica**: un helicóptero o una avioneta simulados que cruzan cerca de ti cada minuto y medio, en cualquier sitio y a cualquier hora.

En la práctica de **coordinación en zona UAS** (36.5), si hay un helicóptero cerca el aviso del gestor llega antes y dice su indicativo.



Tráfico en 3D con etiqueta e indicador: un helicóptero cruza por delante del dron.

> **No sustituye a mirar el cielo**
>
> Solo salen las aeronaves con ADS-B, con unos segundos de retraso. Muchas avionetas, helicópteros y planeadores no lo llevan. Datos: adsb.lol (licencia ODbL).

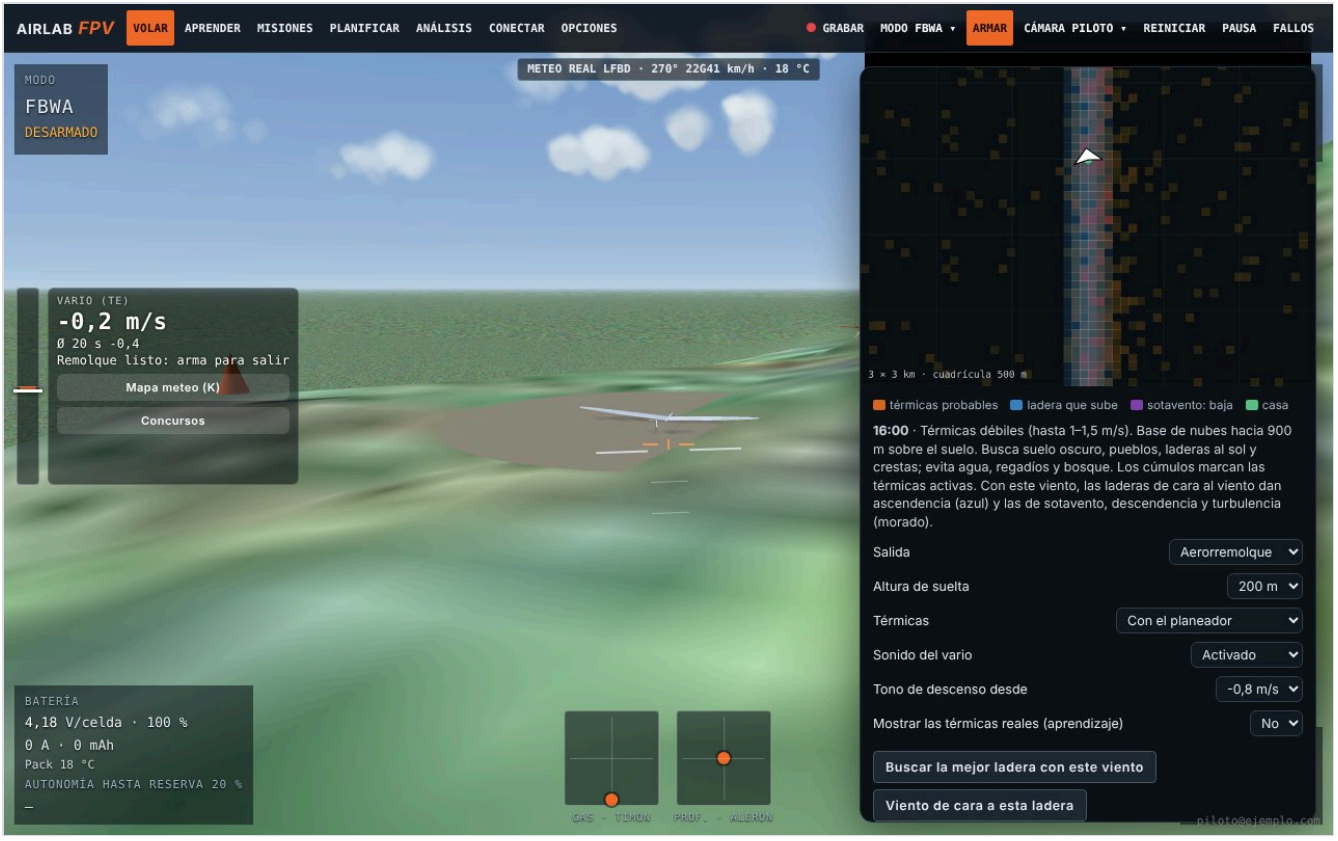
37.3 Ladera y térmicas en el terreno real

Con el planeador sobre el terreno real, el viento que choca con una ladera sube: la ascendencia se calcula con la pendiente del relieve real a barlovento y llega más alto cuanto más desnivel tiene la ladera (hasta unas 1,5 veces su altura sobre la cresta). Detrás de la cresta, a sotavento, el aire baja. Las térmicas nacen donde el sol calienta más: la orientación de cada ladera y el color de la ortofoto (tierra seca, rastrojo y pueblos calientan más que el arbolado, el regadío o el agua). Con el tiempo real, la base de las nubes es la del METAR.

En el mapa meteorológico del planeador (tecla K) y junto al terreno real:

- **Buscar la mejor ladera con este viento**: recorre 1,5 km alrededor y elige el borde de la ladera que mejor mira al viento. Lleva allí el despegue, recarga el terreno, pone el planeador y el lanzamiento a mano.
- **Viento de cara a esta ladera**: pone el viento soplando ladera arriba en tu punto de despegue, para practicar aunque el tiempo real no acompañe.

Con lanzamiento a mano, al reiniciar el planeador mira al viento. Vuela por delante del borde, a barlovento, y gira siempre hacia fuera de la ladera.



Mapa meteorológico del planeador con la ascendencia de ladera (azul), el sotavento (morado) y los botones de ladera.

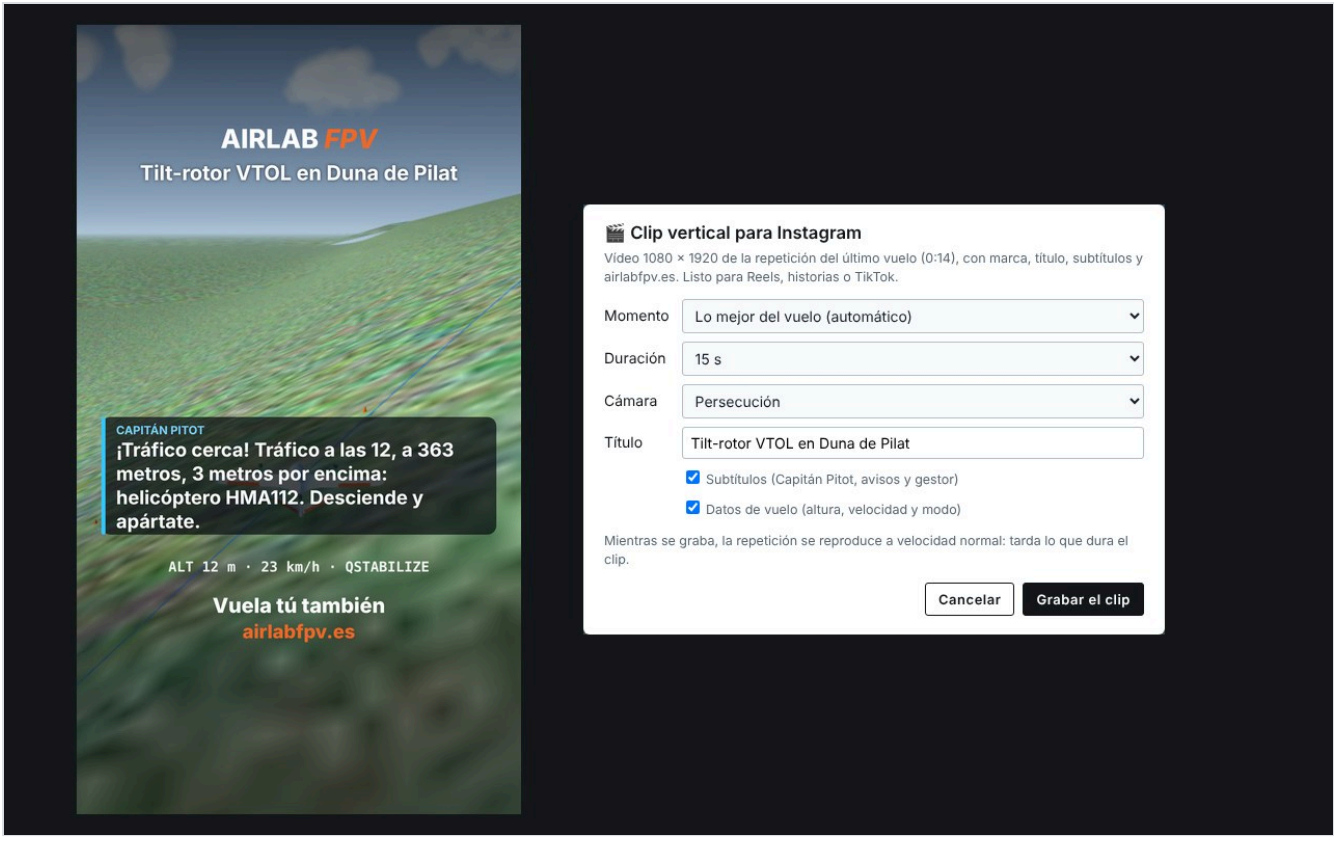
Fuentes: NOAA Aviation Weather Center · Data API · MET Norway · condiciones (CC BY 4.0) · adsb.lol (datos ADS-B abiertos, ODbL).

38 Clip vertical para Instagram

El botón 🎬 **Clip para Instagram** (en los mandos de la repetición, en la caja negra de Análisis y en el aviso «¿Lo compartes?» al terminar un vuelo) crea un vídeo vertical de 1080 × 1920 a partir de la repetición del último vuelo, listo para Reels, historias o TikTok.

- **Momento**: **mezcla de momentos clave** (automático: despegue, transiciones, velocidad y altura máximas, maniobras, avisos del Capitán Pitot y aterrizaje, unidos con un fundido corto y una etiqueta con el nombre de cada momento), **elegir los momentos** (una lista con casillas y la línea de tiempo del vuelo con la altura; clic en la línea para añadir otro momento; la duración del clip se reparte entre los elegidos), **el mejor tramo seguido**, el final del vuelo o desde donde esté la repetición.
- **Estilo**: **vídeo a pantalla completa**; **vídeo arriba y telemetría abajo** (altura, velocidad y vario en grande, horizonte artificial, la trayectoria en un mapa, modo, rumbo y batería); **persecución arriba y FPV abajo**, las dos cámaras a la vez; **persecución arriba y FPV con OSD abajo** (el OSD de un dron: modo, voltaje, mAh, velocidad, altura, vario, horizonte artificial, tiempo y flecha a casa con la distancia); o **cinemático** (barras de cine, la cámara gira alrededor de la aeronave y la repetición va a cámara lenta ×0,5).
- **Gancho**: una frase grande los dos primeros segundos para que la gente se pare (se propone una según la aeronave; vacío, sin gancho). **Tarjeta final** de 1,6 s con la marca y airlabfpv.es.
- **Duración**: 10, 15 o 30 s. **Cámara**: persecución, FPV, libre o desde el piloto.
- **Título** (aeronave y sitio, editable), **subtítulos** con lo que dijo el Capitán Pitot, los avisos y el gestor de la coordinación (la voz del navegador no se puede grabar, así que va escrita) y **datos de vuelo** (altura, velocidad y modo).
- Siempre lleva la marca AIRLAB FPV arriba y «Vuela tú también · airlabfpv.es». Los textos quedan dentro de la zona segura de Reels: lejos de la cabecera, de los botones de la derecha y del pie.

Mientras se graba, la repetición se reproduce a velocidad normal y con el sonido de motores y viento: tarda lo que dura el clip. Al acabar se descarga solo. Instagram necesita **MP4**: lo graban Chrome y Edge actualizados y Safari; si tu navegador solo graba WebM, te avisa.



Clip vertical: marca, título, subtítulo del Capitán Pitot, datos de vuelo y airlabfpv.es.

39 Centro de operaciones: dron en caja

Un sistema **dron en caja** (dock) deja el multirrotor en una caja en el sitio: la caja lo protege, lo carga y abre la tapa para que despegue solo. El operador lo lleva a distancia desde un centro de operaciones, casi siempre con órdenes (ir a, orbitar, seguir, volver) y la cámara del cardán; solo toma los sticks si hace falta. Así se trabaja en seguridad de instalaciones y puertos, en incendios forestales, en búsqueda y rescate, en vigilancia de costa y en emergencias como una inundación. Este capítulo explica el ejercicio completo.

39.1 Cómo se abre

En **Misiones › Centro de operaciones**, pulsa **Abrir el centro de operaciones**. Eliges:

- **Servicio**: Perímetro y puerto, Incendio forestal, Rescate en montaña, Costa y frontera o Inundación (DANA).
- **Nivel** del 1 al 5: en los niveles 1 y 2 una ayuda de «IA» marca en el vídeo las cosas que podrían ser algo (con recuadro azul discontinuo); desde el 3 no hay ayuda y hay más contingencias y más objetivos.
- **Sitio**: el recomendado (con terreno real: el puerto de Algeciras, la Sierra de Grazalema, la Sierra de Cazorla, Tarifa o Paiporta) o el escenario en el que estés.
- **Drones**: uno, o dos desde el nivel 4 (el dron B es virtual, con su propia caja y su cámara). **Rondas**: 1 a 3, con cambio de batería y de hora entre rondas (la última, de noche si el escenario lo permite).

39.2 Briefing y lista de comprobación

Antes de desplegar lees la misión y repasas la lista: meteorología (viento y rachas frente al límite del dron, 12 m/s), NOTAM del día, zona geográfica UAS, geovalla y techo (120 m AGL), enlace C2, GPS y batería, y el punto alternativo de aterrizaje. En cada punto decides si está bien o si es un problema que hay que coordinar. Esto da hasta 7 de los 10 puntos de preparación.

39.3 Plan de vuelo

La consola se abre a la derecha con el plan del dron A: plantillas de ruta según el servicio (perímetro, órbita, barrido, línea de costa…), **Editar puntos en el mapa** (arrastrar, clic para añadir, doble clic para quitar), vueltas, altura y velocidad. Debajo ves la estimación: tiempo de la ruta, autonomía y **reserva**; por debajo del 25 % sale en rojo. Si algún punto queda fuera de la geovalla, también te avisa. **Plan listo: a la consola** cierra la planificación (3 puntos más si el plan es correcto).



Centro de operaciones en automático: vídeo del dron en grande, vuelo 3D en pequeño y la consola con mapa, telemetría y órdenes.

39.4 La consola

- **Mapa**: geovalla (rojo discontinuo), ruta, cajas, punto alternativo (H azul), el dron con el campo de su cámara, las detecciones, los equipos en camino y el tráfico aéreo. Rueda o −/+ para el zoom, arrastrar para moverlo, **Centrar** para seguir al dron.
- **Telemetría**: altura sobre el suelo, velocidad, distancia a la caja, batería, enlace, GPS, viento y modo.
- **Órdenes**: Despegar, Ruta, Mantener, Ir a… y Orbitar… (clic en el mapa), Seguir objetivo, +10 m / −10 m, Volver a la caja, Punto alternativo, Aterrizar aquí y Tomar control manual. Con dos drones, **Dron A/B** cambia a cuál mandas y de cuál ves la cámara.
- **Cámara**, **Avisos** (las contingencias, con sus opciones), **Detecciones** (con la foto) y **Registro**. Los avisos también salen encima del vídeo.

El dron vuela sobre el LOITER de ArduCopter: la consola le manda el punto, la altura sobre el terreno (sigue el relieve) y el rumbo. Al despegar se abre la tapa de la caja; al volver baja despacio sobre la caja, desarma y la tapa se cierra.

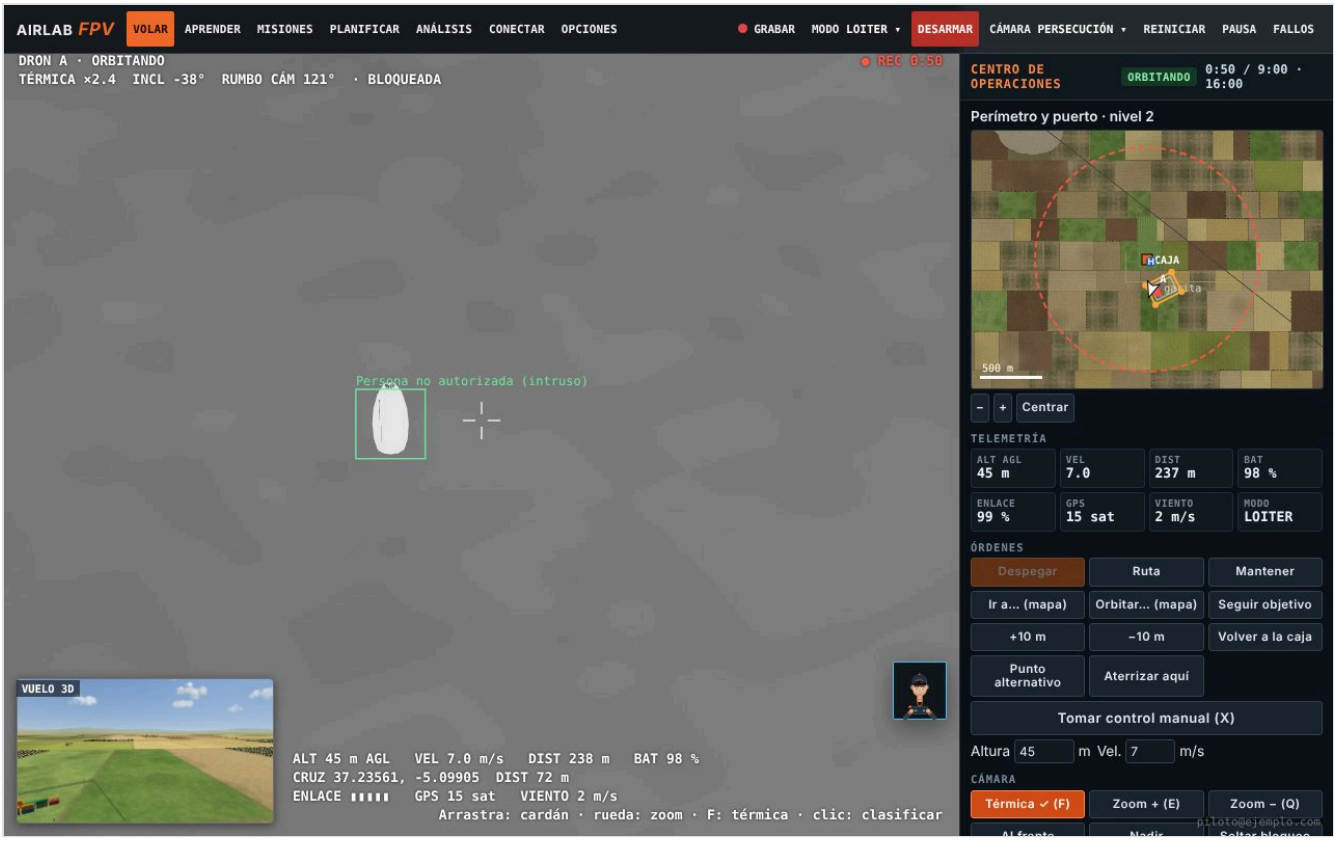
39.5 La cámara del dron

- **Arrastrar** mueve el cardán (sigue al morro con el giro que le des); **rueda** o **Q**/**E** para el zoom (×20 en RGB, ×8 en térmica); **F** cambia a la **térmica**, donde lo caliente sale en blanco (personas, animales, motores, fuego) y el humo no tapa.
- **Joystick de cámara** (en **Cámara** de la consola): **en pantalla**, un círculo sobre el vídeo que se arrastra con el ratón o el dedo, con + / − para el zoom; **segundo mando** (un mando de consola aparte de la radio: stick izquierdo para mover, stick derecho o gatillos para el zoom, A/✕ térmica, B/○ bloquear); o

sticks de la radio en automático (alerón y profundidad mueven la cámara y el timón hace zoom; entonces los sticks ya no pasan a manual: usa X, el botón o el interruptor de modos de la radio). Si tienes una radio conectada, este es el modo de partida. La velocidad baja con el zoom para apuntar fino.

- **Al frente**, **Nadir** (mirar recto abajo) y **Bloquear en la cruz**: la cámara se queda mirando ese punto aunque el dron se mueva.
- **Clic sobre algo**: si se ve lo bastante grande, eliges qué es y qué haces (a quién avisas). Si es pequeño te pide acercarte o ampliar. **Clic en el suelo**: mirar, ir u orbitar allí, o marcar un hallazgo.

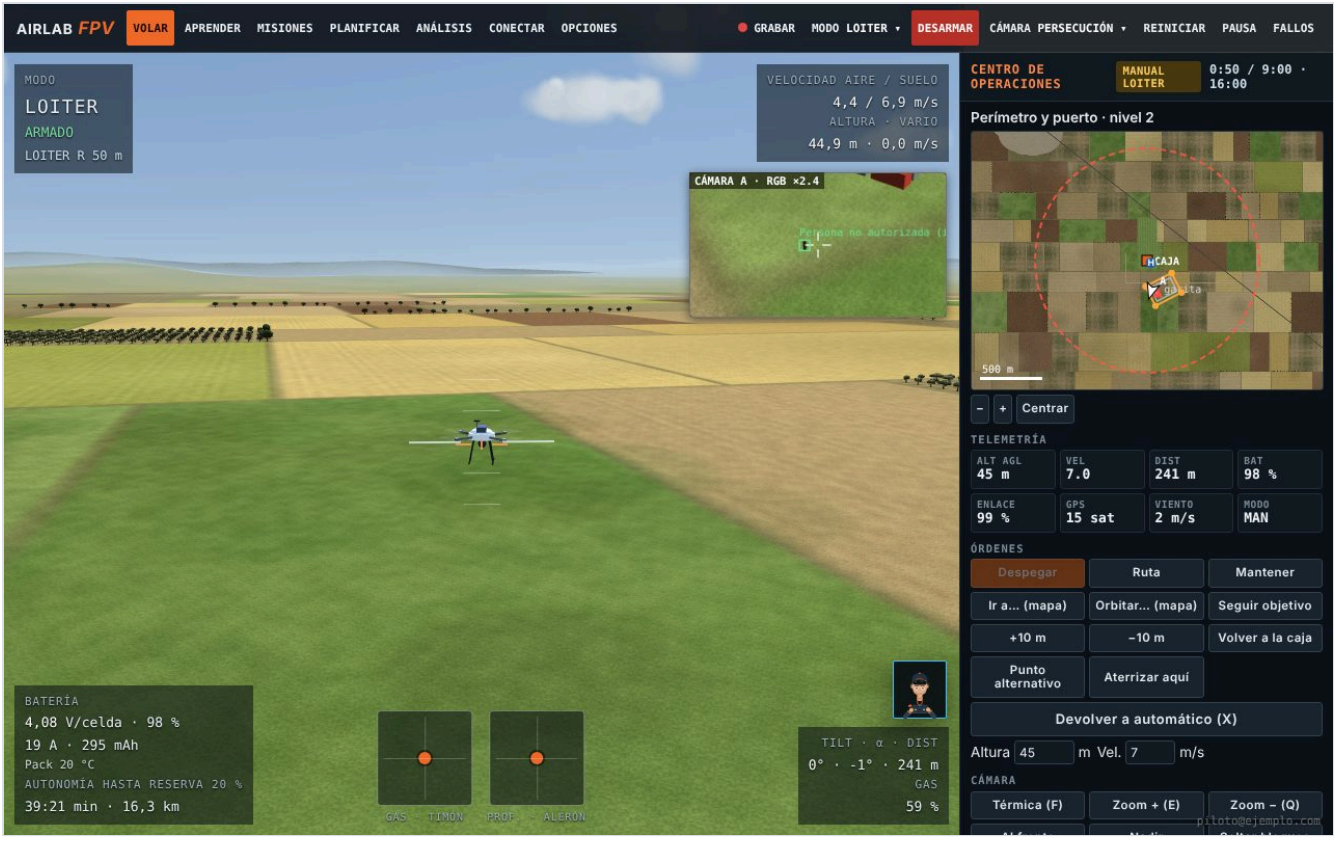
Al avisar a un servicio, su equipo sale hacia el objetivo y lo ves llegar (vigilante, patrulla, helicóptero de extinción, equipo de rescate, Salvamar, embarcación de bomberos). Si la orden era seguirlo, mantenlo en cámara hasta que lleguen: cuenta para la nota.



Cámara térmica: la persona sale en blanco; el recuadro verde es un objetivo ya clasificado.

39.6 Control manual

Tomar control manual, la tecla **X**, cambiar el interruptor de modos de la radio o mover los sticks con decisión (más de medio recorrido, si no manejan la cámara) pasan el dron a tus mandos (en LOITER, o en ALT_HOLD si no hay GPS). Entonces la vista se cambia: el **vuelo 3D en grande** con el OSD y la **cámara del dron en pequeño**, arriba a la derecha, donde puedes seguir moviendo el cardán y clasificando. **Devolver a automático** (o X) deja el dron manteniendo posición y vuelve a la vista de cámara.



Control manual: vuelo 3D en grande y la cámara del dron en pequeño.

39.7 Contingencias

Aviso	Qué pasa	Lo que se espera
Enlace C2 degradado	La señal cae y la imagen hace ruido; si se pierde, la imagen se congela y el dron vuelve solo a la caja (failsafe). El enlace depende de la distancia y de la línea de vista real entre la antena de la caja y el dron.	Subir para mejorar la línea de vista; si no mejora, volver.
Racha fuerte de viento	11 m/s con rachas por encima del límite.	Suspender y volver a la caja.
Consumo anómalo de batería	Una celda cae: la batería baja mucho más deprisa.	Volver ya (al 22 % vuelve solo).
Aeronave tripulada cerca	Un helicóptero de emergencias a baja altura.	Bajar, apartarse y esperar: la aviación tripulada siempre tiene prioridad.
Pérdida de GPS	El dron pasa a ALT_HOLD y deriva con el viento; no hay vuelo guiado.	Tomar el control manual y traerlo a vista de la caja.
Petición fuera de la geovalla	El puesto de mando pide seguir a un objetivo que sale de la zona.	No salir: informar de la última posición y la dirección.

Fallo de la cámara térmica	La térmica deja de dar imagen.	Seguir con la RGB más cerca, o volver si la tarea exige térmica.
La caja no abre	Al volver, la tapa no se abre y el dron espera encima.	Aterrizar en el punto alternativo (H azul).

Cada aviso tiene 45 s para decidir. Además hay protecciones automáticas: geovalla (salir de ella hace volver a la caja), techo de 120 m y vuelta por batería al 22 %.

39.8 Los servicios

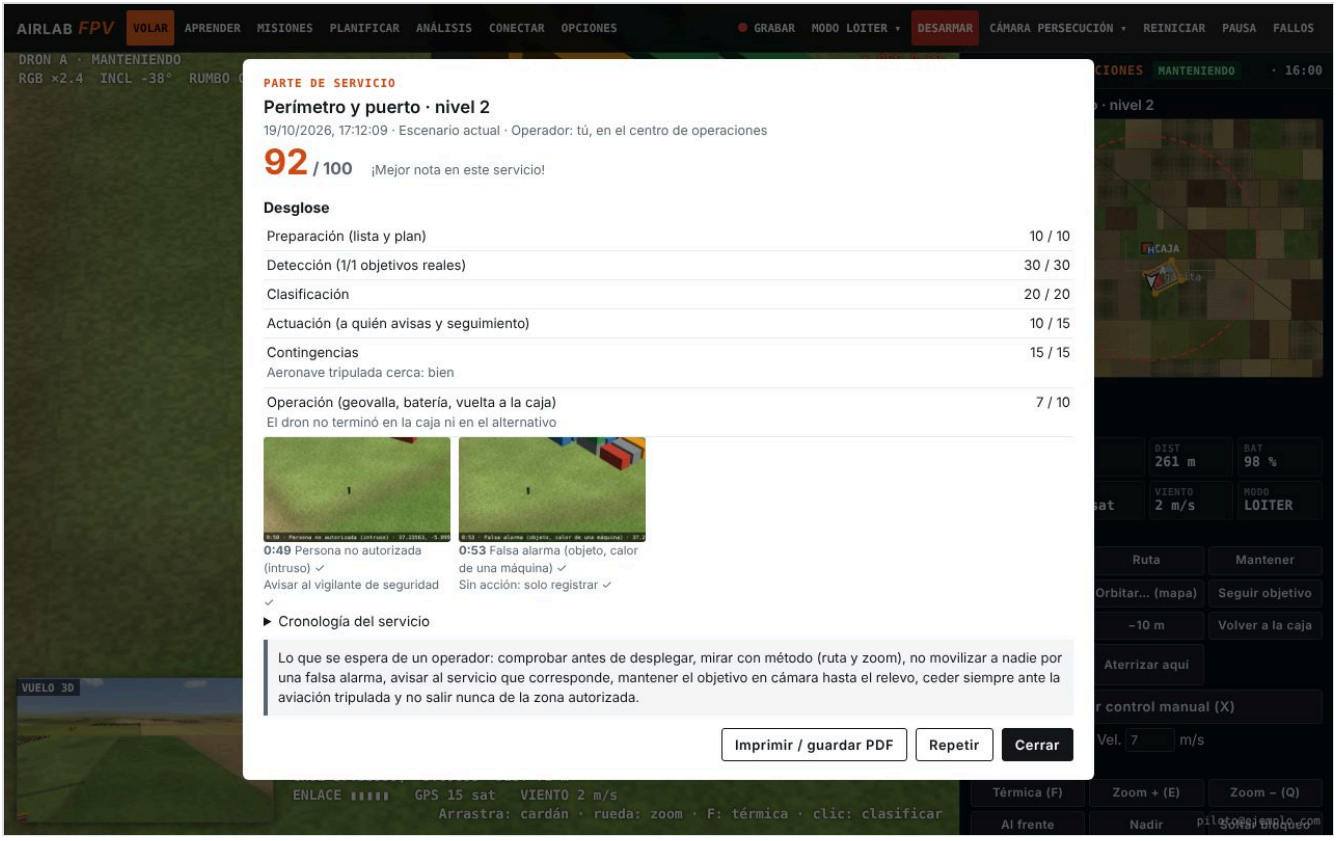
Servicio	Qué se busca	Con qué se confunde	A quién se avisa
Perímetro y puerto	Intrusos que entran por un hueco de la valla; en nivel 4, una furgoneta junto a la valla.	Vigilante con chaleco, zorro, perro, transformador caliente.	Vigilante de seguridad (o Guardia Civil si hay un vehículo).
Incendio forestal	El foco (crece con el tiempo); una persona cerca del fuego.	Rocas calientes al sol, cabras, una quema agrícola autorizada (esa va al agente de medio ambiente).	112 / bomberos forestales. Cuando llegue el helicóptero, apártate a más de 300 m o aterriza.
Rescate en montaña	Senderista herido entre árboles; su acompañante.	Ciervos, cabras monteses, rocas calientes, un grupo acampado.	Equipo de rescate (112); orbitar sobre la víctima hasta que llegue.
Costa y frontera	Neumática con personas; persona en el agua; grupo desembarcado.	Barco de pesca, surfistas, boya.	Salvamento Marítimo primero (y Guardia Civil): la vida humana en el mar es lo primero.
Inundación (DANA)	Persona en el techo de un coche, persona en el agua, personas en tejados.	Coches vacíos, un perro en un tejado, restos flotando.	Bomberos / UME, por prioridad: agua y coches antes que tejados.

39.9 Nota y parte de servicio

Concepto	Puntos
Preparación (lista y plan)	10
Detección de los objetivos reales	30
Clasificación	20
Actuación (a quién avisas, seguimiento hasta el relevo; −3 por cada falsa alarma)	15
Contingencias	15
Operación (geovalla, batería, vuelta a la caja)	10

Un accidente limita la nota a 30. Al terminar (al volver a la caja en la última ronda o con **Terminar servicio**) sale el **parte de servicio**: nota, desglose por rondas, lo que no detectaste, las fotos de cada

detección con su clasificación y lo que era de verdad, y la cronología. Se puede imprimir o guardar en PDF. Las mejores notas cuentan para el curso **Operador de dron en caja** del logbook: tres servicios distintos con 70 o más, uno de nivel 4 o 5 con 70 o más, seis contingencias resueltas bien y 1 h de vuelo.



Parte de servicio con la nota, el desglose y las fotos de las detecciones.

> **Cómo es en la realidad**
>
> Los vuelos con dron en caja suelen ser BVLOS y van en la categoría específica (escenario estándar o autorización de AESA con análisis de riesgos), con el operador registrado, pilotos formados y procedimientos de emergencia. Las funciones de este centro de operaciones son genéricas y de formación: no reproducen ningún sistema comercial concreto.

40 Configurar el Stallion VTOL en ArduPilot, parámetro a parámetro

Este capítulo es una guía para configurar el **Flightory Stallion VTOL real** (tilt-rotor tricóptero con guiñada vectorizada) en ArduPlane, sin dar nada por sabido. Para cada parámetro explica qué hace por dentro, con las fórmulas del propio código cuando importan; qué valor trae por defecto; qué propone Flightory; y qué lleva el Stallion de ejemplo, que es el del autor: CoreWing F405 Wing V2, batería Li-ion 6S2P de 8000 mAh, motores Emax ECO II 2807 1300 KV con hélices de 7", ESC Flycolor Raptor5 45 A, receptor ELRS, GPS Foxeer M10Q-250, pitot MS4525DO y DJI O4 Pro. Está pensado para leerse con QGroundControl abierto.

> **De dónde sale cada dato**
>
> Las definiciones, rangos, unidades y valores por defecto salen del código de **ArduPlane 4.7.2** (la versión estable actual; la lista de parámetros de la wiki se genera a partir de él) y de la wiki oficial de ArduPilot Plane. Los valores del Stallion salen de los manuales de Flightory (Stallion V2, VTOL PACK y «ArduPilot config for a 4+1 QuadPlane») y del archivo de parámetros del autor hasta su primer vuelo de prueba en estacionario. Cuando algo es una estimación o un criterio propio, se dice. **Antes de volar, compara siempre con el archivo que tengas en la controladora.**

> **Un VTOL mal configurado se rompe en segundos**
>
> Configura con las hélices quitadas, comprueba cada bloque en banco antes de pasar al siguiente y vuela por fases: primero estacionario, luego transición. El simulador (capítulo 10 y capítulo 27, SITL) te deja ensayar casi todo esto antes.

40.1 Cómo se trabaja con parámetros en QGroundControl

- **Dónde:** Vehicle Setup (engranaje) › **Parameters**. El buscador filtra por nombre; cada parámetro muestra su descripción, sus unidades y su rango.
- **Cargar un archivo:** Tools › **Load from file for review…** te enseña antes de escribir qué parámetros cambian. Revísalo siempre: un .param ajeno puede traer calibraciones de acelerómetro o de brújula de otro avión.
- **Reinicios:** algunos parámetros solo se aplican al arrancar: `Q_ENABLE`, `Q_FRAME_CLASS`, `AHRS_ORIENTATION`, `SERIALx_*`, `SCHED_LOOP_RATE` y los de salidas DShot. Tools › **Reboot Vehicle** tras cambiarlos.
- **Parámetros que aparecen al activar otros:** los `Q_*` no existen hasta que `Q_ENABLE = 1` y reinicias; los `Q_TILT_*`, hasta `Q_TILT_ENABLE = 1`. Por eso la configuración se hace en varias pasadas.
- **Nombres que han cambiado:** ArduPlane renombra parámetros entre versiones y convierte los valores solo. En 4.7 son, por ejemplo, `ROLL_LIMIT_DEG` (antes `LIM_ROLL_CD`, en centigrados), `AIRSPEED_CRUISE` (antes `TRIM_ARSPD_CM`), `ARMING_SKIPCHK` (sustituye a `ARMING_CHECK`), `Q_A_ANGLE_MAX` (antes `Q_ANGLE_MAX`), `Q_WP_SPD` (antes `Q_WP_SPEED`, en cm/s), `Q_LOIT_SPEED_MS` y `MIN_GROUNDSPEED`. Si un tutorial usa el nombre viejo, busca el nuevo.
- **Guarda copias:** Tools › **Save to file** después de cada sesión. Es tu historial de cambios.

Cómo leer un bitmask

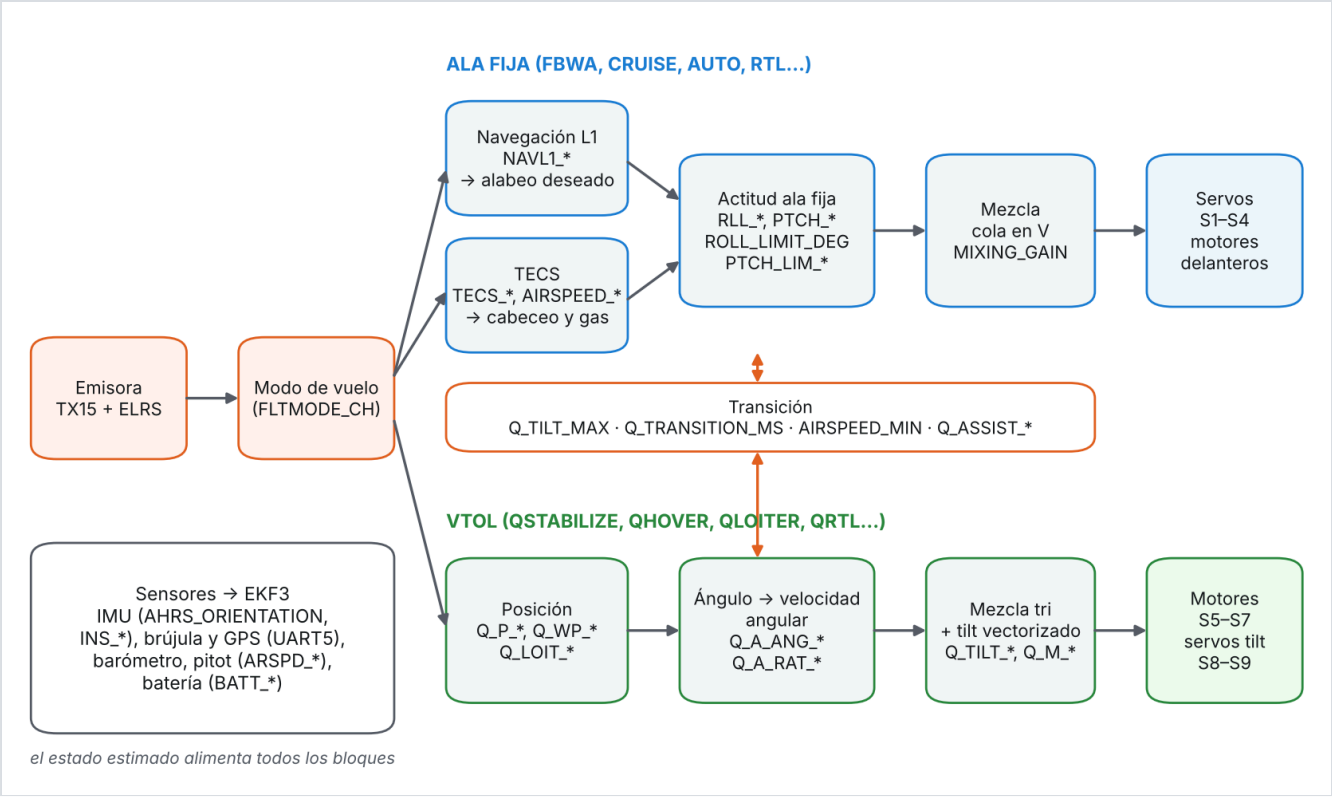
Muchos parámetros (`Q_OPTIONS` , `RC_OPTIONS` , `ARMING_SKIPCHK` , `SERVO_BLH_*MASK` ...) son una suma de potencias de dos: cada opción es un bit y el valor es $\Sigma\ 2^{bit}$ de las que activas. QGroundControl suele mostrarlos como casillas, pero conviene saber descomponerlos para leer el archivo:



Los cuatro bitmasks del Stallion, descompuestos. Los significados son los de la definición oficial de cada bit en ArduPlane 4.7.

40.2 Cómo está organizado el control de un QuadPlane

ArduPlane trata el Stallion como un **QuadPlane de tipo tilt-rotor**: dos pilas de control que conviven. En los modos de avión (FBWA, CRUISE, AUTO, RTL...) mandan la navegación L1, que calcula el alabeo deseado, y el TECS, que calcula cabeceo y gas a partir del balance de energía. Esas consignas pasan a los controladores de actitud de ala fija y a la mezcla de la cola en V. En los modos Q (QSTABILIZE, QHOVER, QLOITER...) manda el controlador de multicóptero: posición, ángulo, velocidad angular y mezcla de motores, con el tilt diferencial para la guiñada. La transición es el puente entre las dos, y durante ella trabajan ambas a la vez.

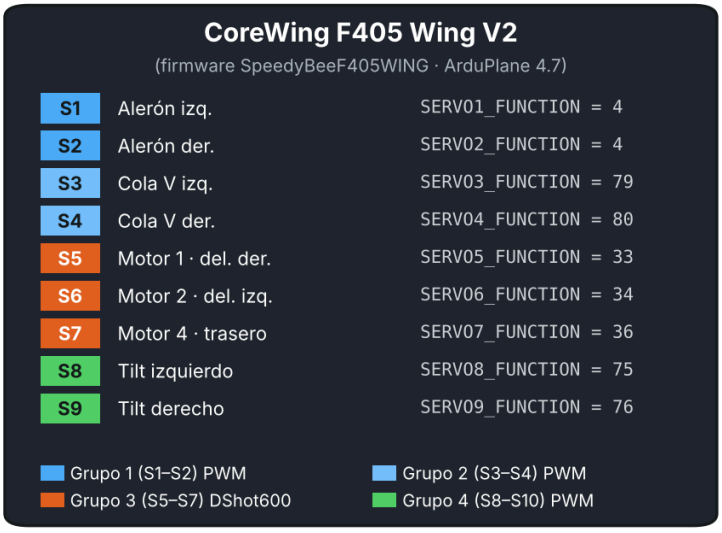


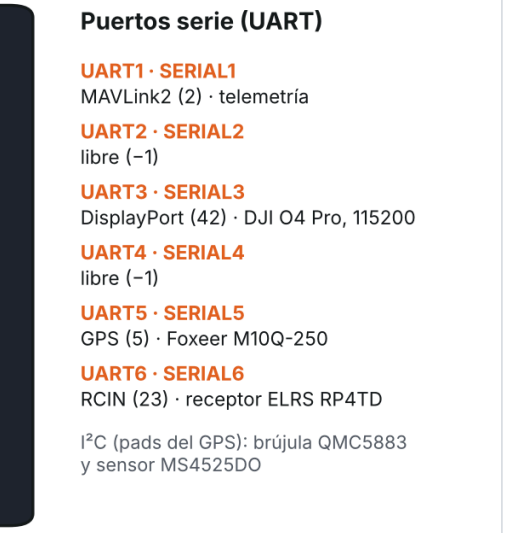
Bloques de control y familias de parámetros que afectan a cada uno.

Saber a qué bloque pertenece un parámetro te dice cuándo actúa. Por ejemplo, `ROLL_LIMIT_DEG` no tiene efecto en QHOVER, y `Q_A_ANGLE_MAX` no lo tiene en FBWA.

40.3 Firmware, placa y puertos serie

La CoreWing F405 Wing V2 usa el firmware de la **SpeedyBee F405 Wing** (no hay uno propio; Flightory lo ha probado y funciona). Se carga en modo DFU con STM32CubeProgrammer el archivo `arduplane_with_bl.hex` de la versión estable, desde firmware.ardupilot.org. Lo que cambia entre las dos placas es el orden de los UART, y eso se corrige con los `SERIALx_PROTOCOL`.



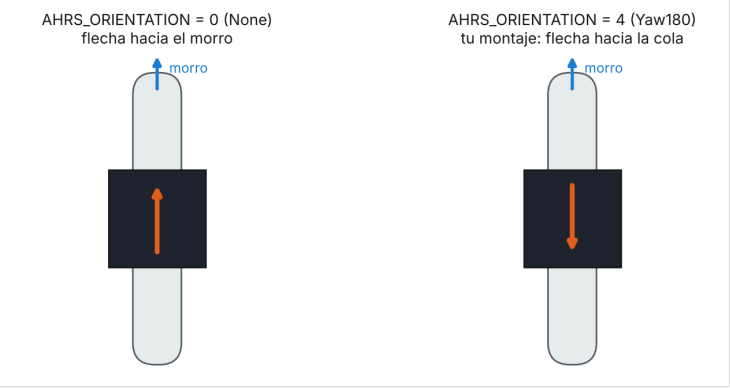


Salidas, grupos de temporizador y puertos serie del Stallion del autor.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`SERIALx_PROTOCOL`	Qué habla cada UART. Valores útiles: 2 MAVLink2, 5 GPS, 23 RCIN (receptor), 42 DisplayPort (OSD digital), −1 nada.	según placa	UART1 = 2 · UART3 = 42 · UART5 = 5 · UART6 = 23
`SERIALx_BAUD`	Velocidad del puerto, en miles de baudios (115 = 115200). El receptor ELRS en RCIN negocia solo; la DisplayPort va a 115.	57 (38 en SERIAL3, 115 en SERIAL6)	`SERIAL3_BAUD` = 115
`BRD_ALT_CONFIG`	Configuración alternativa de la placa. En esta familia, 1 libera el UART2 (pensado para SBUS) como UART normal.	0	0
`GPS1_TYPE`	Tipo de GPS. 1 = AUTO detecta el u-blox M10.	1	1
`COMPASS_EXTERNAL`	Indica que la brújula va fuera de la placa (en el GPS). Con brújula externa, su orientación (`COMPASS_ORIENT`) es independiente de la de la placa.	autodetecta	1

> **Si usas el enlace ELRS en modo MAVLink**
> Con la telemetría por WiFi del capítulo 26, el UART del receptor pasa de RCIN (23) a MAVLink2 (2) y cambian también `RSSI_TYPE` y las frecuencias de mensajes. Ese capítulo tiene la tabla completa; no mezcles las dos configuraciones.

40.4 Orientación, sensores inerciales y nivelado



En el Stallion del autor la placa va girada 180° en guiñada (flecha hacia la cola), así que AHRS_ORIENTATION = 4.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`AHRS_ORIENTATION`	Rotación de la placa respecto a su posición estándar (flecha hacia el morro, componentes arriba). Gira las lecturas de la IMU y de la brújula interna. Se aplica al reiniciar y **obliga a recalibrar el acelerómetro y a nivelar de nuevo**.	0 (None)	4 (Yaw180)

`AHRS_TRIM_X`, `AHRS_TRIM_Y`	Diferencia de alabeo y de cabeceo (rad, ±0,1745) entre la placa y el avión. La escribe la calibración «Level Horizon» con el avión en su actitud de vuelo nivelado. Positivo en Y = el avión se pone morro arriba.	0	de tu nivelado
`INS_GYRO_FILTER`	Frecuencia de corte (Hz) del filtro paso bajo del giróscopo. Más baja = menos ruido pero más retardo de fase en el lazo de velocidad angular. La wiki da valores iniciales por tamaño de hélice: 80 Hz (5"), 40 Hz (10"), 20 Hz (20").	20	60 (interpolado para 7")
`INS_ACCEL_FILTER`	Lo mismo para el acelerómetro. La wiki recomienda de 10 a 20 Hz.	20	20
`INS_LOG_BAT_MASK`	Qué IMU registra en «batch sampling», que sirve para ver el espectro de vibraciones y configurar el filtro notch. 1 = IMU1. Necesita tarjeta microSD.	0	1

Procedimiento

1. **Comprueba la orientación antes de calibrar.** Con `AHRS_ORIENTATION` puesto y reiniciado, mira en el horizonte de QGroundControl (o en MAVLink Inspector, ATTITUDE): al bajar el morro tiene que bajar el cabeceo, y al bajar el ala derecha, alabeo positivo. Si un eje sale cambiado, la orientación está mal.
2. **Calibra el acelerómetro** (Sensors › Accelerometer) en las seis posiciones, con la placa ya en el avión.
3. **Nivela** (Level Horizon) con el avión apoyado en su actitud de crucero: ala a 0–2° de incidencia, que es donde el manual de Flightory sitúa la mejor eficiencia del E205.
4. **Calibra la brújula** fuera, lejos de metal, con el GPS montado en su sitio definitivo y la batería conectada si va cerca.

40.5 Sensor de velocidad (pitot)

En un tilt-rotor el sensor de velocidad no es opcional en la práctica: la transición termina al pasar `AIRSPEED_MIN`, y sin pitot ArduPilot usa una velocidad **sintética** estimada con el GPS y el viento. ArduPilot calcula la velocidad indicada (EAS) a partir de la presión diferencial del pitot:

$$V_{EAS} = \sqrt{(\text{ARSPD_RATIO} \cdot \Delta p)} \quad \text{y} \quad V_{TAS} = V_{EAS} \cdot \sqrt{(\rho_0/\rho)}$$

El valor teórico de la razón sería $2/\rho_0 \approx 1{,}63\ m^3/kg$; el valor por defecto, 2, compensa las pérdidas típicas de un pitot real. Todas las velocidades de ArduPlane (`AIRSPEED_MIN`, `AIRSPEED_CRUISE`…) son **indicadas**: un día de 40 °C en Osuna la pérdida ocurre a la misma indicada, pero a más velocidad respecto al suelo.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`ARSPD_TYPE`	Modelo de sensor. 1 = MS4525DO por I²C (el del kit PX4).	según placa	1
`ARSPD_USE`	0 = lo mide y lo registra, pero **no lo usa para controlar**. 1 = lo usa en los modos con gas automático (TECS) y en la transición. 2 = solo con gas a 0 (planeadores con pitot detrás de la hélice).	0	0 hasta validarlo en vuelo; luego 1

`ARSPD_RATIO`	Factor de la fórmula de arriba. Subirlo aumenta la velocidad indicada para la misma presión.	2	calibrar
`ARSPD_AUTOCAL`	Ajusta la razón en vuelo comparando con GPS y viento estimado; guarda cada 2 minutos si cambia más de un 5 %. **No debe quedarse activado.**	0	1 solo en el vuelo de calibración
`ARSPD_OPTIONS`, `ARSPD_WIND_MAX`	Comprobación de salud: si la diferencia entre velocidad aire y suelo supera `ARSPD_WIND_MAX`, el sensor se marca como no fiable y, con las opciones por defecto, se deja de usar y se reactiva al recuperarse. Protege contra un pitot tapado, **pero con WIND_MAX = 0 la comprobación está apagada**.	11 / 0	WIND_MAX ≈ viento máximo esperado + margen (p. ej. 15 m/s)

En el Stallion del autor

Las tomas estáticas quedan a unos 16 mm por delante de un morro ancho (la cámara O4 Pro), así que es probable un error sistemático por la sobrepresión del morro. Por eso el plan es: volar con `ARSPD_USE` = 0, comparar en el log ARSP.Airspeed con la velocidad GPS en tramos de ida y vuelta, hacer un vuelo de calibración con `ARSPD_AUTOCAL` = 1 (circuitos amplios en FBWA o LOITER) y, cuando cuadre, poner `ARSPD_USE` = 1. Y siempre el tapón de «Remove before flight» fuera antes de despegar.

40.6 Batería y medida de potencia

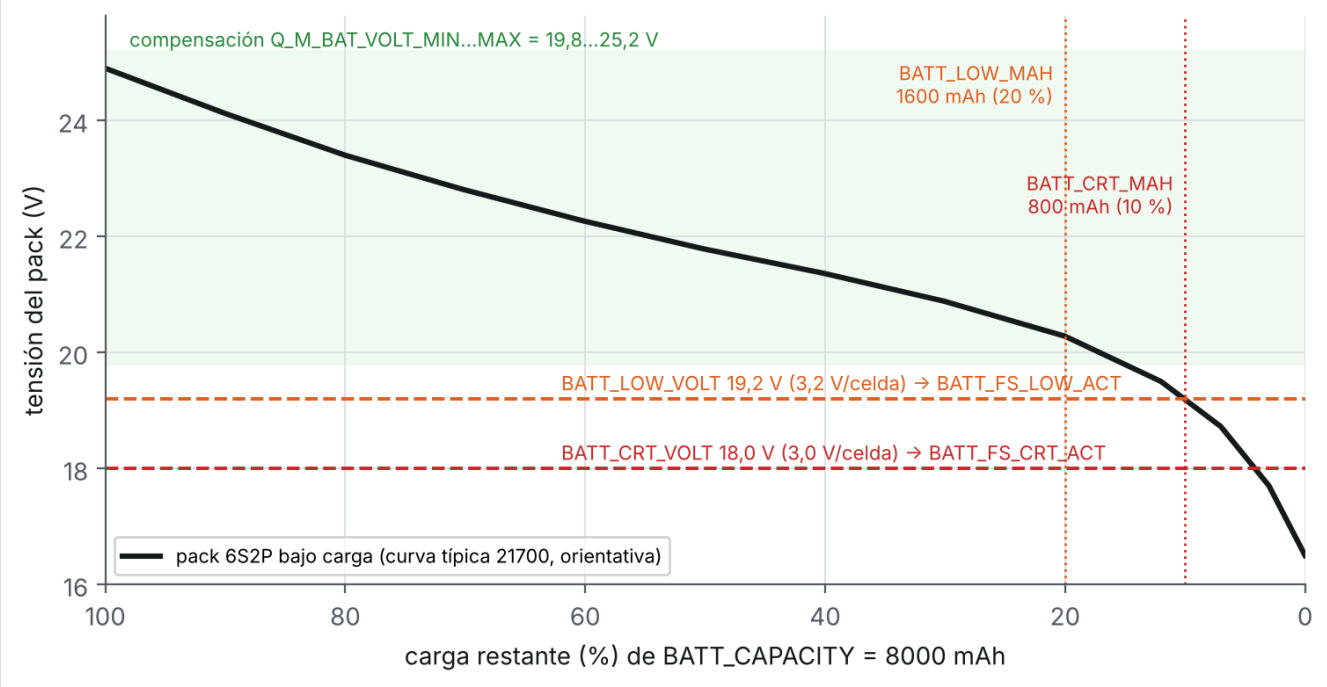
Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`BATT_MONITOR`	Tipo de monitor. 4 = tensión y corriente analógicas (el sensor del PDB de la CoreWing).	según placa	4
`BATT_VOLT_PIN`, `BATT_CURR_PIN`	Entradas analógicas del sensor. En esta placa, 10 y 11.	según placa	10 y 11
`BATT_VOLT_MULT`	$V_{batería} = V_{pin} \cdot$ VOLT_MULT. Se corrige con un polímetro: nuevo = actual · $V_{polímetro} / V_{leído}$.	según placa	11,05
`BATT_AMP_PERVLT`	$I = (V_{pin} -$ AMP_OFFSET$) \cdot$ AMP_PERVLT. Calibración con vatímetro: nuevo = actual · $I_{vatímetro} / I_{leída}$. Comprobación en vuelo: tras recargar, mAh del cargador / mAh del log.	según placa	64 (manual de CoreWing; Flightory usa 50): **pendiente de verificar con vatímetro**
`BATT_AMP_OFFSET`	Tensión del sensor con corriente nula.	0	0
`BATT_CAPACITY`	Capacidad (mAh). Es la referencia del porcentaje restante y de los umbrales por mAh.	3300	8000
`BATT_ARM_VOLT`	Tensión mínima para dejar armar. 0 = sin límite.	0	opcional: 22,8 (3,8 V/celda) evita despegar con un pack a medias

Compensación de tensión y límite de corriente en VTOL

El empuje de una hélice a mando constante cae con la tensión. `Q_M_BAT_VOLT_MAX` y `Q_M_BAT_VOLT_MIN` definen el rango en el que el controlador de motores escala el mando para que el mismo stick (y las mismas ganancias PID) produzca el mismo empuje con la batería llena o casi vacía. La definición oficial recomienda 4,2 V y 3,3 V por celda. Por debajo del mínimo no compensa más.

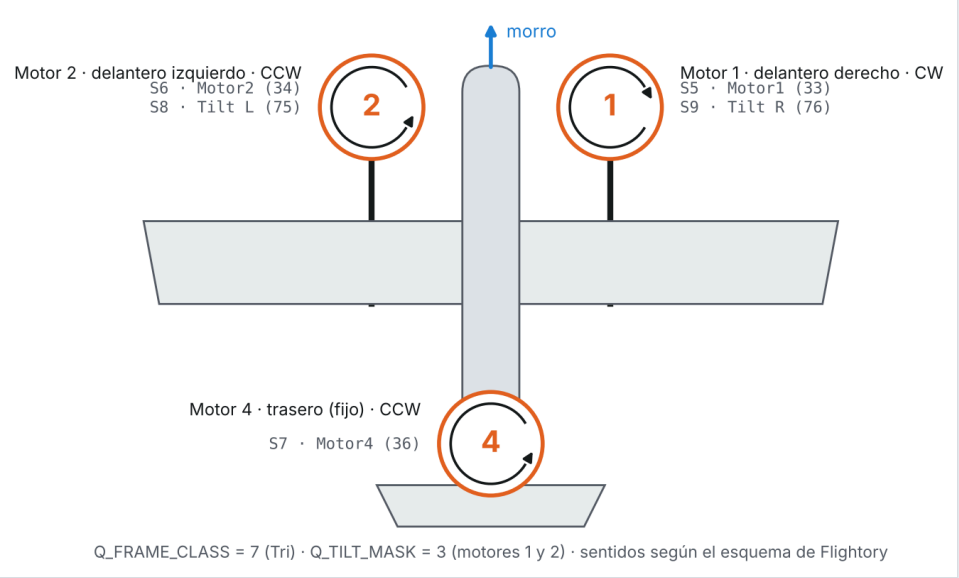
Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`Q_M_BAT_VOLT_MAX`	Tensión por encima de la cual no hay escalado adicional. 4,2 · celdas.	0 (desactivado)	25,2 (6S)
`Q_M_BAT_VOLT_MIN`	Tensión por debajo de la cual no hay más escalado. 3,3 · celdas.	0	19,8
`Q_M_BAT_CURR_MAX`	Corriente total por encima de la cual se limita el gas máximo de los motores VTOL. 0 = sin límite.	0	80 A: 10 C × 8 Ah, el límite continuo del pack

> **Ojo con el 6S**
>
> El manual del VTOL PACK está pensado para 4S. Con 6S, los ESC (3–6S), la placa (hasta 28 V) y el vídeo (BEC de 9 V) están en rango, y el motor Emax 1300 KV se vende para 6S, pero la corriente con hélice de 7" sube mucho. Con las cifras de Emax, el estacionario ronda los 28 A en total, y a gas máximo en VTOL pasaría de 130 A. Por eso el límite de 80 A y la comprobación con vatímetro: menos de 40 A por ESC a gas máximo durante 2–3 s, con el pico de 55 A durante 10 s del Raptor5 como límite absoluto.



Rango de compensación y umbrales de failsafe sobre una curva típica de un pack 6S2P de celdas 21700. La curva es orientativa: la real depende de la celda, la temperatura y la corriente.

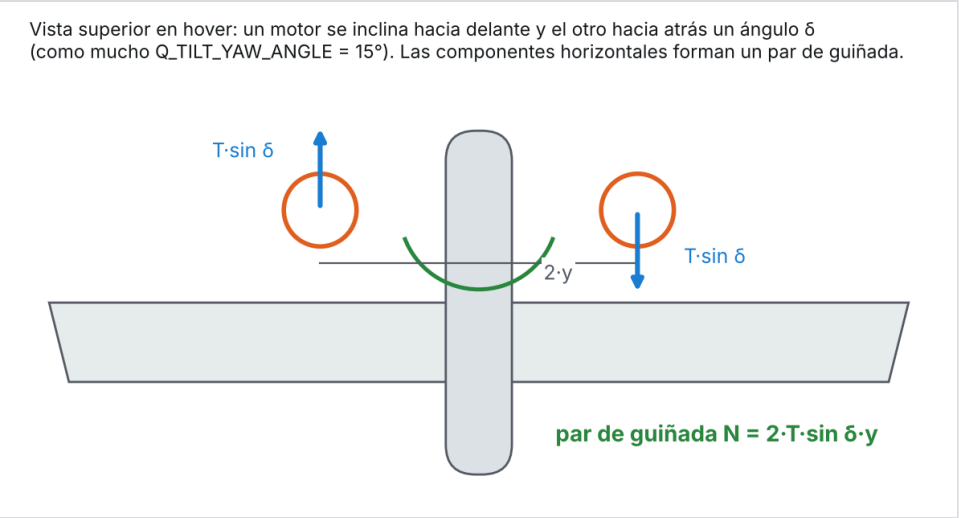
40.7 Activar el QuadPlane y definir el tricóptero



Numeración de motores del tricóptero de ArduPilot y salidas del Stallion. La guiñada no la hace el motor trasero, sino la inclinación diferencial de los delanteros.

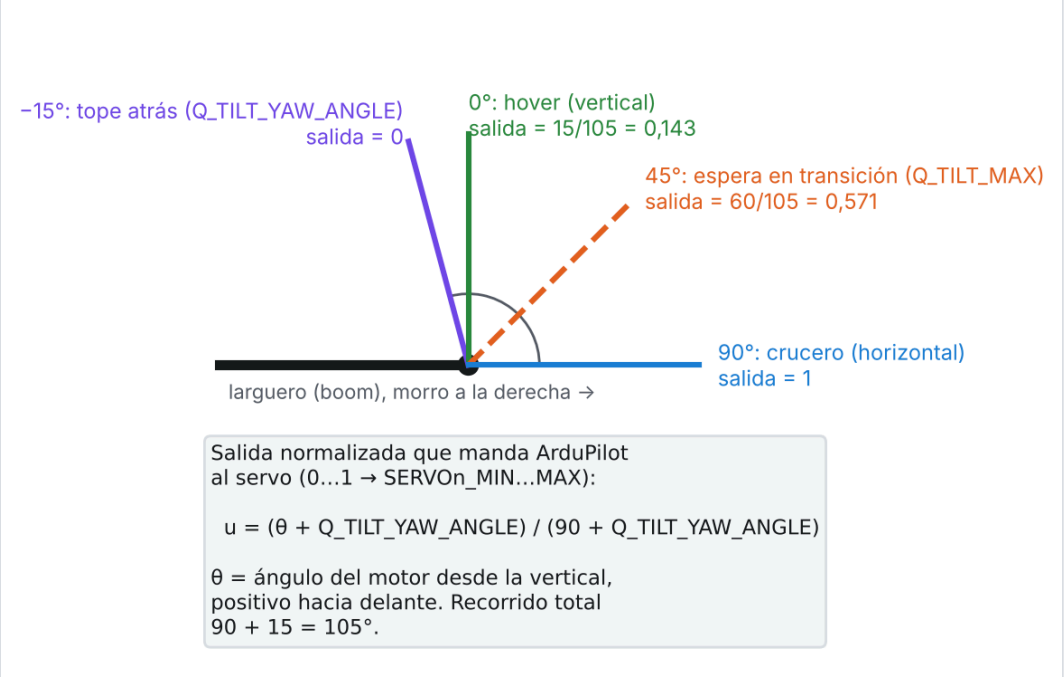
Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`Q_ENABLE`	Activa el QuadPlane. 2 = además empieza AUTO en VTOL. Después: Write y reiniciar para que aparezcan los `Q_*`.	0	1
`Q_FRAME_CLASS`	Disposición de los motores en hover. 7 = Tri. Para Tri e Y6, `Q_FRAME_TYPE` se ignora.	1 (Quad)	7
`Q_TILT_ENABLE`	Activa la lógica de tilt-rotor.	0	1
`Q_TILT_MASK`	Bitmask de los motores que basculan, en el orden estándar del frame. Motores 1 y 2 → $2^0 + 2^1 = 3$.	0	3
`Q_TILT_TYPE`	0 continuo · 1 binario (servo de retráctil) · 2 **guiñada vectorizada** (izquierdo y derecho se inclinan por separado) · 3 bicóptero.	0	2

> **Por qué la «guiñada vectorizada»**
>
> En un tri clásico la guiñada la da un servo que inclina el motor de cola. En el Stallion el motor de cola es fijo y la guiñada sale de inclinar un motor delantero hacia delante y el otro hacia atrás: las componentes horizontales de su empuje forman un par. Esto ahorra un servo y peso en la cola, a cambio de que la autoridad de guiñada dependa del empuje de los delanteros y de su inclinación.



Par de guiñada en hover: N = 2·T·sin δ·y, con δ ≤ Q_TILT_YAW_ANGLE e y la semienvergadura de los motores.

40.8 El mecanismo de tilt



Ángulos del tilt y salida normalizada que ArduPilot manda al servo en cada uno (Q_TILT_YAW_ANGLE = 15).

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`Q_TILT_YAW_ANGLE`	Cuántos grados puede ir el motor **más allá de la vertical, hacia atrás**, que es la posición de salida mínima del servo. Con `Q_TILT_TYPE` = 2 es lo que habilita la guiñada vectorizada. Rango 0–30°. Más ángulo da más autoridad de guiñada pero exige más recorrido mecánico.	0	15 (Flightory)
`Q_TILT_MAX`	Ángulo máximo con control de multicóptero. Durante la espera de la transición los motores se quedan aquí (si el gas pasa del 50 %) mientras el avión acelera. Rango 20–80°.	45	45

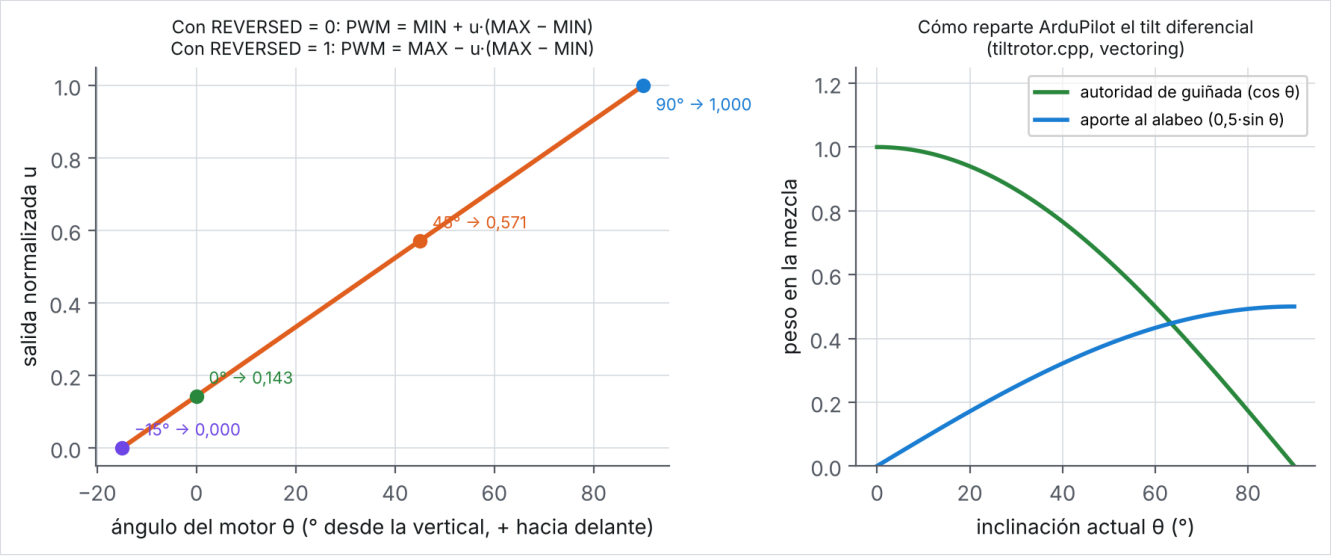
`Q_TILT_RATE_UP`	Velocidad máxima de giro (°/s) al volver de avión a hover.	40	15
`Q_TILT_RATE_DN`	Velocidad al pasar de hover a avión. 0 = usa la de subida. Excepciones automáticas: en MANUAL, o armado en avión sin asistencia, como mínimo 90 °/s.	0	0 (15 °/s en los dos sentidos)
`Q_TILT_FIX_ANGLE`, `Q_TILT_FIX_GAIN`	Usan el tilt para ayudar al alabeo y al cabeceo en vuelo de avión. Desactivado con 0.	0	0

Cómo traduce ArduPilot el ángulo a PWM

Las salidas de tilt (`SERVOn_FUNCTION` 75 izquierdo y 76 derecho) se mueven en un rango normalizado de 0 a 1 que cubre 90° + `Q_TILT_YAW_ANGLE`. Con θ = ángulo desde la vertical (positivo hacia delante):

`u = (θ + Q_TILT_YAW_ANGLE) / (90 + Q_TILT_YAW_ANGLE)` · `PWM = MIN + u·(MAX − MIN)` (o `MAX − u·(MAX − MIN)` si REVERSED = 1)

En hover, la guiñada suma y resta sobre ese valor base: $u_{izq/der} = u_{base} \pm k \cdot u_0$, con u_0 = 15/105 (el margen hasta el tope trasero) y k la demanda de guiñada. Esa demanda se multiplica por cos θ, por lo que pierde efecto al inclinar los motores, y por `Q_M_THST_HOVER` /gas (limitado entre 0,5 y 2), para que la autoridad no cambie con el gas.



Izquierda: salida normalizada en función del ángulo. Derecha: peso de la guiñada y del alabeo en el tilt diferencial según la inclinación.

Stallion del autor	MIN	MAX	Hover (u = 0,143) si REV = 0 / 1	Horizontal (u = 1) si REV = 0 / 1
`SERV08` (tilt izq.)	1075	2175	1232 / 2017 µs	2175 / 1075 µs
`SERV09` (tilt der.)	900	2025	1060 / 1864 µs	2025 / 900 µs

Procedimiento de ajuste en banco (wiki, Tilt Rotor Setup Tips)

1. Sin hélices. Pon primero `Q_TILT_YAW_ANGLE`, porque cambia la posición nominal.
2. Con `SERV08/9_MIN` = `MAX` = 1500, monta el brazo del servo de forma que el recorrido de horizontal a vertical quede repartido. Luego pon MIN/MAX a 1300/1700.
3. Desarmado, cambia a **MANUAL** desde QGroundControl: los motores deben ir hacia delante. En **QSTABILIZE** deben ir a la vertical. Si alguno va al revés, invierte con `SERVOn_REVERSED`.

4. Itera: ajusta el extremo «delante» en MANUAL y el «vertical» en QSTABILIZE. En MANUAL los dos motores deben quedar exactamente alineados: cualquier diferencia es un momento de alabeo en avión. Si hay topes mecánicos, apoya con poca fuerza para que el servo no se caliente.
5. Para comprobar el tope trasero (guiñada), activa temporalmente el bit 10 de `Q_OPTIONS` (Disarmed Yaw Tilt: 163841 + 1024 = 164865) y mueve el timón a fondo en QSTABILIZE desarmado: cada servo debe llegar a su extremo sin forzar. **Quita el bit al terminar.**
6. Opcional: `Q_TILT_RATE_UP` = 2 °/s temporalmente (por debajo del rango documentado de 10–300, solo para esta prueba) para ver si los dos se mueven sincronizados (en FBWA, no en MANUAL, que fuerza 90 °/s). Devuelve el valor después.

40.9 Salidas, servos y ESC

Salida	Elemento	`SERVOn_FUNCTION`	Notas
S1, S2	Alerones izq. y der.	4 (Aileron)	Uno suele ir invertido.
S3, S4	Cola en V izq. y der.	79 (VTailLeft), 80 (VTailRight)	ArduPilot hace la mezcla; nunca mezcles en la emisora.
S5, S6, S7	Motores 1, 2 y 4	33, 34, 36	El tri usa los motores 1, 2 y 4 (no el 3). Los tres en el grupo 3 (DShot).
S8, S9	Tilt izq. y der.	75, 76	Grupo 4, en PWM.

Las salidas van por **grupos de temporizador** que comparten protocolo: S1–S2, S3–S4, S5–S7, S8–S10 (PWM o DShot) y S11–S12 (solo PWM). Al activar DShot para los motores, todo su grupo pasa a DShot. Por eso los tres ESC van juntos en S5–S7 y ningún servo comparte grupo con ellos. Los ESC conectan solo señal y masa: el cable rojo no va al pin VX, que lleva el BEC de servos.

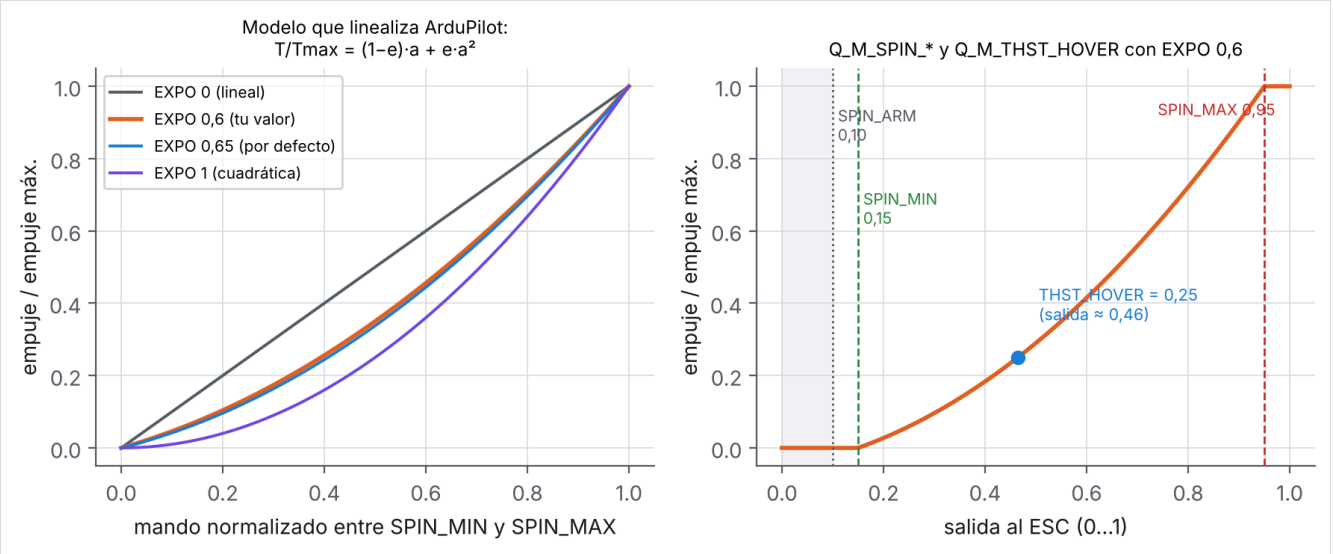
Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`SERVOn_MIN/MAX/TRIM`	Ancho de pulso mínimo, máximo y neutro (µs). En superficies, el TRIM es el neutro mecánico; en los tilts, el rango define los extremos (40.8).	1100/1900/1500	de tu ajuste
`SERVOn_REVERSED`	Invierte el sentido de la salida.	0	de la prueba en banco (Flightory parte con S1, S2, S4 y S8 invertidos)
`Q_M_PWM_TYPE`	Protocolo de los motores VTOL: 0 PWM, 4/5/6/7 DShot150/300/600/1200. Con DShot **no hay que calibrar los ESC** y el mando llega sin deriva.	0	6 (DShot600, el de la guía de Flightory para esta placa)
`SERVO_DSHOT_ESC`	Tipo de ESC para los comandos DShot (invertir giro, beacon…). 1 = BLHeli32/Kiss/AM32.	0	1

`SERVO_BLH_AUTO`	Passthrough para configurar los ESC de los motores a través de la placa (BLHeliSuite32 o similar).	0	1
`SERVO_BLH_RVMASK`	Bitmask de canales cuyo ESC invierte el giro por comando DShot. Bit 6 = canal 7.	0	64 (motor trasero en S7)
`SERVO_BLH_MASK`, `SERVO_BLH_OTYPE`	Para poner en DShot canales que no son motores VTOL (por ejemplo, un motor de empuje aparte). No hacen falta en el Stallion.	0	0

Protección de bajo voltaje del ESC

Los Raptor5 pueden recortar potencia por debajo de cierta tensión por celda. En un VTOL eso es peligroso: si un solo ESC recorta en estacionario, el avión se desequilibra y ArduPilot no lo sabe. Desactívala en los tres; de la batería ya se encarga el failsafe de ArduPilot.

Curva de empuje y puntos de giro



Izquierda: el modelo de empuje que ArduPilot invierte para linealizar el mando. Derecha: dónde caen SPIN_ARM, SPIN_MIN, SPIN_MAX y el gas de hover.

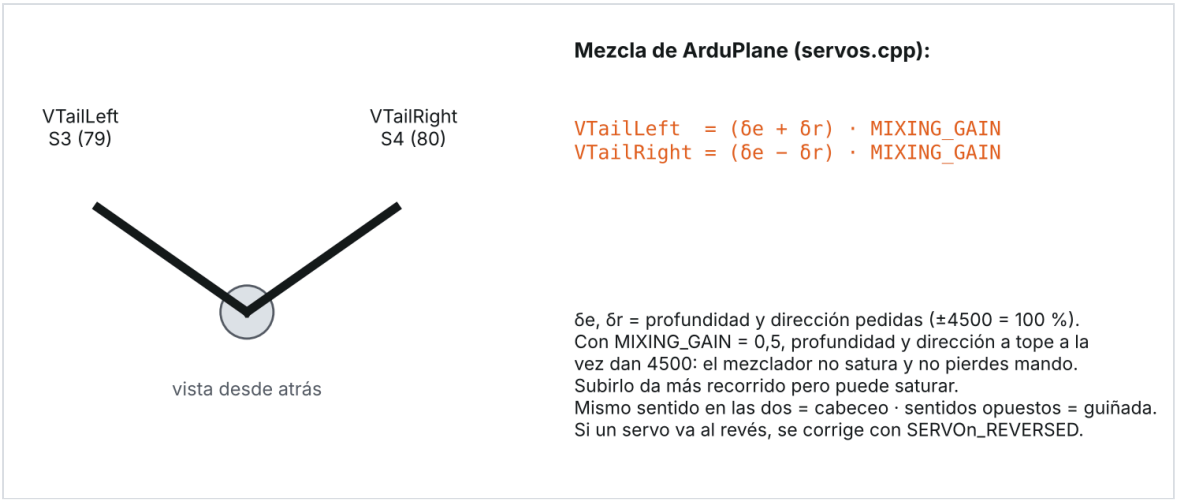
Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`Q_M_THST_EXPO`	Exponente de la curva empuje-mando, entre 0 (lineal) y 1 (cuadrática): $T/T_{max} = (1-e)\cdot a + e\cdot a^2$. ArduPilot invierte esa curva para que el lazo vea una planta lineal. Wiki: 0,55 (5"), 0,65 (10"), 0,75 (20"); no pasar de 0,75 sin banco de empuje.	0,65	0,6 (7")
`Q_M_SPIN_ARM`	Salida (0–1) con la que giran los motores al armar, sin empujar. Menor que SPIN_MIN.	0,10	0,10: ajustar con la prueba de motores
`Q_M_SPIN_MIN`	Salida a la que empieza el empuje útil; es el «cero» del controlador en vuelo.	0,15	medir con la prueba de motores

`Q_M_SPIN_MAX`	Salida a la que el empuje satura.	0,95	0,95
`Q_M_THST_HOVER`	Empuje (0–1) necesario para mantenerse. Es la referencia del controlador de altura y del reparto de guiñada.	0,35	0,25 para empezar (wiki), luego el aprendido
`Q_M_HOVER_LEARN`	Aprende THST_HOVER en vuelo (1) y además lo guarda (2). Es un filtro con constante de tiempo de 10 s que solo actúa en estacionario estable: alabeo y cabeceo por debajo de 5°, velocidad vertical por debajo de 0,6 m/s y sin subir, y velocidad aire por debajo de 0,3·AIRSPEED_MIN.	2	2
`Q_M_SPOOL_TIME`	Tiempo para pasar de 0 a SPIN_MIN al armar.	0,25 s	0,25

Cómo interpretar el THST_HOVER aprendido

La wiki espera de 0,3 a 0,6; más alto indica poco empuje. Como criterio práctico: hasta 0,45 hay margen cómodo para ráfagas y frenar descensos; de 0,45 a 0,55 vuela, pero justo; por encima de 0,55 hay que aligerar o poner más empuje. Con Li-ion importa más, porque su tensión cae más bajo carga y el empuje disponible baja al final del vuelo.

40.10 Superficies de control y cola en V



Mezcla de la cola en V tal como la implementa ArduPlane.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`MIXING_GAIN`	Ganancia de la mezcla de cola en V (y de elevones). Con 0,5, profundidad y dirección a tope a la vez no saturan. Rango 0,5–1,2.	0,5	0,5
`MIXING_OFFSET`	Desequilibra la mezcla a favor de un mando. En cola en V se deja a 0.	0	0
`KFF_RDDRMIX`	Timón que se añade al alabear, para contrarrestar la guiñada adversa.	0,5	por defecto; ajustar en vuelo

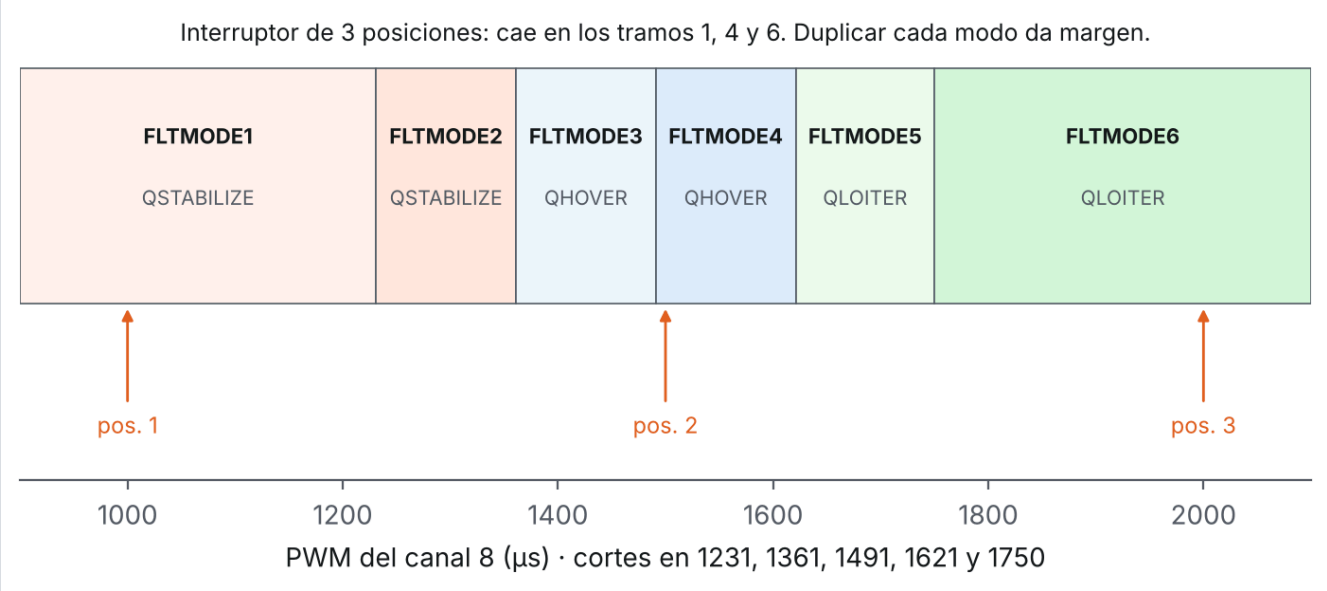
`SERVO_AUTO_TRIM`	Ajusta el trim de los servos en vuelo nivelado y lo guarda (máximo un 20 % del centro).	0	0 hasta tener el avión trimado a mano

Comprobación en banco (FBWA, desarmado)

- **Superficies con la emisora** (en MANUAL): alabeo derecha → alerón derecho arriba e izquierdo abajo. Profundidad atrás → las dos superficies de la V arriba. Timón derecha → la V gira el morro a la derecha (la superficie derecha baja y la izquierda sube, vistas desde atrás).
- **Superficies con la estabilización** (en FBWA, sin tocar sticks): inclina el avión a la derecha → los alerones deben intentar levantar el ala derecha. Morro abajo → la V sube para levantar el morro. Si la estabilización corrige al revés, el error está en `SERVOn_REVERSED` y no en la emisora.
- Si un stick está invertido en la emisora (por ejemplo, la profundidad), corrígelo con `RCn_REVERSED` del canal de entrada; en el Stallion del autor, `RC2_REVERSED` = 1.

40.11 Radio, modos de vuelo y armado

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`RCMAP_*`	Qué canal es alabeo, cabeceo, gas y guiñada. Con ELRS en AETR: 1, 2, 3, 4.	1/2/3/4	1/2/3/4
`RC_OPTIONS`	Opciones del receptor (bitmask, figura de 40.1). 8480 = ELRS a 420 kbaud + telemetría CRSF passthrough (Yaapu) + armar solo con gas a 0 (este último ya viene activado por defecto).	32	8480 (Flightory)
`RC5_OPTION`	Función del canal 5. 153 = ArmDisarm: interruptor de armado y desarmado, más seguro que el gesto del timón.	0	153
`ARMING_RUDDER`	Armar con el timón: 0 no · 1 solo armar · 2 armar y desarmar. ArduPlane no deja desarmar con el timón mientras detecta que vuela; el riesgo con 2 está justo después de tocar tierra o si la detección de vuelo falla.	1	1
`FLTMODE_CH`	Canal del selector de modos.	8	8
`FLTMODE1…6`	Modo de cada una de las seis bandas de PWM (figura). Números: 0 MANUAL, 5 FBWA, 6 FBWB, 7 CRUISE, 10 AUTO, 11 RTL, 12 LOITER, 17 QSTABILIZE, 18 QHOVER, 19 QLOITER, 20 QLAND, 21 QRTL, 22 QAUTOTUNE.	—	fase 1: 17, 17, 18, 18, 19, 19
`ARMING_SKIPCHK`	Comprobaciones previas al armado que se saltan (bitmask). Lo recomendado es 0. 1024 = saltar «Logging Available».	0	1024 (sin microSD)
`ARMING_REQUIRE`	Exige armar antes de dar salida al motor. Imprescindible en eléctricos.	1	1



Bandas del canal de modos según el código (RC_Channel::read_6pos_switch) y la configuración de la fase 1.

> **Sin microSD no hay logs**
> Saltarse la comprobación de logging te deja volar, pero sin registro no se puede diagnosticar un fallo ni configurar el filtro notch (necesita `INS_LOG_BAT_MASK`). Una tarjeta de 8–32 GB clase 10 en FAT32 y `LOG_BITMASK` por defecto (o 65535 para todo) es lo más barato del proyecto.

Modos recomendados por fase

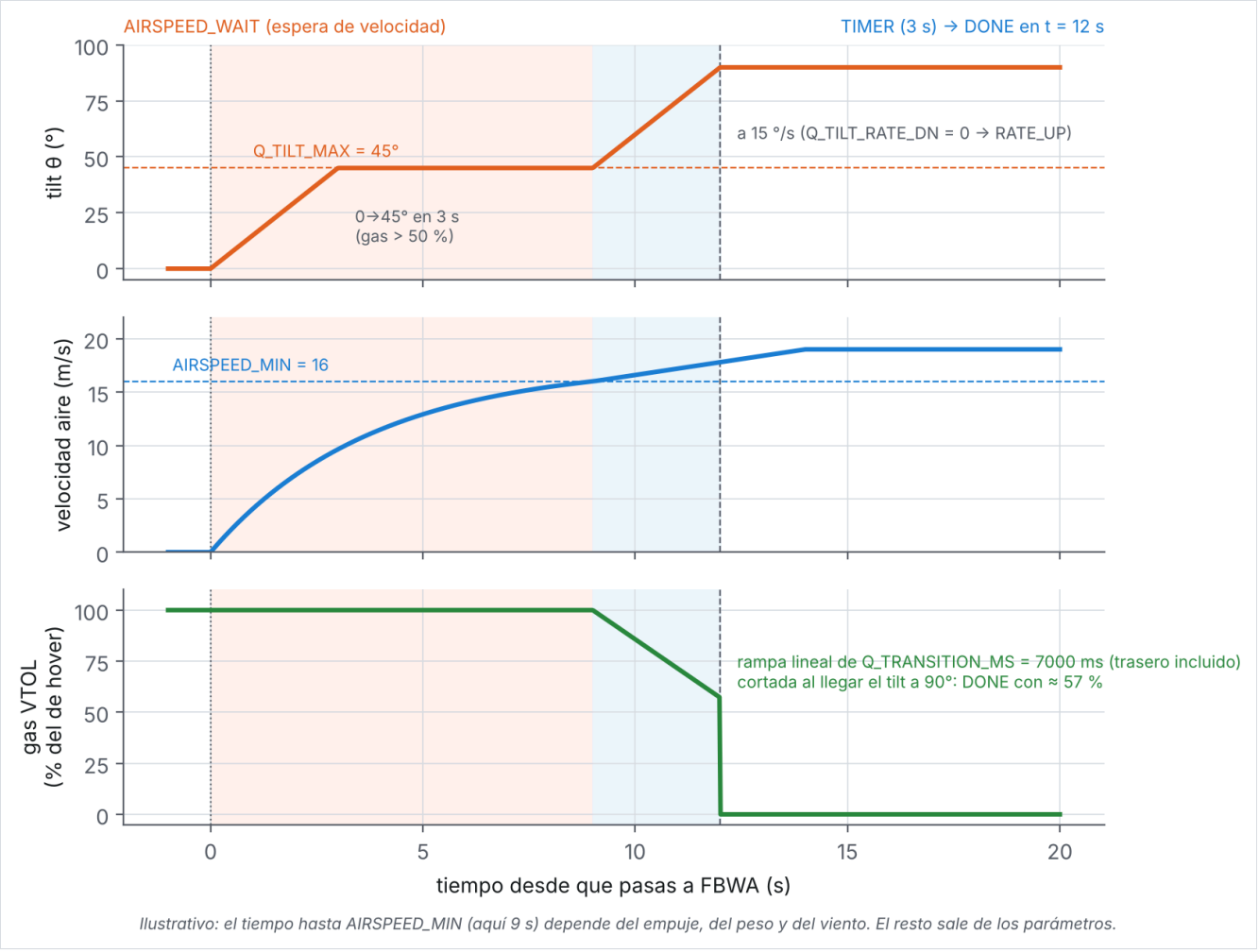
Fase	Selector de 3 posiciones	Por qué
1. Primer estacionario	QSTABILIZE · QHOVER · QLOITER	Ningún modo de avión: pasar por FBWA en hover empezaría a inclinar los motores.
2. Transiciones	QHOVER · FBWA · QLOITER (o QRTL)	De QHOVER a FBWA hace la transición, y de vuelta a un modo Q, la inversa. QSTABILIZE queda como recuperación desde la estación de tierra.
3. Avión y misiones	Un selector de 6 con QLOITER, QHOVER, FBWA, CRUISE, AUTO, RTL	La guía de Flightory propone MANUAL, QLOITER, QLAND, FBWA, CRUISE y RTL; añade AUTOTUNE cuando toque ajustar.

40.12 La transición, paso a paso

La transición hacia delante de un tilt-rotor pasa por tres estados del código (SLT_Transition). Entenderlos explica casi todos los parámetros de este apartado:

1. **AIRSPEED_WAIT.** Al pasar a un modo de avión, los motores delanteros se inclinan hasta `Q_TILT_MAX` a la velocidad del tilt. En FBWA el ángulo sigue al gas: θ = mín(1; 0,02·gas %)·Q_TILT_MAX, así que con más del 50 % de gas llegan a 45°. El motor trasero y la componente vertical de los delanteros siguen sosteniendo el avión, y el controlador VTOL estabiliza. Se espera a que la velocidad aire pase de `AIRSPEED_MIN`.
2. **TIMER.** Superada la velocidad, los motores van a la horizontal a la velocidad del tilt, y el gas de los motores VTOL (el trasero incluido) se reduce **linealmente** durante `Q_TRANSITION_MS`. Mientras, los controladores de ala fija toman el mando de las superficies.

3 **DONE.** En un tilt-rotor, la transición termina en cuanto los motores llegan a la horizontal, **aunque no haya pasado** `Q_TRANSITION_MS` («Transition FW done»). El trasero se para y los delanteros funcionan como motores tractores. Con 15 °/s, de 45° a 90° se tarda 3 s: la rampa de 7 s se corta cuando el gas VTOL va por el 57 % (1 − 3/7). Para que la rampa se complete, el tilt tendría que tardar al menos Q_TRANSITION_MS en recorrer esos 45°.



Cronograma de una transición con los valores del Stallion. El tramo hasta AIRSPEED_MIN es ilustrativo.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`AIRSPEED_MIN`	Velocidad mínima demandada en los modos con gas automático y fin de la espera de la transición. La definición oficial: un 20 % por encima de la pérdida en vuelo nivelado.	9	16 (el manual da 12 para un Stallion de unos 2 kg)
`AIRSPEED_CRUISE`	Velocidad objetivo (indicada) en CRUISE, AUTO, RTL… El manual del Stallion da la mejor eficiencia a 60–70 km/h (16,7–19,4 m/s).	12	19
`AIRSPEED_MAX`	Máxima demandada. Oficial: algo menos que la de vuelo nivelado a `THR_MAX`, y al menos un 50 % por encima de AIRSPEED_MIN.	22	35 (Flightory 4+1)

`AIRSPEED_STALL`	Pérdida a 1 g, si la conoces. Afina la protección en virajes y permite aterrizajes más lentos que AIRSPEED_MIN. 0 = usa AIRSPEED_MIN.	0	0
`Q_TRANSITION_MS`	Duración de la rampa de bajada del gas VTOL tras alcanzar AIRSPEED_MIN (500–30 000 ms). En un tilt-rotor la rampa se corta si el tilt llega antes a la horizontal (ver DONE).	5000	7000
`Q_BACKTRANS_MS`	En la vuelta a VTOL en modos con control de posición, tiempo para pasar el límite de cabeceo de 0 al máximo. 0 = sin rampa.	3000	5000 (Flightory)
`Q_TRANS_DECEL`	Deceleración (m/s²) con la que se calcula la distancia de frenado al volver a VTOL: d ≈ V²/(2a). A 19 m/s y 2 m/s², unos 90 m.	2	2
`LEVEL_ROLL_LIMIT`	Alabeo máximo cuando se busca vuelo nivelado: transición con Level Transition, despegue y final del aterrizaje.	5	5
`Q_OPTIONS`	Opciones del QuadPlane (bitmask). Stallion: bit 0 Level Transition (alas dentro de LEVEL_ROLL_LIMIT durante la transición; el límite de subida de ese bit no se aplica en tilt-rotores), bit 15 ThrLandControl (el gas regula el ritmo de aterrizaje), bit 17 EnableLandReposition (recolocar con los sticks durante el aterrizaje automático).	0	163841
`Q_ASSIST_SPEED`	Por debajo de esta velocidad, ayudan los motores VTOL en los modos de avión (menos MANUAL y ACRO). 0 = sin ayuda, con aviso de PreArm. −1 = sin ayuda y sin aviso, menos en la transición. Si lo usas: 3 m/s por debajo de la mínima a la que vuelas (5 sin pitot).	0	−1 (Flightory)
`Q_ASSIST_ANGLE`, `Q_ASSIST_ALT`, `Q_ASSIST_DELAY`	Ayuda por error de actitud (si se sale de los límites en más de 5° y el error supera el ángulo), por altura sobre casa, y su retardo. Solo funcionan con Q_ASSIST_SPEED positivo.	30° · 0 · 0,5 s	inactivos (ASSIST_SPEED = −1)
`Q_TRANS_FAIL`, `Q_TRANS_FAIL_ACT`	Tiempo máximo de la espera de velocidad (s, 0 = sin límite) y qué hacer si se supera: −1 avisar, 0 QLAND, 1 QRTL.	0 · 0	0 · 0
`TKOFF_THR_SLEW`	Rampa de gas (%/s) en el despegue automático y en la transición.	0	40 (Flightory)

Por qué AIRSPEED_MIN = 16 en el Stallion del autor

Con 2,49 kg, S = 26,5 dm² y un CL_{max} de ala de 1,0 (estimación para el E205 a Re ≈ $2 \cdot 10^5$), $V_s = \sqrt{(2mg/(\rho \cdot S \cdot CL_{max}))} \approx 12{,}3$ m/s. El 20 % de margen de la definición oficial da 14,7; 16 m/s deja algo más de margen para la carga alar de 94 g/dm² (el manual admite hasta 115) y para el error del pitot hasta calibrarlo. El crucero a 19 m/s cae dentro de la ventana de eficiencia del manual.

La primera transición

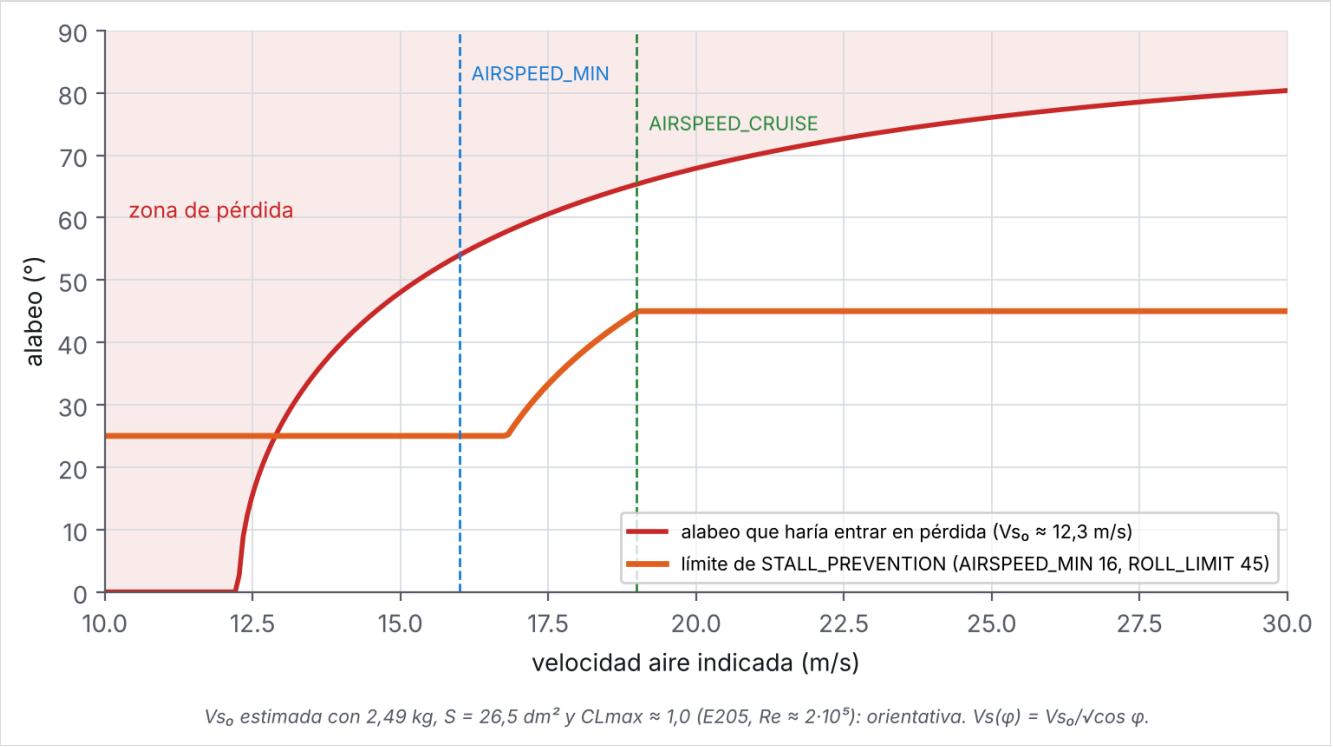
Hazla alta (al menos 30–40 m), de cara al viento, con 150–200 m libres por delante y sin tocar nada hasta que veas «Transition done». Si algo va mal, vuelve a QHOVER: los motores suben a vertical y recuperas el control de multicóptero.

40.13 Vuelo en avión: límites, TECS, protección de pérdida y navegación

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`ROLL_LIMIT_DEG`	Alabeo máximo en los modos estabilizados y automáticos.	45	45
`PTCH_LIM_MAX_DEG`, `PTCH_LIM_MIN_DEG`	Cabeceo máximo arriba y abajo.	20 / −25	20 / −25
`STALL_PREVENTION`	Limita el alabeo con poca velocidad según el factor de carga, y sube la velocidad mínima en los virajes (figura). Sin pitot usa la velocidad sintética.	1	1
`STAB_PITCH_DOWN`	Grados de morro abajo que se añaden en FBWA cuando el gas baja de TRIM_THROTTLE, para no perder velocidad en planeo.	2	2
`TRIM_THROTTLE`	Gas de crucero (%) que mantiene AIRSPEED_CRUISE. Sin sensor de velocidad, es la base del gas del TECS.	45	45: ajustar con el log del primer vuelo
`THR_MAX`, `THR_MIN`	Gas máximo y mínimo (%) del motor de avance en todos los modos menos MANUAL.	100 / 0	100 / 0; THR_MAX podría limitar la corriente en avión tras medir con vatímetro
`THR_SLEWRATE`	Cambio máximo del gas (%/s).	100	100

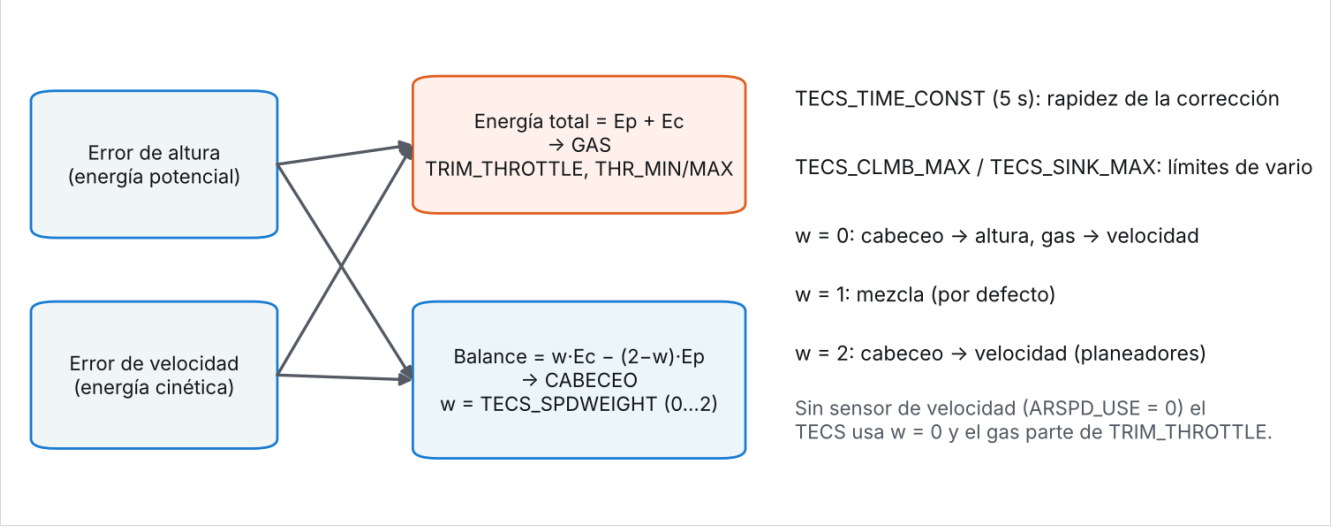
Protección de pérdida (STALL_PREVENTION)

En un viraje coordinado el factor de carga es n = 1/cos φ y la pérdida sube a $V_s \cdot \sqrt{n}$. ArduPlane calcula el factor de carga máximo sostenible como $n_{max} = (V/V_{ref})^2$, con V_{ref} = AIRSPEED_STALL o, si es 0, AIRSPEED_MIN. Si $n_{max} \leq 1$, limita a 25°. Si no, limita a $\varphi = \arccos(1/n_{max})$, nunca por debajo de 25° ni de LEVEL_ROLL_LIMIT. En los modos automáticos, además, el TECS sube la velocidad mínima a AIRSPEED_MIN·√n.



Alabeo de pérdida estimado del Stallion frente al límite que impone STALL_PREVENTION.

TECS: altura y velocidad

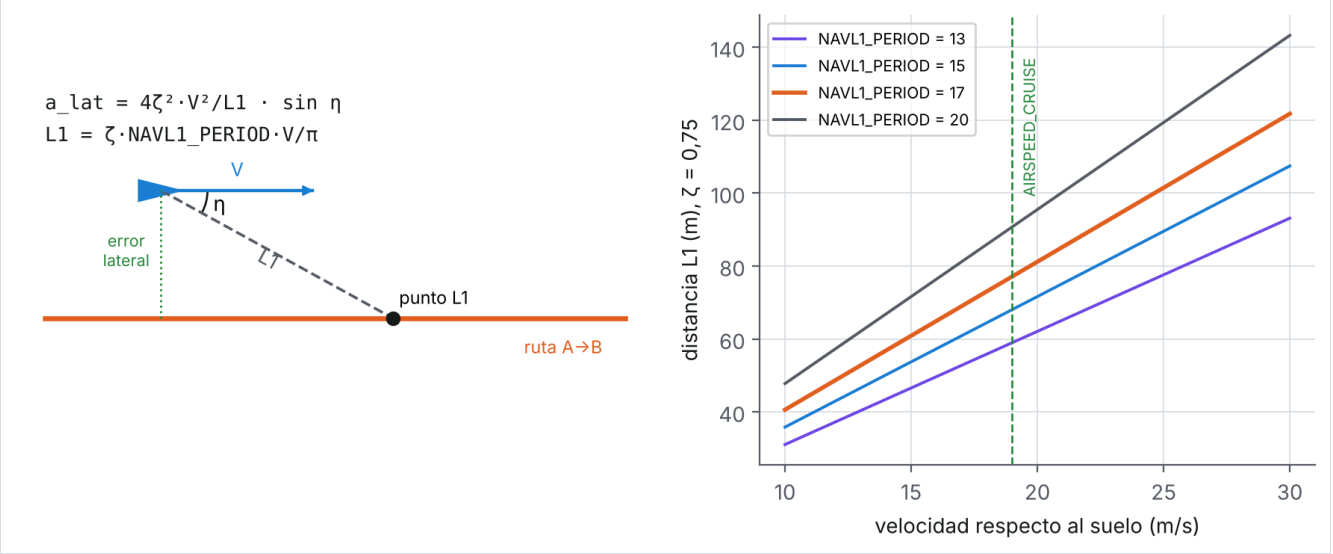


El TECS reparte el control de energía: el gas gobierna la energía total y el cabeceo, el balance entre potencial y cinética.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`TECS_TIME_CONST`	Constante de tiempo (s) de las correcciones de altura y velocidad. Menos = más rápido, con riesgo de sobreoscilación. Rango 3–10.	5	5
`TECS_SPDWEIGHT`	Peso de la velocidad (0–2): 0 cabeceo → altura, gas → velocidad; 2 cabeceo → velocidad (planeadores); 1 mezcla.	1	1
`TECS_CLMB_MAX`	Subida máxima demandada (m/s). Oficial: no más que la subida a THR_MAX y AIRSPEED_CRUISE con la batería baja.	5	5: revisar con el log

`TECS_SINK_MAX`, `TECS_SINK_MIN`	Bajada máxima demandada, y tasa de descenso con THR_MIN a AIRSPEED_CRUISE.	5 / 2	5 / 2

Navegación L1 y waypoints



Geometría del L1 y distancia L1 según NAVL1_PERIOD y la velocidad.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`NAVL1_PERIOD`	Periodo del control de ruta (s). Fija L1 = ζ·P·V/π; la aceleración lateral es $4\zeta^2 \cdot V^2/L1 \cdot \sin \eta$. Menos = más ceñido; demasiado bajo, serpentea. Se baja de 1 en 1 en un circuito en AUTO.	17	17 al principio
`NAVL1_DAMPING`	Amortiguamiento ζ. Casi nunca se toca.	0,75	0,75
`NAVL1_XTRACK_I`	Integrador del error lateral: corrige el desplazamiento constante.	0,02	0,02
`WP_RADIUS`	Distancia a la que se da por alcanzado un waypoint (como mucho la distancia L1).	90	por defecto
`WP_LOITER_RAD`	Radio de los círculos de LOITER y RTL. Negativo = antihorario. Demasiado pequeño, lo limita ROLL_LIMIT_DEG: $r_{min} \approx V^2/(g \cdot \tan \varphi)$ ≈ 37 m a 19 m/s y 45°.	60	50
`MIN_GROUNDSPEED`	Velocidad mínima respecto al suelo en modos con gas automático (antes MIN_GNDSPD_CM). Con viento de cara fuerte, sube la velocidad objetivo.	0	0

El simulador implementa estos parámetros con las mismas fórmulas: es el sitio para ver su efecto antes de tocarlos en el avión (capítulo 17).

40.14 Vuelo VTOL: estacionario, QLOITER y ajuste

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`Q_A_ANGLE_MAX`	Inclinación máxima en los modos VTOL (°).	30	30

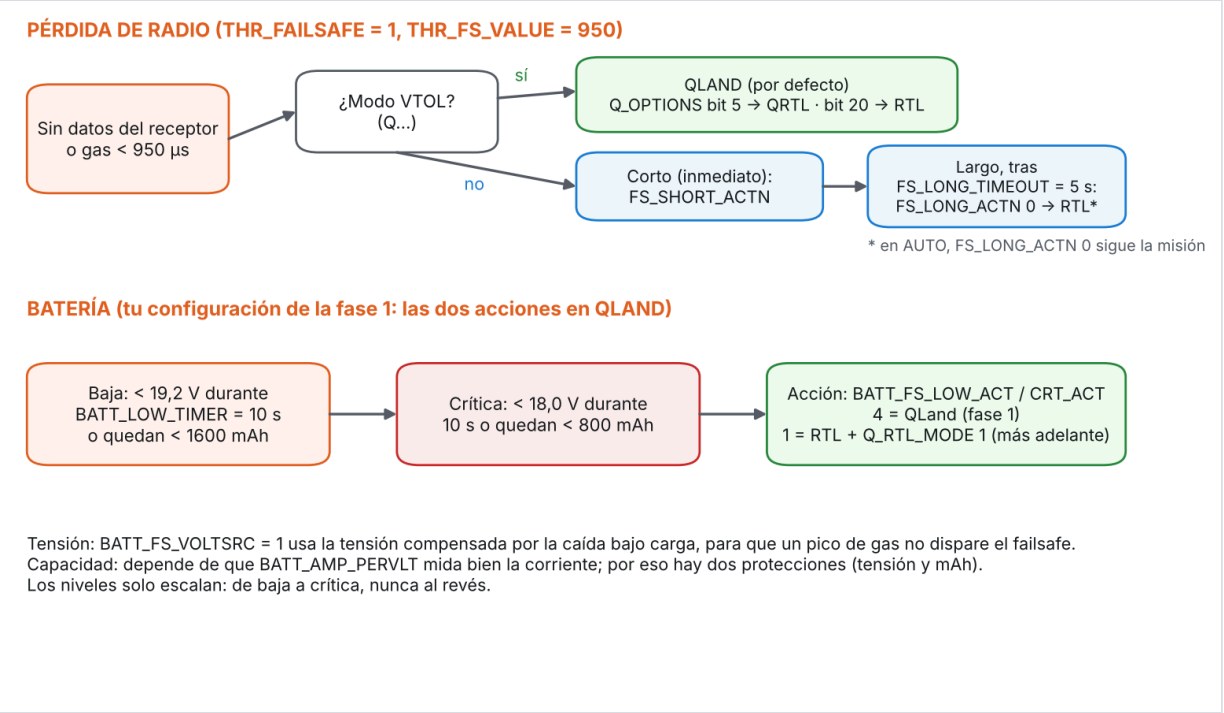
`Q_PILOT_SPD_UP`, `Q_PILOT_SPD_DN`	Subida y bajada máximas con el gas en QHOVER y QLOITER (m/s). DN = 0 usa la de subida.	2,5 / 0	por defecto
`Q_LOIT_SPEED_MS`	Velocidad horizontal máxima en QLOITER.	5	5
`Q_WP_SPD`, `Q_WP_SPD_UP`, `Q_WP_SPD_DN`	Velocidades de la navegación VTOL (QRTL, tramos VTOL de AUTO).	5 / 2,5 / 1,5	por defecto
`Q_LAND_FINAL_ALT`, `Q_LAND_FINAL_SPD`	Altura a la que empieza el descenso final lento y su velocidad.	6 m / 0,5 m/s	6 / 0,3
`Q_A_RAT_RLL_P/I/D`, `Q_A_RAT_PIT_*`	Lazo de velocidad angular VTOL. El QuadPlane trae 0,25 en P e I de alabeo y cabeceo.	0,25 / 0,25 / —	por defecto hasta el ajuste
`Q_A_RAT_YAW_FLTE`	Filtro del error del lazo de guiñada. La wiki indica **0 para guiñada vectorizada** (2,5 en el resto).	2,5	0
`Q_A_RAT_*_FLTD`, `FLTT`	Filtros de la derivada y del objetivo. Valor inicial de la wiki: INS_GYRO_FILTER/2.	FLTD 10 (alabeo y cabeceo), 20 (guiñada) · FLTT 20	30 con el filtro de 60 Hz
`SCHED_LOOP_RATE`	Frecuencia del bucle principal (Hz). 300 vale para un QuadPlane de este tamaño; 400 solo aporta en aviones de menos de 1 kg.	300 en QuadPlane	300
`Q_FWD_THR_USE`, `Q_FWD_THR_GAIN`	Usar la inclinación de los motores para avanzar en QLOITER en lugar de cabecear. En un tilt-rotor la ganancia ≈ rotores totales / rotores que basculan = 3/2.	0 / 2,0	por defecto al principio

Secuencia de ajuste VTOL (wiki, QuadPlane Tuning Process)

1. **Antes del primer vuelo:** batería y expo (40.6, 40.9), filtros iniciales (`INS_GYRO_FILTER`, FLTD/FLTT, FLTE = 0) y `Q_M_THST_HOVER` = 0,25. Peso mínimo de despegue y batería llena; viento flojo y 15–25 °C.
2. **Primer estacionario en QSTABILIZE.** Si oscila, baja un 50 % los P, I y D de alabeo y cabeceo y repite. No despegues en QHOVER hasta haber probado el control de altura en vuelo.
3. **QHOVER 30 s** a 5 m con `Q_M_HOVER_LEARN` = 2. En tierra: `Q_P_D_ACC_I` = 0,2·THST_HOVER y `Q_P_D_ACC_P` = 0,1·THST_HOVER (nombres de 4.7).
4. **Filtro notch:** 2 minutos de estacionario sin tocar los sticks, con `INS_LOG_BAT_MASK` = 1, y configurar el notch armónico con el espectro.
5. **Guiñada vectorizada** (wiki, Tilt Vectored Yaw Tuning): movimientos cortos y bruscos de timón, ajustar `Q_A_RAT_YAW_FF` comparando PIQY.FF+P+D con X·PIQY.Act, poner I = FF, y subir D y luego P hasta oscilar y dejar 1/2–1/3.
6. **Ajuste fino:** manual (D y P por pasos) o automático: QuickTune, integrado en 4.6 y posteriores, o QAUTOTUNE eje a eje (5–8 min cada uno; no lo uses con menos de 8 min de batería en VTOL).

Para el ala fija, **AUTOTUNE** (`AUTOTUNE_LEVEL` 6 recomendado) ajusta alabeo y cabeceo en vuelo: modo AUTOTUNE en el selector y alabeos y cabeceos amplios durante unos minutos. En QuadPlanes con `INS_GYRO_FILTER` alto, `AUTOTUNE_OPTIONS` evita que toque FLTD y FLTT.

40.15 Failsafes y vuelta a casa

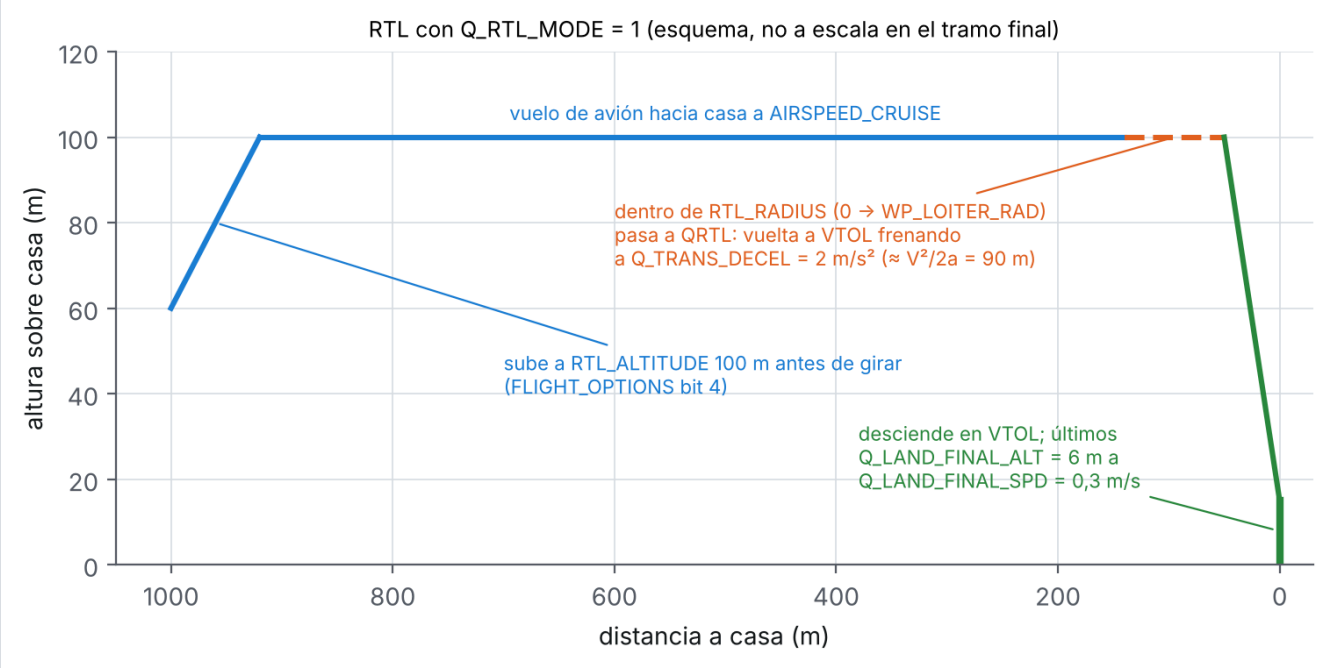


Lógica de los failsafes de radio y de batería con la configuración de la fase 1.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`THR_FAILSAFE`	1 = failsafe por pérdida de radio (sin datos del receptor, bit FS o gas por debajo de THR_FS_VALUE). 2 = ignora la radio sin acción.	1	1
`THR_FS_VALUE`	PWM del gas por debajo del cual se considera perdida la señal. Muy por debajo del mínimo normal.	950	950
`FS_SHORT_ACTN`	Acción del failsafe corto en modos de avión. En modos Q se va a QLAND salvo los bits 5 (QRTL) o 20 (RTL) de Q_OPTIONS.	0	0
`FS_LONG_ACTN`, `FS_LONG_TIMEOUT`	Acción tras FS_LONG_TIMEOUT segundos: 0 continúa en AUTO o RTL desde los demás modos · 1 RTL · 2 planear...	0 · 5 s	0 · 5 s
`FS_GCS_ENABL`	Failsafe por pérdida de la estación de tierra (heartbeat MAVLink). Con un eléctrico, solo con ARMING_REQUIRE.	0	0
`BATT_LOW_VOLT`, `BATT_CRT_VOLT`	Tensiones de failsafe bajo y crítico; deben mantenerse BATT_LOW_TIMER segundos.	0	19,2 / 18,0 (3,2 y 3,0 V/celda, criterio para Li-ion)

`BATT_LOW_MAH`, `BATT_CRT_MAH`	Capacidad restante de cada failsafe.	0	1600 / 800 (20 % y 10 %)
`BATT_FS_LOW_ACT`, `BATT_FS_CRT_ACT`	Acciones: 0 avisar · 1 RTL · 2 Land · 3 terminar · 4 QLand · 6 Loiter to QLand · 7 AUTOLAND o RTL.	0 / 0	4 / 4 en la fase 1
`BATT_FS_VOLTSRC`	0 tensión bruta · 1 tensión compensada por la caída bajo carga.	0	1
`BATT_LOW_TIMER`	Segundos por debajo del umbral antes de disparar.	10	10

RTL y QRTL



Perfil de un RTL con Q_RTL_MODE = 1.

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`RTL_ALTITUDE`	Altura de vuelta sobre casa (m). −1 = mantiene la actual.	100	100
`FLIGHT_OPTIONS`	Opciones de modos (bitmask). Bit 4 = subir a RTL_ALTITUDE antes de girar hacia casa.	0	16
`RTL_RADIUS`	Radio del círculo de RTL (0 = WP_LOITER_RAD). Con Q_RTL_MODE = 1, radio al que pasa de avión a VTOL para aterrizar.	0	0
`Q_RTL_MODE`	0 RTL de avión (círculos sobre casa) · 1 pasa a QRTL al entrar en RTL_RADIUS · 2 aproximación VTOL en espiral · 3 siempre QRTL.	0	1
`Q_RTL_ALT`, `Q_RTL_ALT_MIN`	Altura de QRTL y subida mínima si empieza en VTOL.	15 / 10	15 / 10
`RTL_AUTOLAND`	Seguir con la secuencia de aterrizaje de la misión desde un DO_LAND_START (1 tras llegar a casa, 2 directo). Con DO_LAND_START y valor 0, no deja armar.	0	0

`RTL_CLIMB_MIN`	Metros de subida inicial con el alabeo limitado a LEVEL_ROLL_LIMIT.	0	0

> **Batería «Land» y RTL de avión no bastan**
>
> Con `Q_RTL_MODE` = 0 (lo de Flightory), un RTL por batería acaba dando vueltas a 100 m sobre casa hasta agotarla, y la acción «Land» sin secuencia de aterrizaje en la misión termina en RTL. En un VTOL tiene más sentido RTL con `Q_RTL_MODE` = 1 (vuelve como avión y aterriza en vertical) para la batería baja, y QLand para la crítica. En la fase 1, cerca y sin la transición validada, las dos en QLand.

Geovalla. `FENCE_ENABLE` = 1 con `FENCE_TYPE` (bits: altura máxima, círculo, polígonos, altura mínima), `FENCE_RADIUS`, `FENCE_ALT_MAX` y `FENCE_ACTION` (0 avisar, 1 RTL, 8 AUTOLAND o RTL). Para respetar los 120 m de la categoría abierta, una valla de altura de 110–115 m con RTL es una buena red de seguridad (capítulo 36).

40.16 OSD del DJI O4 Pro

Parámetro	Qué hace	Por defecto	Stallion
`OSD_TYPE`	5 = MSP DisplayPort (DJI O3/O4, Walksnail, HDZero).	según placa	5
`MSP_OPTIONS`	Bit 2 = usar la fuente de Betaflight, que es la que muestra el O4.	0	4
`OSD1_*_EN/_X/_Y`	Elementos y posición en la rejilla HD.	—	distribución por esquinas del autor

40.17 El Stallion del autor de un vistazo

Resumen de la configuración del primer vuelo en estacionario, por bloques. Lo marcado con ⚠ está pendiente de medir o de validar en vuelo.

Bloque	Parámetros
Placa y puertos	AHRS_ORIENTATION 4 · SERIAL1_PROTOCOL 2 · SERIAL3_PROTOCOL 42, BAUD 115 · SERIAL5_PROTOCOL 5 · SERIAL6_PROTOCOL 23 · GPS1_TYPE 1 · COMPASS_EXTERNAL 1 · SCHED_LOOP_RATE 300 · OSD_TYPE 5 · MSP_OPTIONS 4
QuadPlane y tilt	Q_ENABLE 1 · Q_FRAME_CLASS 7 · Q_TILT_ENABLE 1 · Q_TILT_MASK 3 · Q_TILT_TYPE 2 · Q_TILT_YAW_ANGLE 15 · Q_TILT_MAX 45 · Q_TILT_RATE_UP 15 · Q_TILT_RATE_DN 0
Salidas	SERVO1/2_FUNCTION 4 · SERVO3 79 · SERVO4 80 · SERVO5 33 · SERVO6 34 · SERVO7 36 · SERVO8 75 (1075–2175 ⚠) · SERVO9 76 (900–2025 ⚠) · MIXING_GAIN 0,5 · RC2_REVERSED 1
Motores y ESC	Q_M_PWM_TYPE 6 · SERVO_DSHOT_ESC 1 · SERVO_BLH_AUTO 1 · SERVO_BLH_RVMASK 64 · Q_M_THST_EXPO 0,6 · Q_M_THST_HOVER 0,25 (se aprende) · Q_M_HOVER_LEARN 2 · Q_M_SPIN_ARM 0,1 ⚠
Batería	BATT_MONITOR 4 · BATT_VOLT_MULT 11,05 · BATT_AMP_PERVLT 64 ⚠ · BATT_CAPACITY 8000 · Q_M_BAT_VOLT_MAX 25,2 · Q_M_BAT_VOLT_MIN 19,8 · Q_M_BAT_CURR_MAX 80

Filtros	INS_GYRO_FILTER 60 · Q_A_RAT_YAW_FLTE 0 · INS_LOG_BAT_MASK 1
Pitot	ARSPD_TYPE 1 · ARSPD_USE 0 ⚠ (pasar a 1 tras calibrar)
Velocidades y transición	AIRSPEED_MIN 16 · AIRSPEED_CRUISE 19 · AIRSPEED_MAX 35 · Q_TRANSITION_MS 7000 · Q_TRANS_DECEL 2 · Q_OPTIONS 163841 · Q_ASSIST_SPEED −1 · TKOFF_THR_SLEW 40
Radio y modos	RC_OPTIONS 8480 · RC5_OPTION 153 · FLTMODE_CH 8 · FLTMODE1–6 17, 17, 18, 18, 19, 19 · ARMING_SKIPCHK 1024 ⚠
Failsafes	THR_FAILSAFE 1 · THR_FS_VALUE 950 · FS_LONG_TIMEOUT 5 · FS_LONG_ACTN 0 · BATT_LOW_VOLT 19,2 · BATT_CRT_VOLT 18,0 · BATT_LOW_MAH 1600 · BATT_CRT_MAH 800 · BATT_FS_LOW_ACT 4 · BATT_FS_CRT_ACT 4 · BATT_FS_VOLTSRC 1
Vuelta a casa	RTL_ALTITUDE 100 · FLIGHT_OPTIONS 16 · Q_RTL_MODE 1 · WP_LOITER_RAD 50 · Q_LAND_FINAL_ALT 6 · Q_LAND_FINAL_SPD 0,3

40.18 Orden de trabajo, del banco al primer vuelo

1. **Firmware** y conexión con QGroundControl. Guarda el archivo de parámetros de fábrica.
2. **Puertos** (40.3) y reinicio. Comprueba que el GPS da posición, que el receptor llega y que el OSD aparece en las gafas.
3. **QuadPlane y tilt** (40.7) en dos pasadas con reinicio. **Salidas** (40.9).
4. **Orientación**, acelerómetro, nivelado y brújula (40.4).
5. **Radio:** calibración, modos, interruptor de armado y `RC_OPTIONS` (40.11).
6. **Superficies:** sentidos y recorridos en MANUAL y en FBWA (40.10).
7. **Tilt:** sentidos, extremos y alineación (40.8), sin hélices.
8. **Motores sin hélices:** protocolo, prueba de motores (A delantero derecho, B trasero, D delantero izquierdo), sentidos de giro y SPIN_ARM/SPIN_MIN.
9. **Batería:** calibración de tensión y corriente con polímetro y vatímetro, y failsafes (40.6, 40.15).
10. **Failsafe de radio en banco:** armado sin hélices en QSTABILIZE, apaga la emisora y comprueba que pasa a QLAND y qué hace al volver la señal.
11. **Centro de gravedad** a 60 mm del borde de ataque en la raíz, con todo montado.
12. **Primer estacionario** en QSTABILIZE a poca altura; luego QHOVER y QLOITER. Revisa el log: vibraciones, THST_HOVER aprendido, consumo.
13. **Notch, ajuste VTOL y guiñada** (40.14).
14. **Pitot:** validar y calibrar; ARSPD_USE = 1.
15. **Primera transición** alta y de cara al viento; después AUTOTUNE del ala fija, L1 y TECS, y por último las misiones.

Referencias

Wiki de ArduPilot Plane: Tilt Rotor Planes, Tilt Rotor Setup Tips, Yaw Tuning for Tilt Vectored Yaw Configurations, QuadPlane VTOL Tuning Process, Assisted Fixed-Wing Flight y la lista completa de parámetros. Código de ArduPlane 4.7.2 (quadplane.cpp, tiltrotor.cpp, Attitude.cpp, servos.cpp, AP_TECS, AP_L1_Control, AP_MotorsMulticopter, AP_BattMonitor). Manuales de Flightory: Stallion V2, Stallion VTOL PACK y «ArduPilot config for a 4+1 QuadPlane VTOL».