



ÍNDICE

- ☛ Categorías de operación
 - ☒ Categoría «abierta»: subcategorías A1, A2 y A3
 - ☒ Categoría «específica»
 - ☒ Categoría «certificada»
- ☛ Formación en categoría «abierta»
- ☛ Syllabus A2
 - ☒ Meteorología
 - ☒ Rendimiento de vuelo del UAS
 - ☒ Atenuaciones técnicas y operacional del riesgo en tierra



The background image is a wide-angle aerial photograph of a landscape. In the foreground, there is a dense forest of trees with green and yellow foliage. A paved road runs vertically through the center of the forest. To the left of the road, there is a small, cleared agricultural field with some green crops. In the background, there are more hills and mountains, also covered in forest, extending towards the horizon under a clear blue sky.

Categorías de operación

⚡ Categorías de operación

El Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 define tres categorías de operación con UAS: «abierta», «específica» y «certificada».



«ABIERTA»

Bajo riesgo

No se require
autorización ni
declaración

«ESPECÍFICA»

Mayor riesgo

Se requiere declaración
en escenarios estándar
(STS) o autorización

«CERTIFICADA»

Alto riesgo

Régimen regulatorio
similar al de aviación
tripulada tradicional

⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta»

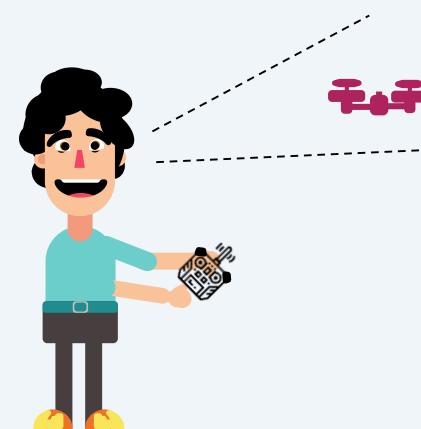
Las operaciones en categoría «abierta» **no estarán sujetas a ninguna autorización previa ni a una declaración operacional** del operador de UAS.

Las operaciones de UAS en categoría «abierta» (A) se dividen en **tres subcategorías A1, A2 y A3**. Para cada una de las subcategorías se definen los UAS que se pueden usar, la formación requerida a los pilotos y las condiciones particulares de vuelo.



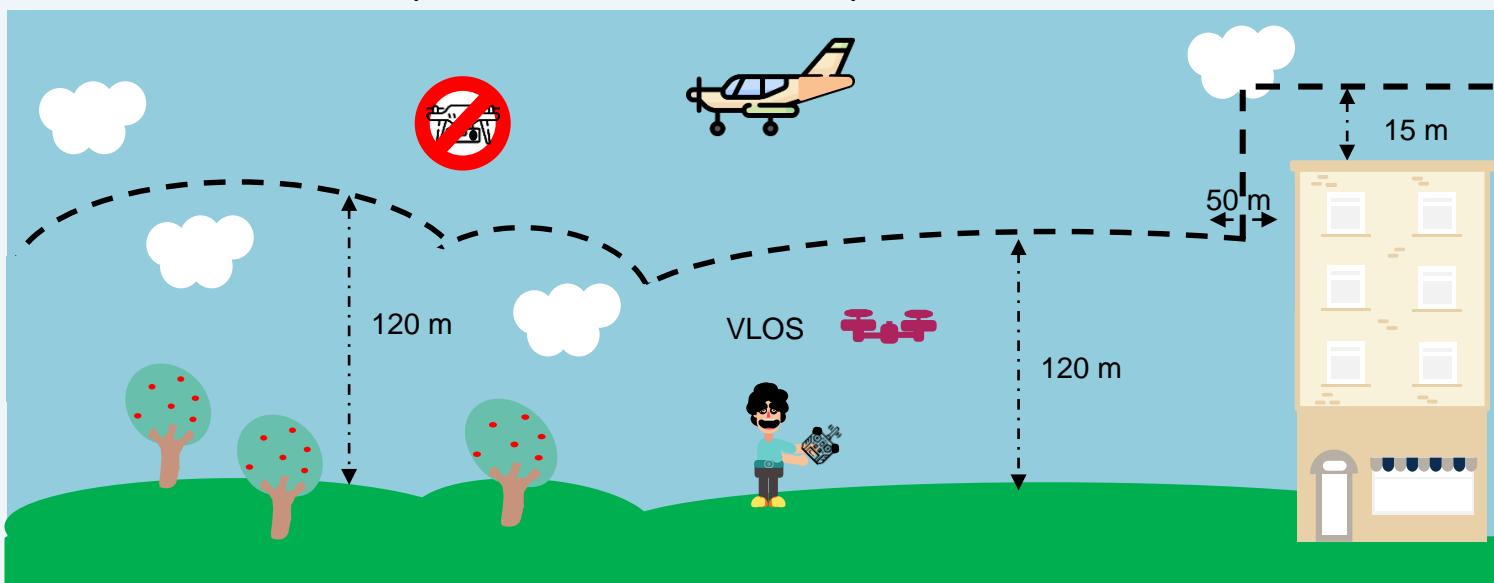
Sin embargo, ciertas **condiciones generales de vuelo son aplicables para las tres subcategorías** de vuelo dentro de la categoría «abierta». Estas condiciones son las siguientes:

1. **El piloto a distancia volará siempre en modo VLOS** (con la aeronave dentro del alcance visual), salvo cuando vuele en modo *sígueme* o si utiliza un observador de la aeronave no tripulada, en cuyo caso podrá usar dispositivos de visión en primera persona («FPV», por sus siglas en inglés de «*First Person View*»).



❖ Categoría «abierta»

2. **No se permite el vuelo a una altura superior a 120 m del punto más próximo de la superficie.** Si una aeronave no tripulada vuela a menos de 50 m, medidos horizontalmente, de un obstáculo artificial de una altura superior a 105 m, la altura máxima de la operación de UAS podrá incrementarse en hasta 15 m por encima de la altura del obstáculo a petición de la entidad responsable del obstáculo.



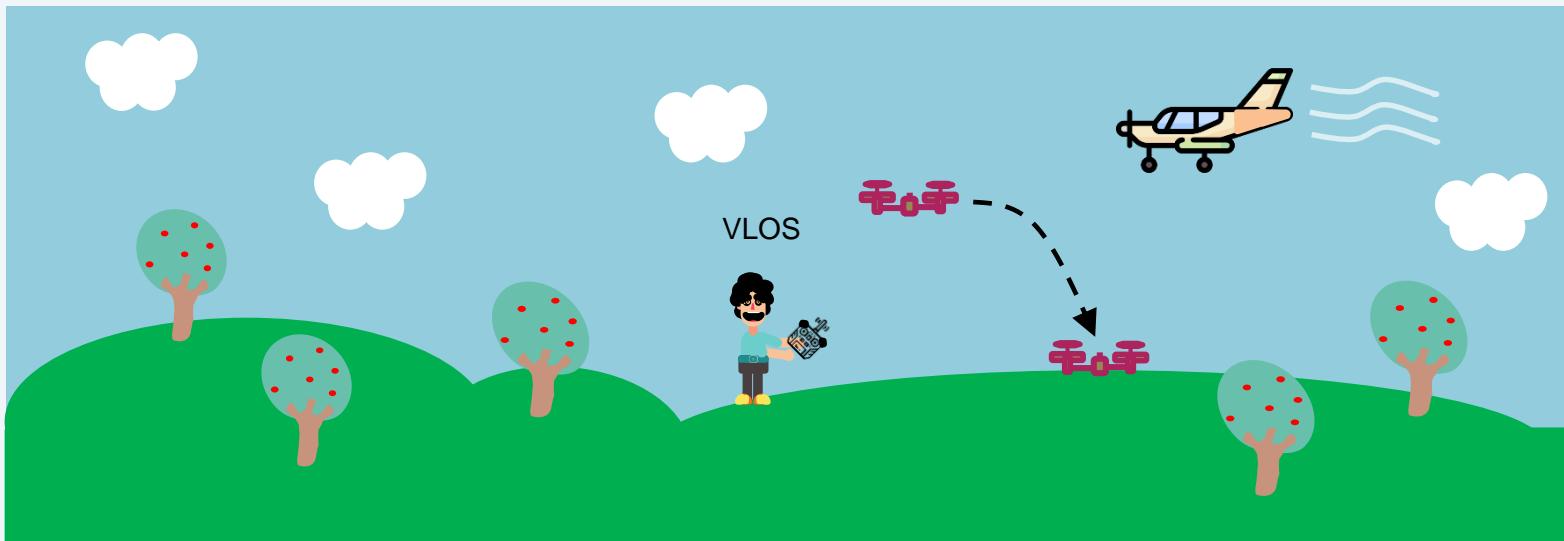
La altura de 120 m sobre el terreno (con su excepción), no debe ser superada ya que el límite inferior de la aviación general es de 150 m, por lo tanto, solo hay 30 m de separación entre la aviación tripulada y los UAS. Para evitar situaciones de conflicto con otras aeronaves, tripuladas o no tripuladas, como norma general, no superar nunca los 120 m de altura.

Esta altura máxima puede ser menor de 120 m si en la zona de vuelo así lo indica la zona geográfica de UAS definida por la autoridad competente (AESA).



❖ Categoría «abierta»

3. **En caso de conflicto o encuentro con una aeronave tripulada, el piloto a distancia debe reducir la altura de vuelo, realizar maniobras evasivas en caso de posible colisión con la aeronave tripulada y aterrizar lo antes posible.**

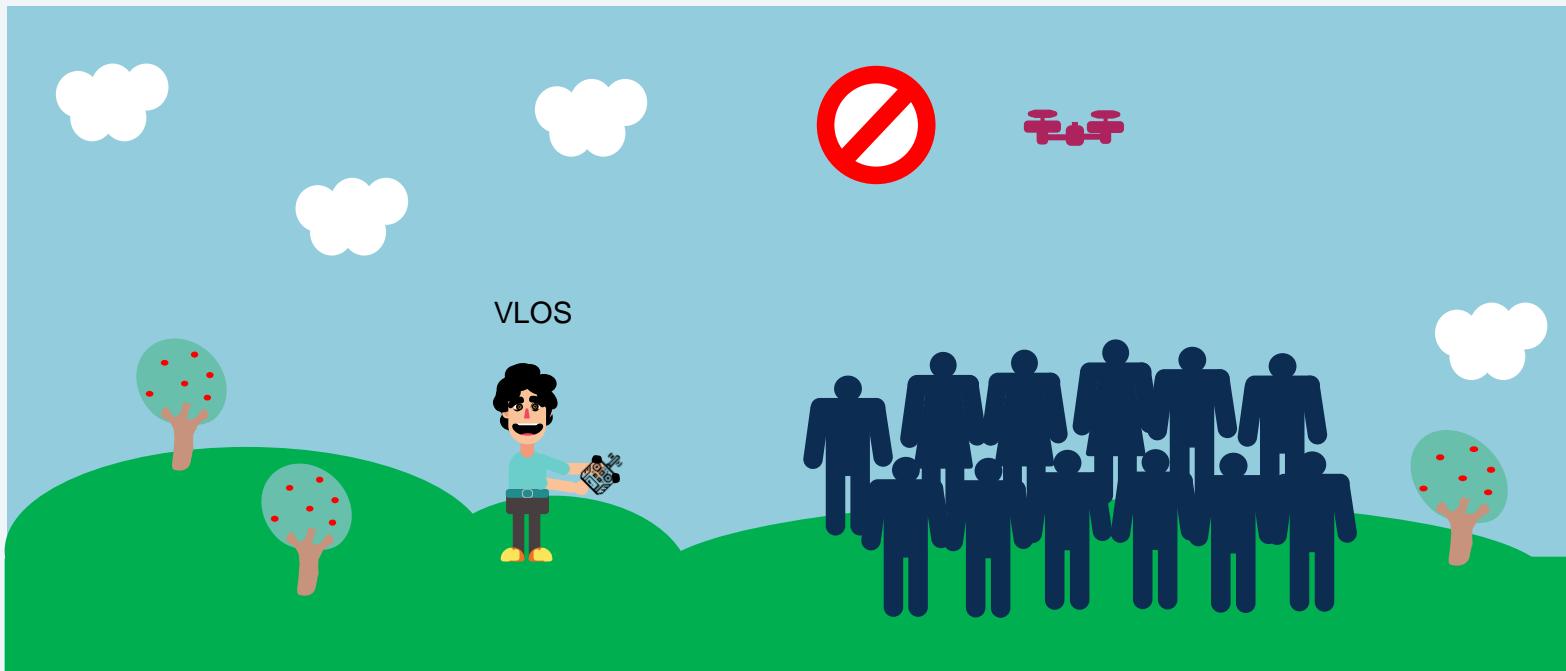


En todo caso, **el piloto a distancia siempre debe interrumpir el vuelo del UAS, cuando su continuación pueda suponer un riesgo para la aeronave tripulada**



❖ Categoría «abierta»

4. **No se permite el sobrevuelo de concentraciones de personas y se debe mantener una distancia segura con personas no participantes en la operación.**

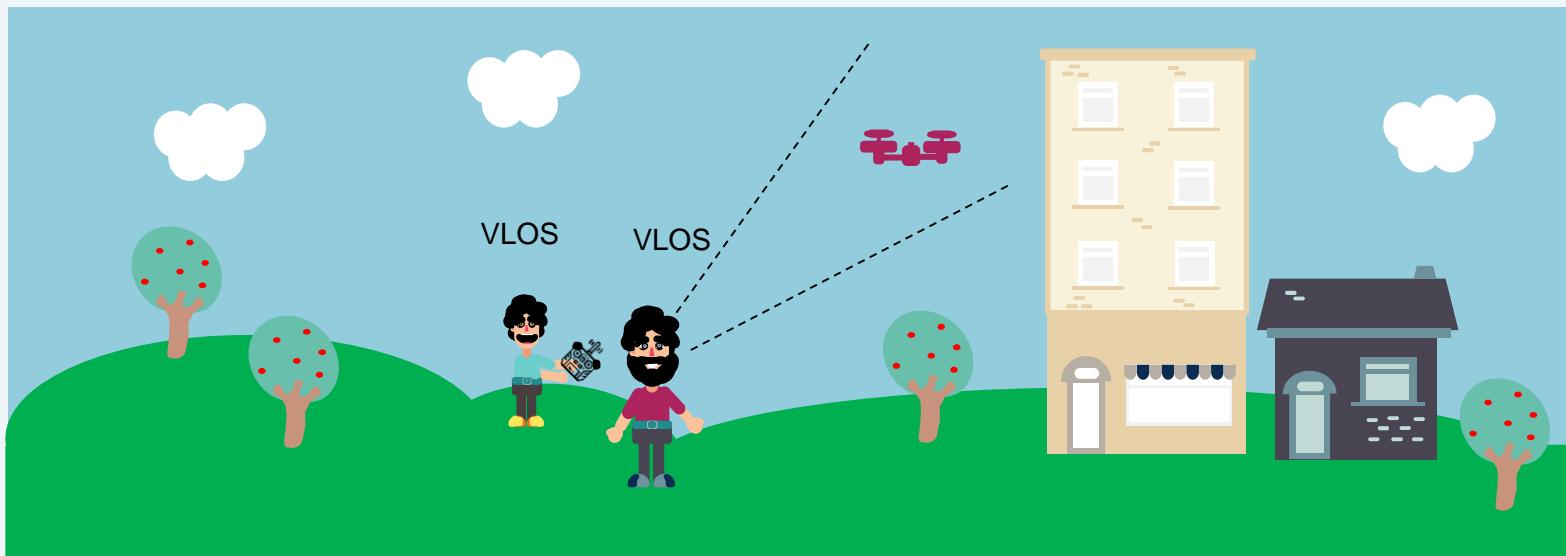


Esta “distancia segura” dependerá de la subcategoría de la operación. Como norma general, **cuanto más pesada es la aeronave no tripulada, más lejos se deberá volar de personas no participantes para que la operación sea más segura (\uparrow Masa \rightarrow \uparrow Lejos \rightarrow \uparrow Seguro).**



❖ Categoría «abierta»

5. **El piloto puede ayudarse de un observador de la aeronave no tripulada si lo considera necesario.** En ningún caso el objetivo del observador es ampliar el rango de vuelo del UAS mas allá del alcance visual del piloto a distancia (VLOS). El observador de la aeronave no tripulada se situará junto al piloto a distancia y le apoyará en circunstancias como:
- Ayudar al piloto a mantener la distancia con obstáculos y avisarle en caso de que se vea reducida.
 - Ayudar al piloto a mantener la conciencia situacional y avisar de posibles riesgos.



En cualquier caso, **el piloto a distancia siempre es el último responsable de mantener la seguridad de la operación del UAS.**

⌘ Categoría «abierta»

6. Está prohibido el transporte de mercancías peligrosas con el UAS ni dejar caer o proyectar ningún material u objeto.

1 - EXPLOSIVOS	2- GASES	3 – LÍQUIDOS INFLAMABLES	4 – SÓLIDOS INFLAMABLES
 EXPLOSIVO 1	 GAS 2	 LÍQUIDOS 3	 SÓLIDOS 4
5 – SUSTANCIAS COMBURANTE Y PERÓXIDOS ORGÁNICOS	6 – SUSTANCIAS TÓXICAS Y SUSTANCIAS INFECTIOSAS	7 – MATERIAL RADIACTIVO	8 – SUSTANCIAS CORROSIVAS
 PERÓXIDOS ORGÁNICOS 5	 SUSTANCIA INFECTIOSA 6	 RADIACTIVO 7	 CORROSIVO 8

⇨ Categorías de operación

☒ Categoría «abierta» – Subcategoría A1

• CONDICIONES PARTICULARES DE OPERACIÓN

Además de las condiciones generales descritas para la categoría «abierta», en la **subcategoría A1** debe cumplirse la siguiente condición:

- Se permite el vuelo sobre personas no participantes, sin infringir la privacidad y la protección de datos de estas personas, **excepto para operaciones con UAS de clase C1** con las cuales no se podrá sobrevolar personas no participantes.

Nota: Se mantiene la prohibición de vuelo sobre concentraciones de personas.

• REQUISITOS DE LOS PILOTOS A DISTANCIA

Los pilotos a distancia que quieran operar en la **subcategoría A1** de la categoría «abierta» deben:

- **Estar familiarizados con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS.**
- Completar el curso de formación online A1/A3 y superar el posterior examen online para obtener la “**Prueba de superación de formación en línea**”, para operar con **UAS de clase C1**, o con UAS de MTOM > 500 g sin etiqueta de identificación de clase (desde el 1/1/2024 con UAS de MTOM > 250 g).



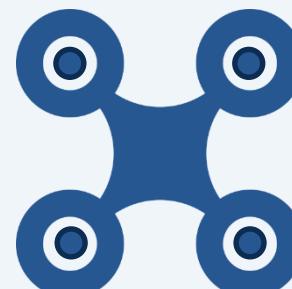
⚡ Categorías de operación y clases de UAS

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A1

- **AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS**

Los vuelos en la **subcategoría A1** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS sin etiqueta de identificación de clase, que cumplan con alguna de las siguientes condiciones:

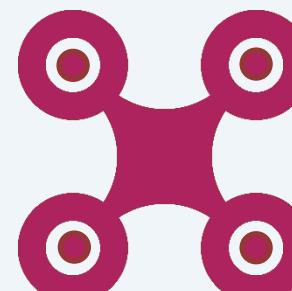
- Ser de construcción privada, con una masa máxima de despegue (MTOM) menor de 250 g y velocidad máxima inferior a 19 m/s;
- Tener una MTOM inferior a 250 g, sin etiqueta de identificación de clase e introducidas en el mercado antes del 1 de enero de 2024;



< 250 g

< 19 m/s

Fabricación propia



< 250 g

Sin etiqueta de identificación de clase

Mercado antes 01/01/2024

⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A1

- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A1** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que cumplan:

- Tener **etiqueta de identificación de clase C0**, lo que implica cumplir con los siguientes requisitos:



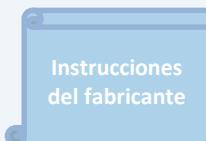
Altura máxima de vuelo
limitada a 120 m



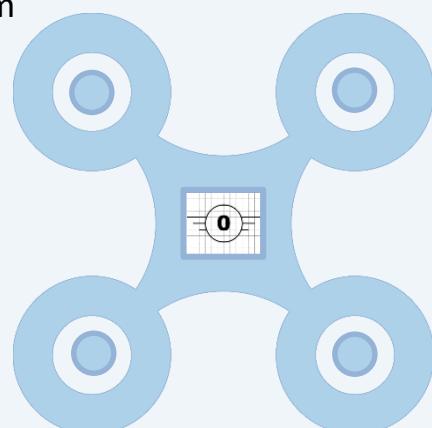
< 19 m/s



< 250 g



Comercializado con las
instrucciones del
fabricante del UAS



Controlable y manejable
de forma segura



Diseñado para evitar
dañar a personas



Eléctrico



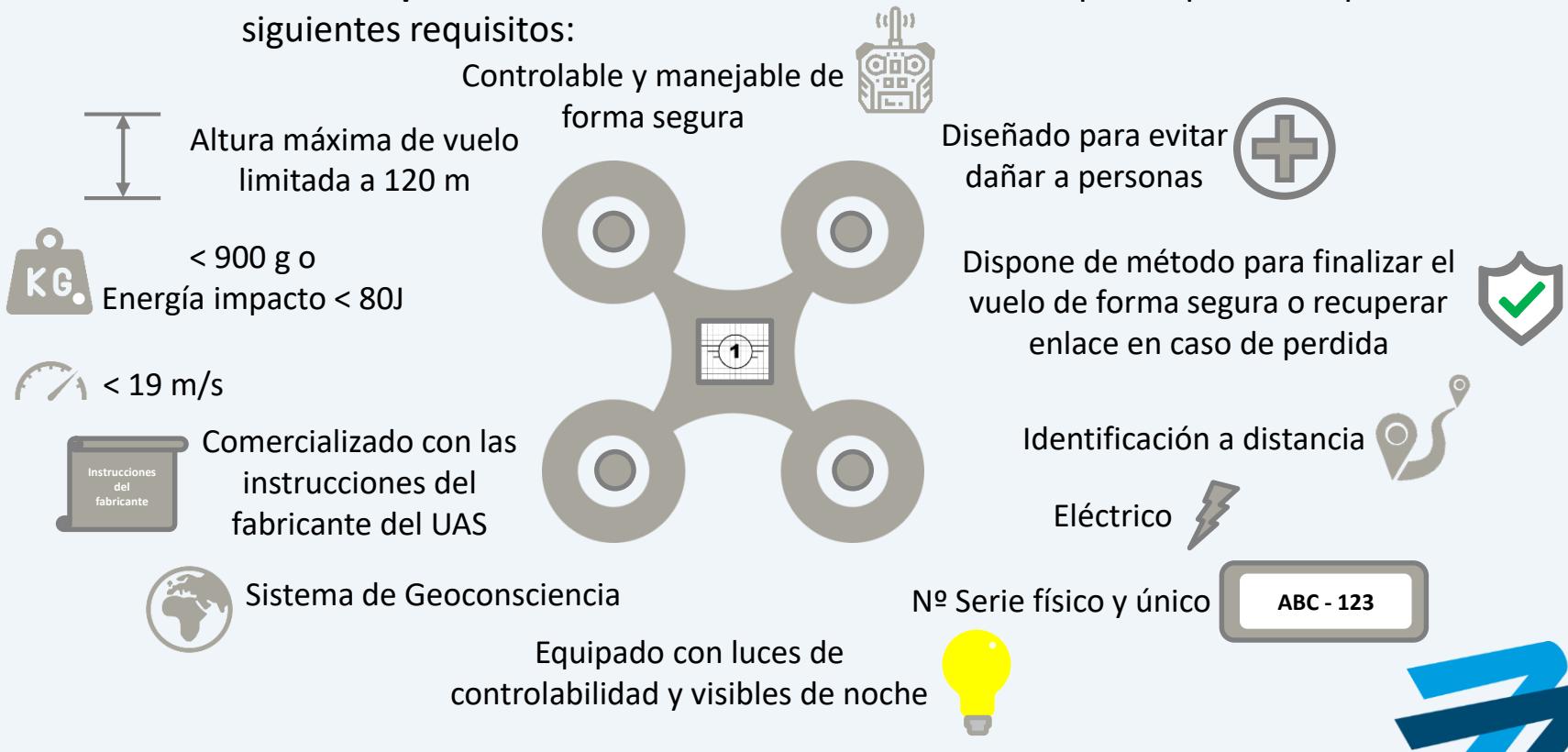
⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A1

- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A1** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que cumplan:

- Tener **etiqueta de identificación de clase C1**, lo que implica cumplir con los siguientes requisitos:



⚡ Categorías de operación

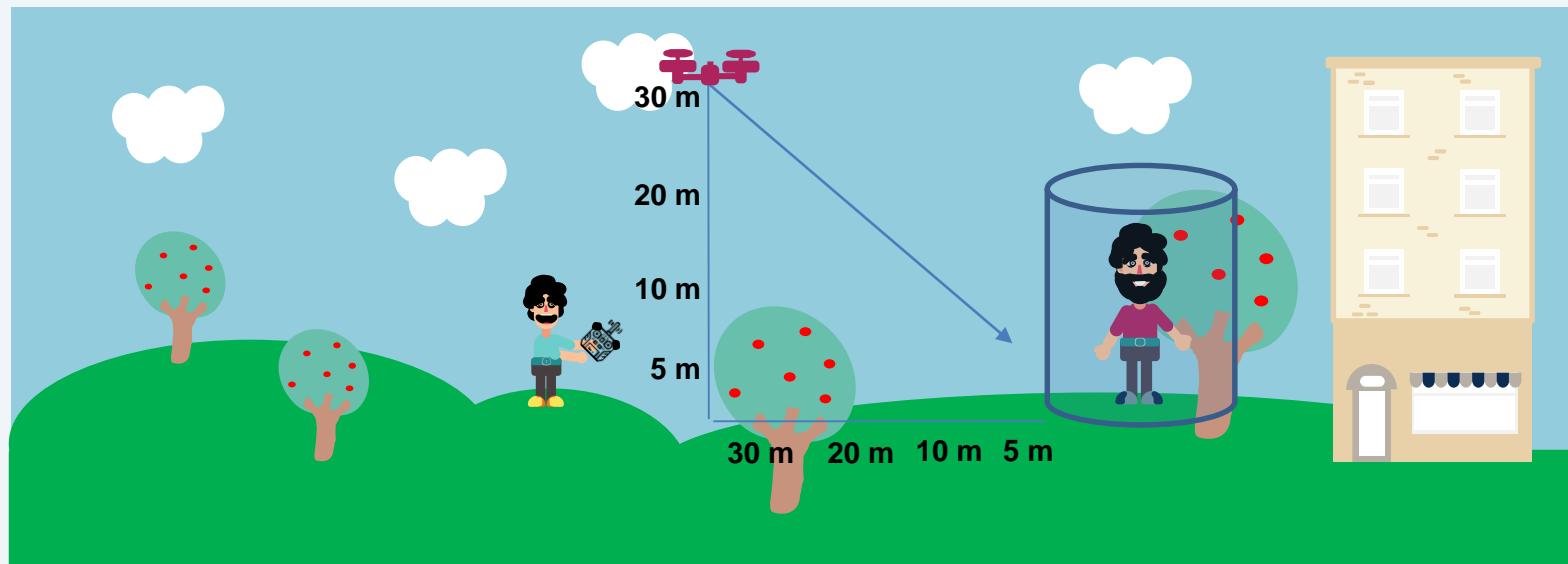
❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A2

- CONDICIONES PARTICULARES DE LA OPERACIÓN

Además de las condiciones generales descritas para la categoría «abierta», en la **subcategoría A2** debe cumplirse la siguiente condición:

- Se permite el vuelo a una **distancia horizontal segura de al menos 30 m** de personas no participantes, que podrá reducirse hasta un mínimo de 5 m cuando se active la función de modo de baja velocidad y, la altura se reducirá en la misma proporción que se reduce la distancia horizontal segura a las personas no participantes (regla 1:1).

Nota: Se mantiene la prohibición de vuelo sobre concentraciones de personas



⚡ Categorías de operación

☒ Categoría «abierta» – Subcategoría A2

- **REQUISITOS DE LOS PILOTOS A DISTANCIA**

Los pilotos a distancia que quieran volar en la **subcategoría A2** de la categoría «abierta» deben:

- **Estar familiarizados con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS.**
- Completar el curso de formación en línea A1/A3 y superar el posterior examen para obtener la **“Prueba de superación de formación en línea”**.
- **Completar una autoformación práctica** en una zona aislada, donde no se ponga en riesgo a personas no participantes y alejado 150 m de zonas residenciales, comerciales, industriales o recreativas (condiciones operativas de la subcategoría A3). Material guía publicado en la web de AESA: [Guía sobre competencias para la formación autopráctica en A2 \(AMC2 UAS.OPEN.030\(2\)\(b\)\) V1](#)
- Superar un examen de conocimientos teóricos adicional para obtener el **“Certificado de competencia de piloto a distancia”** para la subcategoría A2.

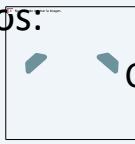
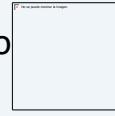
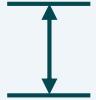
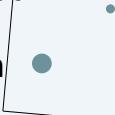


⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A2

- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A2** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que tengan **etiqueta de identificación de clase C2** y deben cumplir los siguientes requisitos:

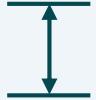
 Controlable y manejable de forma segura	 Enlace de datos protegido ante interferencias
 Altura máxima de vuelo limitada a 120 m	 Diseñado para evitar dañar a personas
 Función baja velocidad (límite $v < 3 \text{ m/s}$)	 Dispone de método para finalizar el vuelo de forma segura o recuperar enlace en caso de perdida
 Comercializado con las instrucciones del fabricante del UAS	 Sistema de identificación a distancia
 $< 4 \text{ kg}$	 Equipado con luces de controlabilidad y visibles de noche
 Eléctrico	 Nº Serie físico y único
 Sistema de Geoconsciencia	

⚡ Categorías de operación y clases de UAS

❖ Categoría a «abierta» – Subcategoría A2

- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A2** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que tengan **etiqueta de identificación de clase C2** y deben cumplir los siguientes requisitos:

 Controlable y manejable de forma segura	 Enlace de datos protegido ante interferencias
 Altura máxima de vuelo limitada a 120 m	 Diseñado para evitar dañar a personas
 Función baja velocidad (límite $v < 3$ m/s)	 Dispone de método para finalizar el vuelo de forma segura o recuperar enlace en caso de perdida
 Comercializado con las instrucciones del fabricante del UAS	 Identificación a distancia
 < 4 kg	 Equipado con luces de controlabilidad y visibles de noche
 Eléctrico	
 Sistema de Geoconsciencia	Nº Serie físico y único ABC - 123

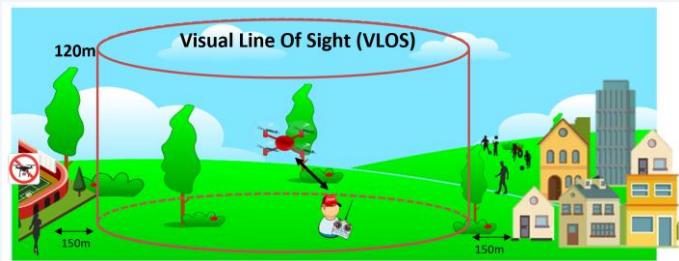
⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A3

- CONDICIONES PARTICULARES DE LA OPERACIÓN

Además de las condiciones generales descritas para la categoría «abierta», en la **subcategoría A3** deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Volar en zonas donde se prevea que **no se pondrá en peligro a ninguna persona no participante** durante toda la duración del vuelo.
- Volar a una **distancia horizontal segura mínima de 150 m** de zonas residenciales, comerciales, industriales y recreativas.



Nota: Se mantiene la prohibición de vuelo sobre concentraciones de personas.

- CONDICIONES PARTICULARES DE LA OPERACIÓN

Los pilotos a distancia que quieran volar en la **subcategoría A3** de la categoría «abierta» deben cumplir los mismos requisitos que para la subcategoría A1, es decir:

- **Familiarización con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS.**
- Completar este curso de formación y superar el posterior examen para obtener la **“Prueba de superación de la formación en línea”**.

EASA
European Union Aviation Safety Agency

AESA
AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD AÉREA

**A1/A3
OPEN
SUB
CATEGORY**

Prueba de superación de la formación en línea
PROOF OF COMPLETION OF THE ONLINE TRAINING

Nombre (First name) Nombre del piloto Número de identificación (identification number) NNN-RP-123456789ABC	Apellidos (Last name) Apellidos del piloto Fecha de caducidad (Expiration date) dd.mm.aaaa
---	---

QR code

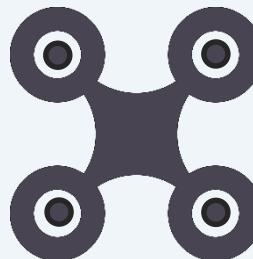
⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A3

- **AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS**

Los vuelos en la **subcategoría A3** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que cumplan:

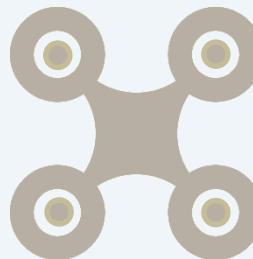
- Ser de construcción privada, con una masa máxima de despegue (MTOM) menor de 25 kg;
- Tener una MTOM inferior a 25 kg, sin etiqueta de identificación de clase e introducidas en el mercado antes del 1 de enero de 2024;
- Tener **etiqueta de identificación de clase C2**, que cumpla todos los requisitos que se han definido anteriormente en las aeronaves de la subcategoría A2;



< 25 kg



Fabricación propia



< 25 kg



Sin etiqueta de
identificación de clase
Mercado antes 01/01/2024

⚡ Categorías de operación

❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A3

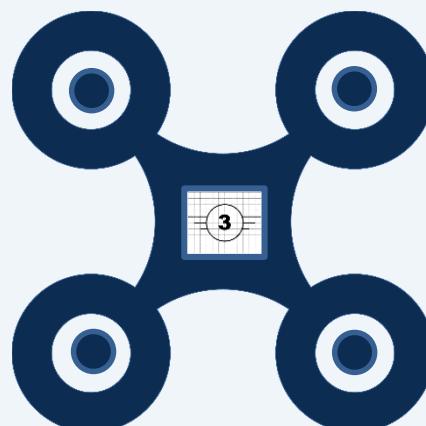
- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A3** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que cumplan:

- Tener **etiqueta de identificación de clase C3**, lo que implica cumplir con los siguientes requisitos:

- Altura máxima de vuelo limitada a 120 m
- Máxima dimensión < 3 m
- Comercializado con las instrucciones del fabricante del UAS
- < 25 kg
- Eléctrico

Controlable y manejable de forma segura



Enlace de datos protegido ante interferencias



Dispone de método para finalizar el vuelo de forma segura o recuperar enlace en caso de perdida



Sistema de identificación a distancia



Equipado con luces de controlabilidad y visibles de noche



Sistema de Geoconsciencia

Nº Serie físico y único

ABC - 123



⚡ Categorías de operación

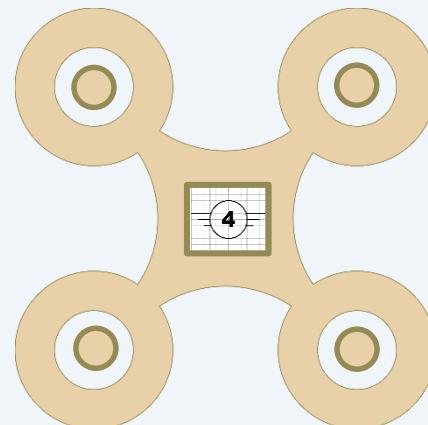
❖ Categoría «abierta» – Subcategoría A3

- AERONAVES NO TRIPULADAS - UAS

Los vuelos en la **subcategoría A3** de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que cumplan:

- Tener **etiqueta de identificación de clase C4**, lo que implica cumplir con los siguientes requisitos:

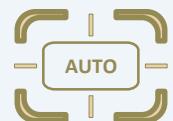
Controlable y manejable de forma segura



Comercializado con las instrucciones del fabricante del UAS



No dispone de modo automático de vuelo, excepto asistencia a la estabilización y en caso de pérdida de conexión



An aerial photograph of a coastal landscape. The upper half shows a steep, rocky cliff face with patches of green vegetation. The lower half shows the ocean with dark blue water. Large, light-colored rock formations jut out from the shore, creating natural arches and ledges. Waves are crashing against these rocks, creating white foam. The overall scene is rugged and natural.

Formación de pilotos a distancia
en categoría «abierta»

FORMACIÓN DE PILOTOS DE UAS EN CATEGORÍA «ABIERTA»

Según las características de los UAS, el tipo de operación y el riesgo intrínseco en ella, el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 establece unos requisitos mínimos de formación a los pilotos a distancia de UAS:



UAS		Operación		Formación
Clase	MTOM	Subcategoría	Restricciones operacionales	Requisitos a pilotos
Construcción privada o sin clase	< 250 g	A1	<ul style="list-style-type: none"> • No se recomienda volar por encima de personas • No está permitido el vuelo sobre reuniones de personas 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS
C0			<ul style="list-style-type: none"> • No volar por encima de ninguna persona no participante • No está permitido el vuelo sobre reuniones de personas 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS • Prueba de superación de formación en línea
C1	< 900 g	A2	<ul style="list-style-type: none"> • No volar por encima de ninguna persona no participante • 30 m de cualquier persona no participante • 5 m de distancia si dispone de <i>modo de baja velocidad</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS • Prueba de superación de formación en línea • Declaración de formación autopráctica • Certificado de Competencia de Piloto a Distancia
C2	< 4 kg	A2	<ul style="list-style-type: none"> • No volar cerca de personas • Distancia de 150 m respecto de: <ul style="list-style-type: none"> • Zonas residenciales • Zonas comerciales • Zonas industriales • Zonas recreativas 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS • Prueba de superación de formación en línea
C3	< 25 kg	A3	<ul style="list-style-type: none"> • No volar cerca de personas • Distancia de 150 m respecto de: <ul style="list-style-type: none"> • Zonas residenciales • Zonas comerciales • Zonas industriales • Zonas recreativas 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS • Prueba de superación de formación en línea
C4				
Construcción privada o sin clase				

FORMACIÓN TRANSITORIA DE PILOTOS DE UAS EN CATEGORÍA «ABIERTA» (hasta el 31 de diciembre de 2023)



Desde la aplicación del Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, el pasado 31 de diciembre de 2020, hay convivencia de normativas, dado que el Real Decreto 1036/2017 que establece la normativa nacional en materia de RPAS aún sigue vigente. A este periodo de convivencia, se le ha denominado periodo de transición y, se prolongará hasta el 31 de diciembre de 2023, la aplicación completa de la normativa europea de UAS. En lo que se refiere a la formación en categoría «abierta», se pueden observar ligeros cambios:

UAS		Operación	Operador	Piloto
Clase	MTOM	Subcategoría	Registro operador	Competencia piloto
Construcción privada	< 250 g	A1 (también puede volar en subcategoría A2 y A3)	Solo si tiene cámara (sensor)	<ul style="list-style-type: none"> Familiarización con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS
	< 500 g		Sí	<ul style="list-style-type: none"> Familiarización con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS Prueba de superación de formación en línea <ul style="list-style-type: none"> o Certificado básico o avanzado (Ley 10/2018 y RD 1036/2017) Titular de licencia de piloto de aviación tripulada o piloto de ultraligero
	< 2 kg	A2 (también puede volar en subcategoría A3)	Sí	<ul style="list-style-type: none"> Familiarización con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS Prueba de superación de formación en línea Certificado de competencia de piloto a distancia A2 <ul style="list-style-type: none"> o Certificado básico o avanzado (Ley 10/2018 y RD 1036/2017) Titular de licencia de piloto de aviación tripulada o piloto de ultraligero
	< 25 kg	A3	Sí	<ul style="list-style-type: none"> Familiarización con las instrucciones facilitadas por el fabricante del UAS Prueba de superación de formación en línea <ul style="list-style-type: none"> o Certificado básico o avanzado (Ley 10/2018 y RD 1036/2017) Titular de licencia de piloto de aviación tripulada o piloto de ultraligero



A photograph of a bridge in a forested area. Three workers in orange safety vests and hard hats are standing on the bridge. One worker on the left is holding a device, likely a remote control. A white drone is flying in the sky above them. A black pickup truck is parked on the bridge. The background is filled with tall evergreen trees under a cloudy sky.

SYLLABUS SUBCATEGORÍA A2

 Syllabus de formación en subcategoría A2**1) Meteorología:** 

- i. El efecto de las condiciones meteorológicas en el vuelo de una aeronave no tripulada:
 - a) Viento (ej. turbulencias, efectos en entornos urbanos, etc.);
 - b) Temperatura;
 - c) Visibilidad; y
 - d) Densidad del aire;
- ii. Obtención de predicciones meteorológicas;

2) Rendimiento de vuelo del UAS:

- i. Envolvente operativa típica de un multirrotor, de una aeronave de ala fija y de un giroavión;
- ii. Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas:
 - a) Considerar la estabilidad global al instalar *gimbals* y carga útil;
 - b) Comprender las diferentes características de las cargas útiles y cómo afectan estas a la estabilidad de la aeronave no tripulada en el vuelo; y
 - c) Comprender que los diferentes tipos de UAS tienen diferentes CG;



- iii. Aseguramiento de la carga útil;
- iv. Baterías:
 - a) Comprender el funcionamiento de la fuente de alimentación para ayudar a prevenir posibles condiciones inseguras;
 - b) Familiarización con los diferentes tipos de baterías existentes;
 - c) Comprender la terminología usada para las baterías (ej. voltaje, capacidad, carga y descarga, C-rate, etc.); y
 - d) Comprender el funcionamiento de las baterías (ej. carga y descarga, instalación, uso, almacenaje, peligros, etc.); y

3) Atenuaciones técnicas y operacionales del riesgo en tierra:

- i. Función del modo de baja velocidad;
- ii. Evaluación de la distancia a personas no participantes en la operación;
- iii. Regla 1:1.



Viento



Viento

Se origina por las diferencias de presiones que tienden a equilibrarse, desde las altas a las bajas presiones. Estas diferencias se producen por el desigual calentamiento de la superficie, cuando el aire se calienta asciende y para ocupar ese vacío el aire circundante se mueve hacia la zona donde se ha producido la depresión. Cuando la intensidad del viento no es constante y sopla con distintas intensidades en cortos períodos de tiempo, el viento se define como racheado.

Viento en superficie

La parte más baja de la atmósfera cercana al suelo (hasta 200 – 500 m) se define como capa límite, ya que la superficie de la tierra tiene diferente orografía y rugosidad, lo que ocasiona perturbaciones en el movimiento del viento.

- Para el vuelo con UAS hay que tener en cuenta que la intensidad del viento aumenta con la altura del vuelo.
- Cuando la velocidad del viento esté cercana a la máxima descrita en el manual del fabricante, puede provocar que se dificulte la maniobrabilidad del UAS y también afecta negativamente a la autonomía de las baterías
- El rango operativo del UAS puede verse afectado si durante la operación hay viento.

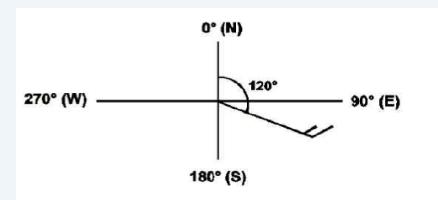


Viento

❖ Dirección del viento

Viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla (de dónde viene). En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa de los vientos (*compass rose*) dividida en 360 grados.

El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro de las agujas del reloj. De este modo, un viento del SE Equivale a 135 grados; uno del S, a 180 grados; uno del NW, a 315 grados, etc.



❖ Velocidad del viento

Se mide en nudos. 1 nudo = 0.514 m/s

Es la unidad de medida a través de la cual los fabricantes indican el límite de la velocidad máxima que puede soportar un UA.

¿Cómo se representa el viento en un gráfico?

La dirección del viento, se representa en grados de 0 grados a 360 grados como se muestra arriba en la figura. En esta, 0 grados corresponde al Norte, 90 grados al Este, 180 grados al Sur, 270 grados al Oeste y 360 grados nuevamente al Norte. En la Fig. siguiente se ha representado el viento con una dirección de 120 grados (aprox. del sureste), la punta de la flecha indica de dónde viene el viento y, las barbas, cómo se verá a continuación la magnitud del viento, en este caso, 15 nudos.



Viento

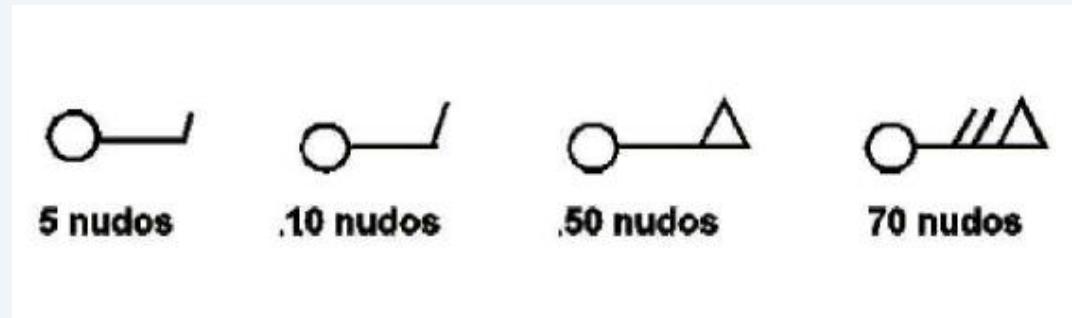
Velocidad del viento

Si es un vector la longitud representa la velocidad del viento.

En el caso de las flechas con barbas, la velocidad del viento se representa teniendo en cuenta la escala gráfica siguiente.

La barba de menor longitud equivale a 5 nudos, la de mayor longitud 10 nudos y, el triángulo 50 nudos; si queremos representar 70 nudos será un triángulo con dos barbas grandes.

Las velocidades inferiores a 5 nudos se representan con flechas sin barbas.



 Viento Turbulencia1. Clasificación según el origena. **Turbulencia mecánica**

Se origina debido a la presencia de obstáculos tales como edificios, montañas, árboles, hangares, etc.

b. **Turbulencia convectiva o térmica**

Se produce por el ascenso de las corrientes convectivas, en las que las masas de aire en contacto con la superficie son calentadas durante el día por el efecto de la radiación solar.

c. **Turbulencia de estela**

Es generada por el propio vuelo del UA, ya que detrás del mismo se producen vórtices turbulentos.



 Viento Turbulencia2. Clasificación según el efecto que produce sobre la aeronavea. **Turbulencia fuerte**

La aeronave está sometida a bruscos cambios de altitud y actitud, pudiendo quedar fuera de control y sufrir daños estructurales.

b. **Turbulencia moderada**

La aeronave está sometida a cambios de altitud y actitud, pero sin perder el control.

c. **Turbulencia ligera**

La aeronave no presenta cambios relevantes de altitud y actitud.



La turbulencia será un factor importante a tener en cuenta, sobre todo en las fases más críticas, como son el despegue y el aterrizaje. Normalmente, cuando se vuela en flujos de aire turbulentos, el fabricante del UAS suele recomendar unas velocidades más bajas y la desconexión del modo automático, a fin de evitar cargas estructurales.



 Viento Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso del aire sobre la superficie terrestre. Para distinguir si es baja o es alta, se basa en el valor de la presión normal a nivel del mar: 1013 mb.

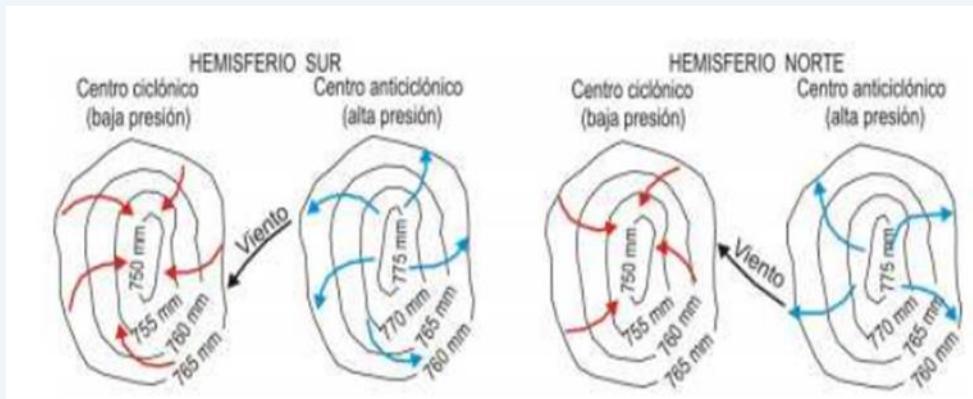
¿Qué son las isobaras?

Las isobaras, son líneas que unen puntos de igual presión atmosférica al nivel del mar.

Se representan en mapas meteorológicos dibujadas a intervalos de 2 o 4 mbar.

Cuando las isobaras están muy juntas, indican diferencia de presión, y generalmente, vientos fuertes.

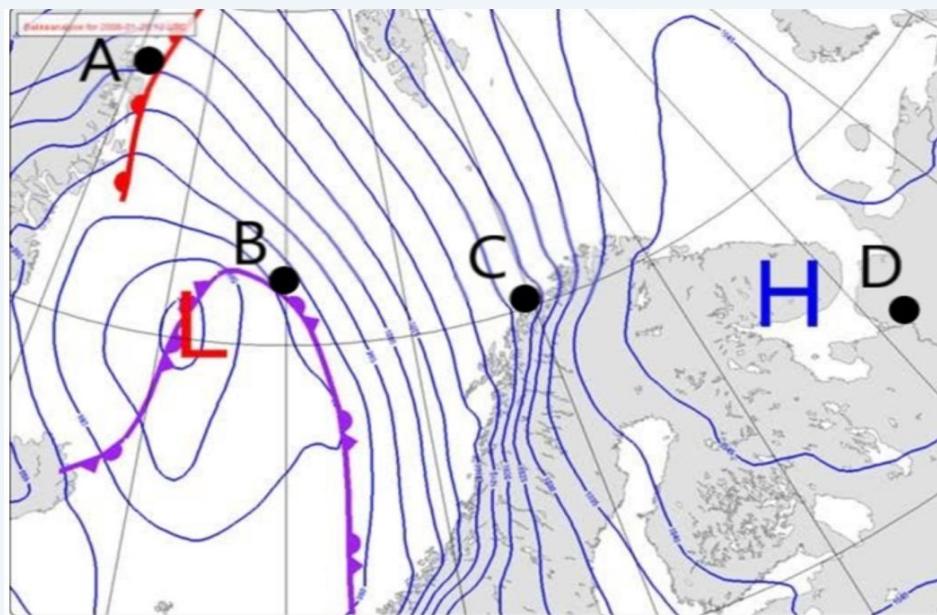
En esta figura se puede observar el funcionamiento en sentido opuesto de las bajas y altas presiones en cada uno de los hemisferios de la Tierra.



Viento

Presión atmosférica

- En este mapa isobárico, se observa que en el **punto C** el viento sería del **sur**, en el **punto D** del **norte**, en el **punto B** del **sur** y en el **punto A** del **sur este**.
- Cuanto más juntas estén las isobaras mayor intensidad de viento y cuanto más distanciadas menor intensidad.
- En este ejemplo, en la zona de unión de la L y la H será donde mayor será la intensidad del viento.





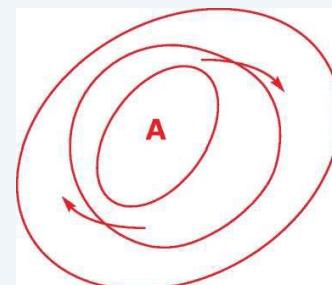
Viento

❖ Anticiclón

Un anticiclón es una zona donde la presión atmosférica es más alta (1016 mb o más) que en las zonas circundantes. Las isobaras suelen estar muy separadas, mostrando la presencia de vientos suaves que llegan a desaparecer en las proximidades del centro. Va acompañado de tiempo estable: en verano, soleado y seco; y, en invierno, despejado y frío.

El aire se mueve en la dirección de las agujas del reloj en el hemisferio Norte y, en sentido contrario en el hemisferio Sur. El aire que baja se va secando y calentando, por lo que trae consigo estabilidad y buen tiempo, con escasa probabilidad de lluvia.

Sin embargo, en invierno el aire que desciende puede atrapar nieblas y elementos contaminantes bajo una inversión térmica y llegar a formar el denominado "smog" que se produce en las grandes ciudades.



Hemisferio Norte



Viento

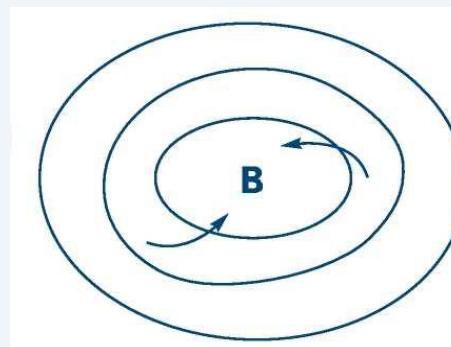
⌘ Borrasca

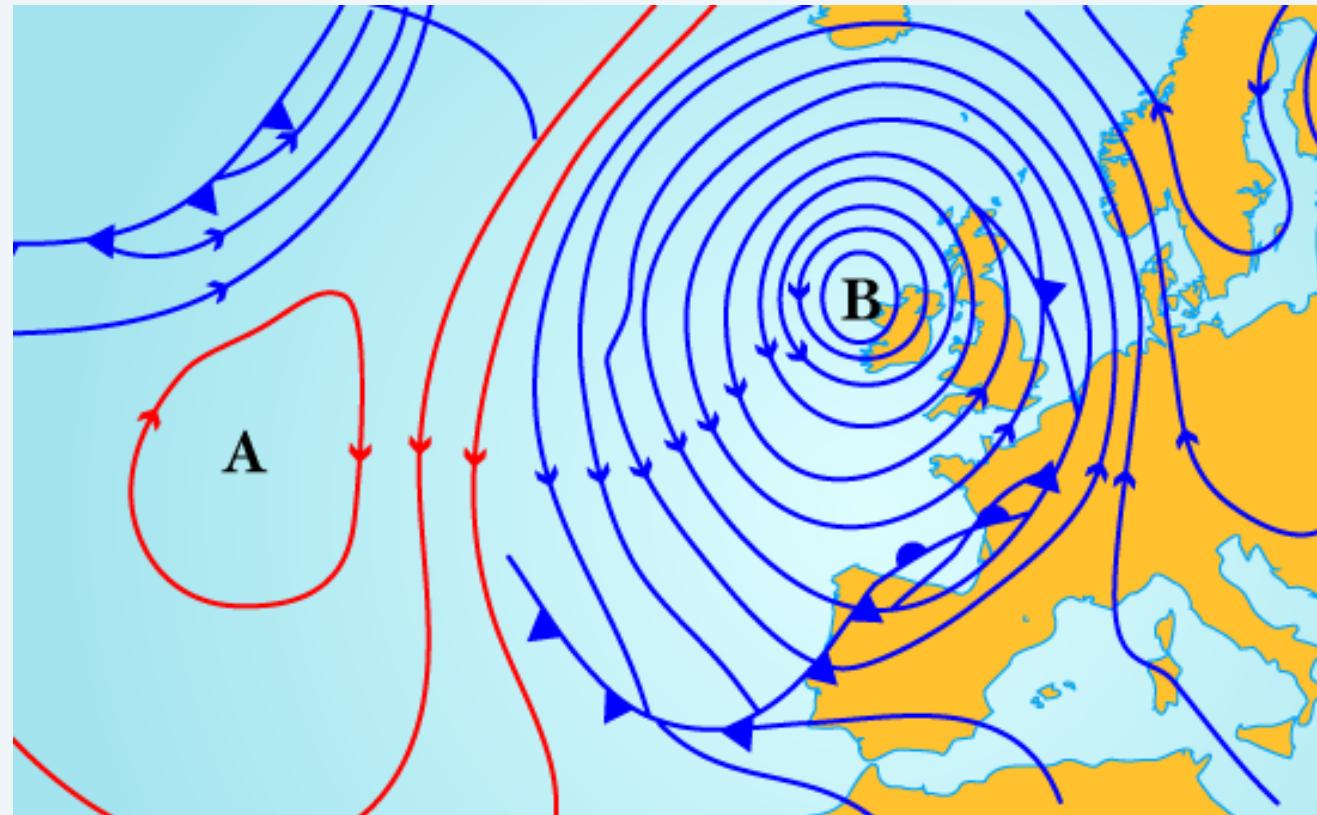
Una borrasca o ciclón es una zona de baja presión atmosférica (1012 mb o menos) rodeada por un sistema de vientos que en el hemisferio Norte se mueven en sentido opuesto a las agujas del reloj, y en sentido contrario en el hemisferio Sur. Va acompañado de tiempo inestable, dado que el centro de una baja presión el aire más húmedo y caliente asciende, se enfriá y se condensa, formando nubes con probabilidad de precipitaciones.

El término ciclón, se ha utilizado con un sentido más amplio aplicándolo a las tormentas y perturbaciones que acompañan a estos sistemas de baja presión, en particular, a los violentos huracanes tropicales y a los tifones, centrados en zonas de presión extraordinariamente bajas.



Hemisferio Norte



 Viento

Anticiclón suave
Isobaras separadas

Borrasca profunda
Isobaras muy próximas entre si



 Viento Gradiente de presión

Es la presión que equilibra la fuerza que tiende a mover el aire de la presión alta a la presión baja. La fuerza del gradiente de presión tiene componentes vertical y horizontal:

- El gradiente vertical de presión

La componente vertical está aproximadamente en equilibrio con la fuerza de gravedad. Este gradiente hace que disminuya 1 hPa por cada 8 m (27 ft) que se asciende hasta los primeros 5500 m de altura. Por encima de esta altura, el régimen de descenso será de 1 hPa por cada 15 m (50 ft). La temperatura de la masa de aire es un factor que hará que el gradiente de presión sea mayor cuando esta es más fría, y menor cuando es más cálida.

- El gradiente horizontal de presión

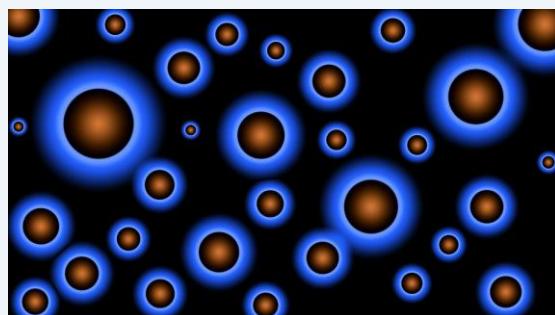
La componente horizontal es la variación de la presión atmosférica, siendo perpendicular a las isobaras sobre una superficie horizontal. Si las isobaras están separadas o la distancia entre ellas es grande, significa que el gradiente es pequeño y los vientos que soplarán serán flojos.



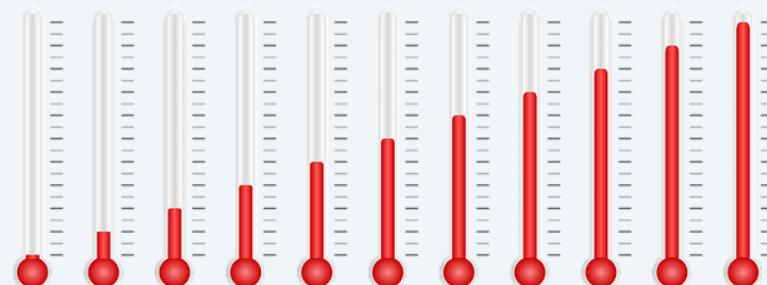
Temperatura

Los cuerpos están constituidos por moléculas que se hayan en movimiento continuo. Al calentar un cuerpo, aumenta este movimiento interior, convirtiéndose en desordenado y dando lugar a que las moléculas choquen unas contra otras, produciéndose, por estos choques, un aumento de calor dentro del cuerpo que por conducción se transmite por todo él.

En definitiva, la energía que da lugar al movimiento de las moléculas es lo que se llama calor. La medida de esta actividad molecular es denominada temperatura.



Movimiento de moléculas



Temperatura

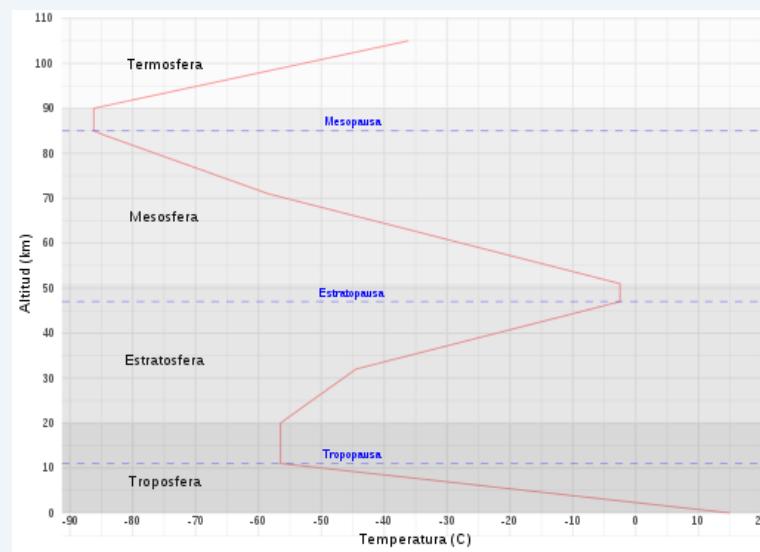


Temperatura

⌘ Gradiante térmico vertical

Se denomina gradiente térmico vertical, a la variación que experimenta la temperatura en un intervalo de elevación dado. La variación o gradiente en atmósfera ISA (atmósfera estándar) es de 2°C por cada 1000 pies o $6'5^{\circ}\text{C}$ por cada 1000 m. Este valor estándar rara vez coincide con el de la atmósfera real, ya que este depende de otros muchos factores, como día-noche, corrientes horizontales y verticales, posición geográfica, etc...

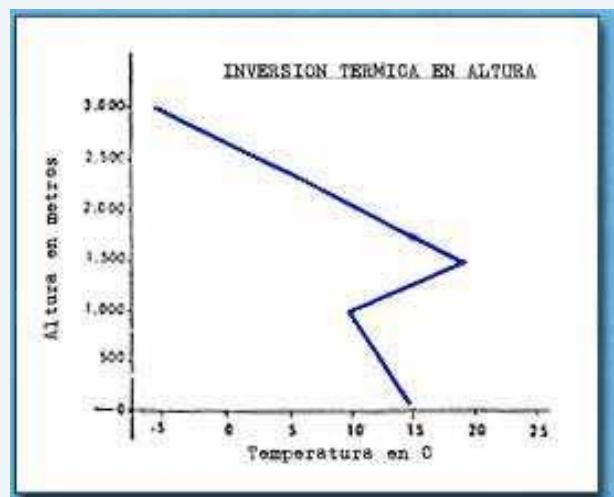
La temperatura desciende hasta los 36.000 pies de altitud, a partir de esta la temperatura permanece constante con un valor de $56'5^{\circ}\text{ C}$ bajo cero. La atmósfera ISA considera que a nivel del mar hay 15°C .



3 Temperatura

☒ Inversión térmica

Existe una inversión térmica cuando la temperatura del aire aumenta con la altura, en vez de disminuir como sería normal, lo cual quiere decir que el aire es mas caliente arriba que en las capas bajas. Este aumento de temperatura puede tener lugar inmediatamente por encima del suelo o bien a una determinada altura. En el primer caso se denomina inversión a nivel del suelo, y en el segundo, inversión en altura.



Temperatura



- Para operaciones con UAS se debe tener en cuenta la temperatura ambiente, ya que una disminución en la temperatura implica una disminución en la duración de la autonomía. Así mismo, se debe tener en cuenta en el vuelo del UAS que, al aumentar la temperatura las baterías pueden llegar a sobrecalentarse e incendiarse. Del mismo modo, cuando las temperaturas son muy elevadas el rendimiento de la aeronave no tripulada se reduce debido a la disminución de la densidad del aire.
- Se debe tener en cuenta el rango de temperatura de la operación, ya que con temperaturas muy bajas en determinadas situaciones se puede llegar a tener que precalentar las baterías.





Temperatura

En meteorología, las temperaturas que se miden normalmente son las siguientes:

- **Temperatura del aire o ambiente** es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura.
- **Punto de rocío (temperatura de punto de rocío)** es la temperatura a la cual el aire alcanza la saturación, es decir, se condensa. Esta temperatura es medida por medio del psicrómetro, que se utiliza para medir el contenido de vapor de agua en el aire.
- **Temperatura máxima** es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas.
- **Temperatura mínima** es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar entre las 06:00 y las 08:00 horas.



Visibilidad

La visibilidad se define como la distancia horizontal máxima a la que un observador puede ver o identificar un objeto sobre el cielo en el horizonte o, cuando se trata de observaciones nocturnas, podría ser visto e identificado si la iluminación general se aumentara hasta alcanzar la intensidad normal de la luz del día.

La presencia de los meteoros o factores que la limitan, como la niebla, la bruma, la calima, etc., reducen la visibilidad como se observa en la tabla.

METEORO	VISIBILIDAD	HUMEDAD	CONSTITUCIÓN
NIEBLA	< 1 Km	90-100%	agua o hielo
NEBLINA	1-2 Km	80-90%	agua o hielo
CALIMA	> 2 Km	< 80%	partículas sólidas
BRUMA	> 2 Km	< 80%	partículas sólidas
LLUVIA	< 3 Km	100 %	agua o hielo
LLOVIZNA	< 1 Km	100 %	agua o hielo





Visibilidad

☒ Medición de la visibilidad

Lo ideal para el piloto, sería conocer durante todo el vuelo, el valor que tiene la visibilidad. Desgraciadamente, el único dato que el meteorólogo puede proporcionar con certeza es la visibilidad existente sobre la superficie terrestre, medida en el dirección o direcciones que interesen para las operaciones de los aviones.

A continuación, se definen los diferentes modos de medir la visibilidad:

- **Visibilidad meteorológica**: es la mayor distancia horizontal a la que se puede ver e identificar los objetos previamente seleccionados.
- **Alcance visual de la pista (RVR = Runway Visual Range)**: es la mayor distancia a la que se puede ver la pista desde una posición situada a la altura en que queda la vista del piloto en la toma de tierra. Se considera que una altura de 5 m (16 pies) corresponde al nivel medio en que se encuentra el piloto en el momento del contacto. En la práctica, el alcance visual en la pista, no puede medirse directamente, desde el punto especificado en la definición, sino que es una evaluación de los que un piloto vería desde ese punto. Lógicamente no se incluirá esta información en los partes meteorológicos cuando la visibilidad tenga valores altos. Se debe de proporcionar cuando la visibilidad es menor de 2000 m de RVR.





Densidad del aire

Es la relación entre la masa un cuerpo y el volumen que ocupa. La densidad de cualquier cuerpo sea sólido, líquido o gaseoso **expresa la cantidad de masa del mismo por unidad de volumen ($d = m/v$)**.

- La densidad es **inversamente proporcional a la altura**, por tanto cuando ascendemos la densidad disminuye. Paralelamente a medida que ascendemos las presión atmosférica también va disminuyendo.
- Así mismo, la densidad también es **inversamente proporcional a la temperatura**, de tal forma que cuando la temperatura aumenta la densidad disminuye.

Esta propiedad en el aire es en principio mal asimilada por poco intuitiva, pues es cierto que la densidad del aire es poca si la comparamos por ejemplo con la del agua, pero es precisamente esta diferencia lo que hace el vuelo posible.

- Dado que con la altura cambian la presión y la temperatura, estas también afectan a la densidad.
- La disminución de la densidad trae también cosas positivas, la resistencia al avance disminuye por lo que el consumo lo hace de igual manera.



Densidad del aire

¿Qué es la brisa térmica?

Son vientos locales cuyo origen está en la diferencia de temperatura entre las superficies marinas y terrestres.

Brisa marina

En las costas, durante el día el la radiación solar calienta más fácilmente la tierra, ya que el agua tiene más inercia térmica. Por tanto la tierra está más caliente y el aire aumenta de presión lo que origina un desplazamiento de las masas altas de este hacia el mar. El vacío que se forma en la zona costera para recuperar el aire que se ha escapado por las zonas altas, produce un viento hacia la costa desde la mar. De esta manera se origina durante el día la brisa marina.

Brisa terrestre

Durante la noche, este movimiento de aire térmico se invierte, dado que la tierra se enfriá más rápidamente que la superficie del mar, y se produce un aumento de presión en la zona terrestre y una zona de baja presión sobre el mar. Es el aire seco proveniente de la tierra el que se adentra en el mar.

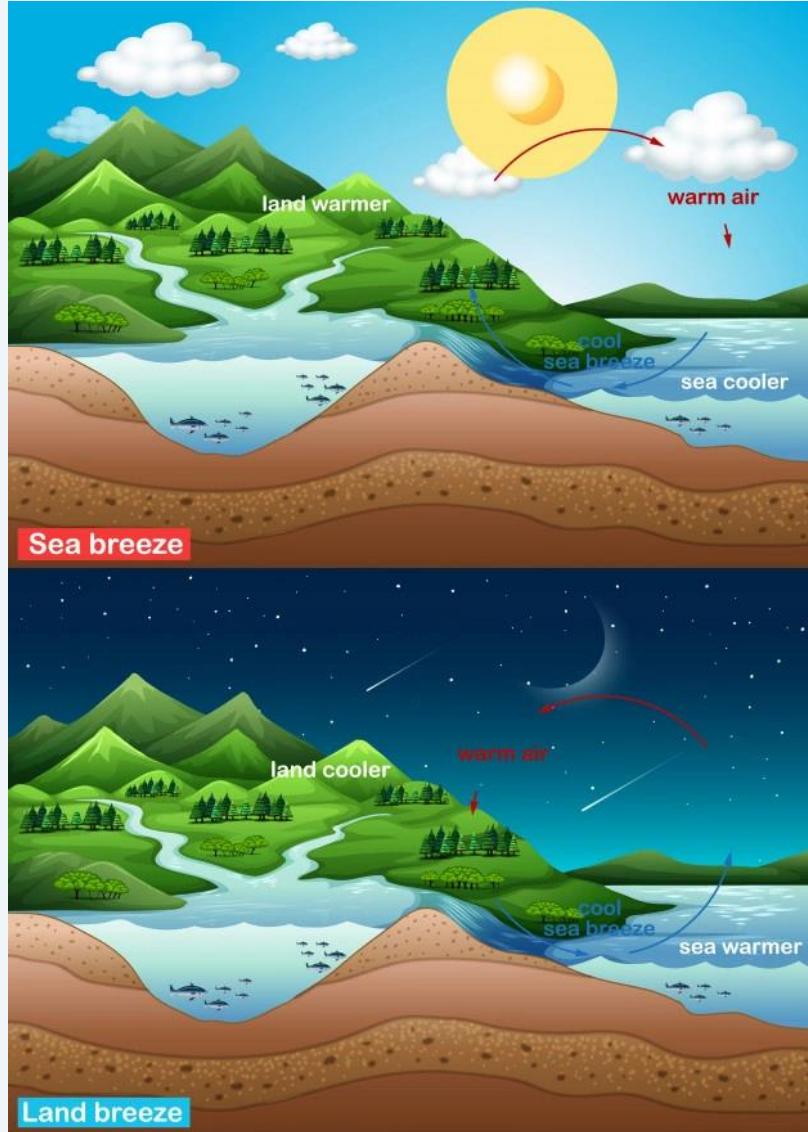


Imagen: freepik.com

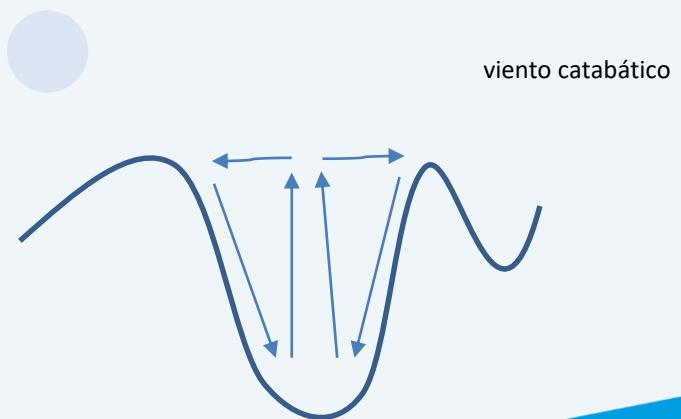
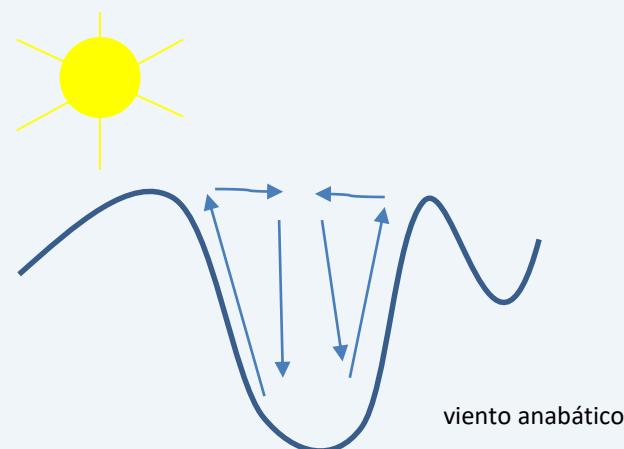
Densidad del aire

Viento anabático

También llamado ‘brisa de valle’, se produce tras calentarse las capas altas de una pendiente montañosa y producir movimiento del aire circundante, las capas bajas del valle más frías y húmedas, se eleva por una ladera y se condensa provocando la formación de nubes en la cima, por la convección térmica.

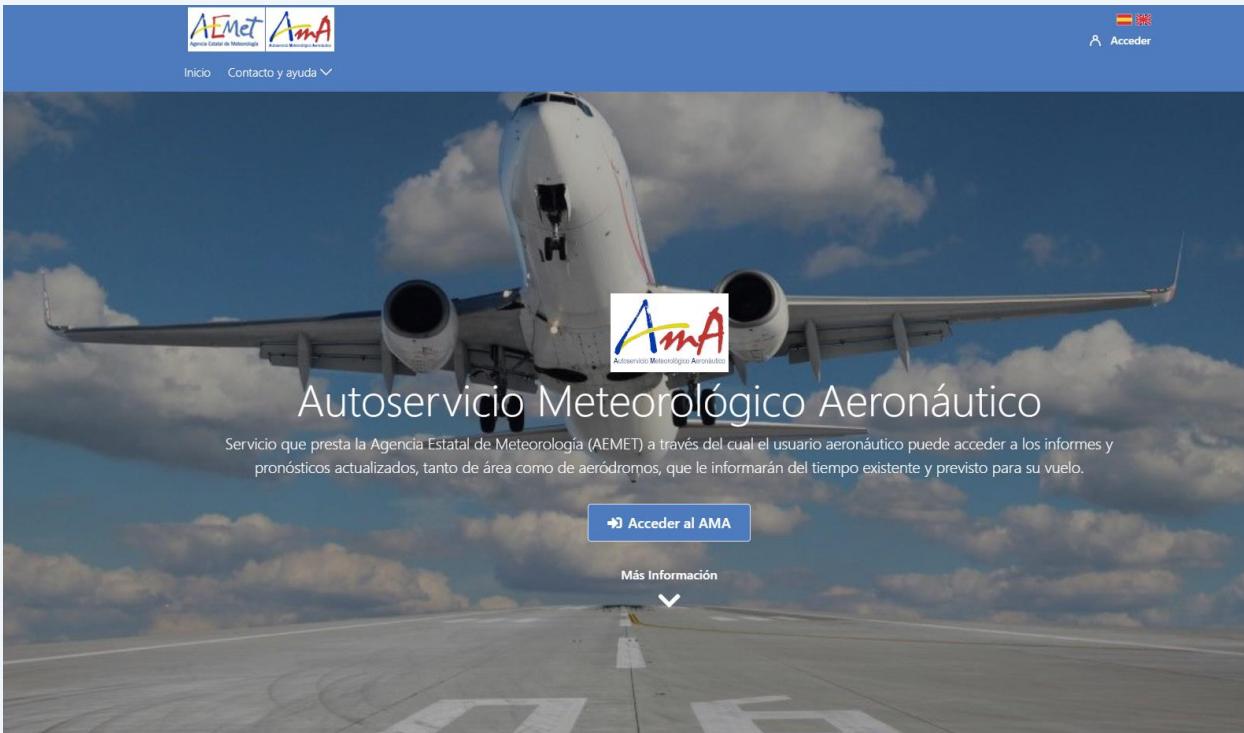
Viento catabático

También llamado ‘vientos de otoño’, suelen producirse a primeras horas de la noche, tras el descenso de la temperatura, la densidad aumenta y el aire fluye hacia abajo, produciéndose una calentamiento por compresión en el descenso del aire.



Obtención de predicciones meteorológicas

La responsabilidad de la obtención de las predicciones meteorológicas es únicamente del piloto a distancia de la aeronave no tripulada. Para ello, éste deberá consultar las fuentes oficiales disponibles, como por ejemplo, las aplicaciones de AEMET <https://ama.aemet.es/>



 Syllabus de formación en subcategoría A2

1) Meteorología:

- i. El efecto de las condiciones meteorológicas en el vuelo de una aeronave no tripulada:
 - a) Viento (ej. turbulencias, efectos en entornos urbanos, etc.);
 - b) Temperatura;
 - c) Visibilidad; y
 - d) Densidad del aire;
- ii. Obtención de predicciones meteorológicas;

2) Rendimiento de vuelo del UAS: 

- i. Envolvente operativa típica de un multirrotor, de una aeronave de ala fija y de un giroavión;
- ii. Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas:
 - a) Considerar la estabilidad global al instalar *gimbals* y carga útil;
 - b) Comprender las diferentes características de las cargas útiles y cómo afectan estas a la estabilidad de la aeronave no tripulada en el vuelo; y
 - c) Comprender que los diferentes tipos de UAS tienen diferentes CG;



- iii. Aseguramiento de la carga útil;
- iv. Baterías:
 - a) Comprender el funcionamiento de la fuente de alimentación para ayudar a prevenir posibles condiciones inseguras;
 - b) Familiarización con los diferentes tipos de baterías existentes;
 - c) Comprender la terminología usada para las baterías (ej. voltaje, capacidad, carga y descarga, C-rate, etc.); y
 - d) Comprender el funcionamiento de las baterías (ej. carga y descarga, instalación, uso, almacenaje, peligros, etc.); y

3) Atenuaciones técnicas y operacionales del riesgo en tierra:

- i. Función del modo de baja velocidad;
- ii. Evaluación de la distancia a personas no participantes en la operación;
- iii. Regla 1:1.





Envolvente operativa

❖ Ejes de vuelo

Se denominan ejes de vuelo a unas líneas imaginarias alrededor de las cuales puede girar una aeronave. Existen tres ejes perpendiculares entre sí, alrededor de los cuales puede moverse cualquier aeronave, cuyo punto de intersección está situado en el centro de gravedad de la misma.

- **Eje longitudinal:** se extiende desde el morro a la cola en una ala fija o de delante hacia atrás a través del cuerpo central en un multirrotor.
- **Eje lateral/transversal:** se extiende de punta a punta de las alas en un ala fija o de izquierda a derecha a través del fuselaje en un multirrotor.
- **Eje vertical:** está contenido en un plano que pasa por el centro de gravedad desde arriba hacia abajo de la aeronave.

❖ Movimientos de vuelo

Son los movimientos que realiza la aeronave alrededor de los ejes de vuelo y se denominan:

- **Alabeo:** movimiento alrededor del eje longitudinal.
- **Cabeceo:** movimiento alrededor del eje transversal.
- **Guiñada:** movimiento alrededor del eje vertical.



Envolvente operativa

Actuador / Superficies de control

Es el componente físico de la aeronave que hace moverse a la misma según cada eje.

- El movimiento de los sticks en la estación de control envía las señales a la central de control de vuelo.
- Este controlador envía la información necesaria a los actuadores o servos (ala fija) o a los controladores electrónicos de velocidad (ESCs) de cada motor (multirrotor), para que a su vez dirijan los motores para aumentar o disminuir la velocidad.

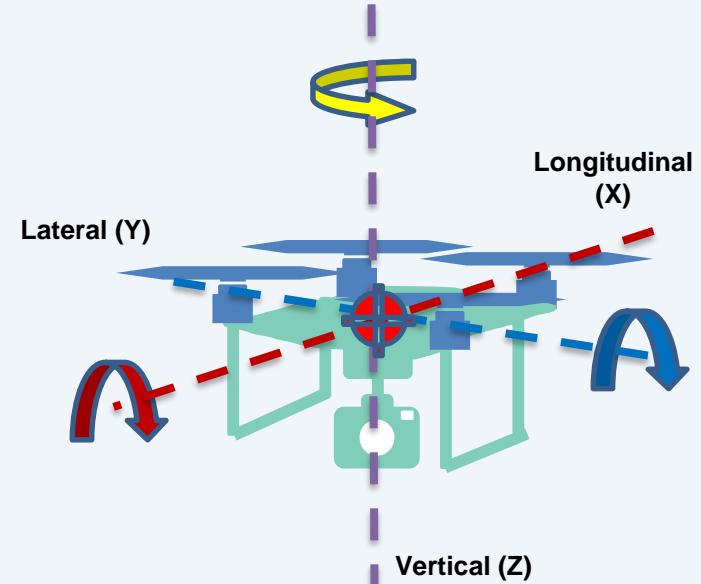


❖ Envolvente de multirrotor

Eje – Movimiento – Actuación



CENTRO DE GRAVEDAD



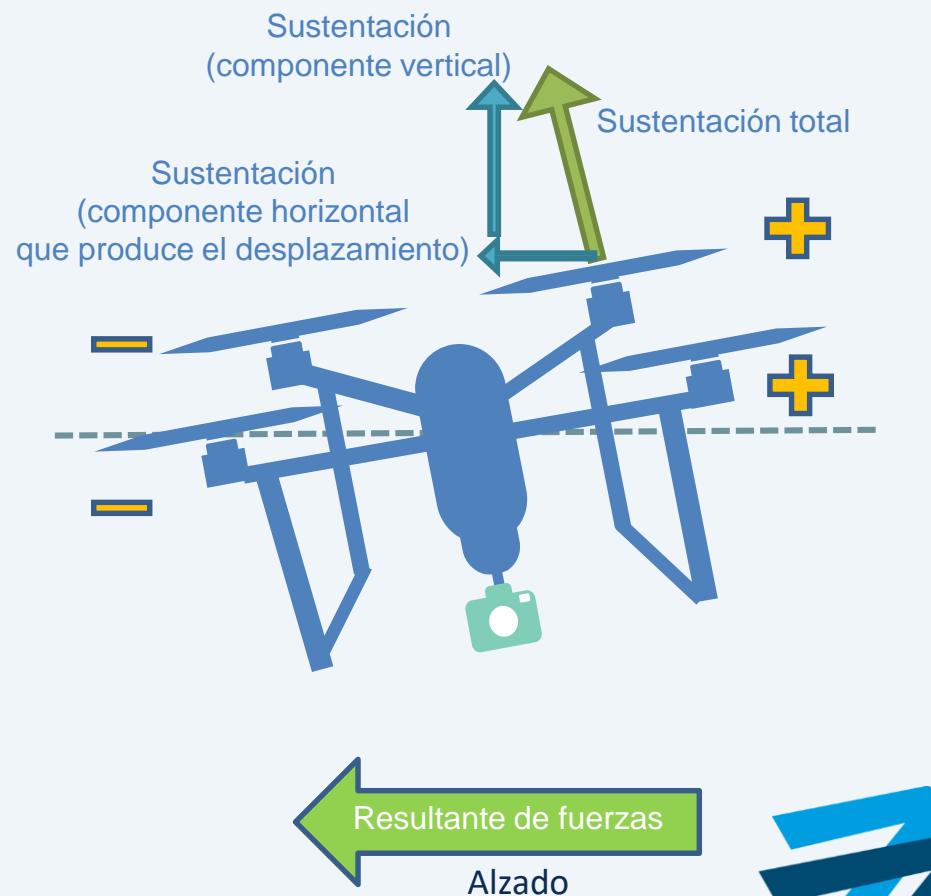
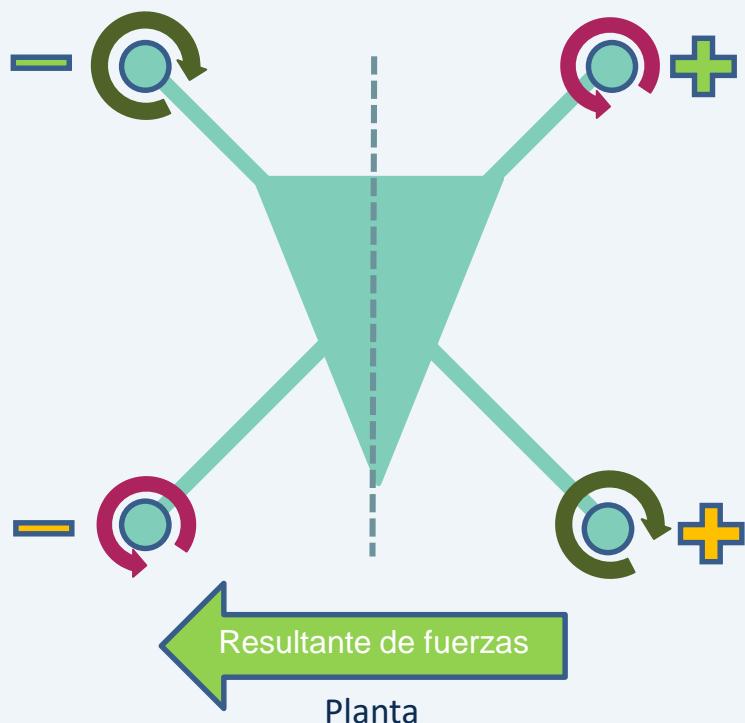
EJE	MOVIMIENTO	ACTUACIÓN
LONGITUDINAL (X)	ALABEO	Movimiento a izquierda o derecha, es decir, movimiento realizado alrededor del eje perpendicular al plano de los rotores.
LATERAL (Y)	CABECEO	Movimiento hacia delante y hacia atrás, es decir, movimiento realizado alrededor del eje transversal al plano de los rotores.
VERTICAL (Z)	GUIÑADA	Rotación o giro, es decir, el movimiento realizado alrededor del eje vertical al centro de gravedad.



❖ Envolvente de multirrotor

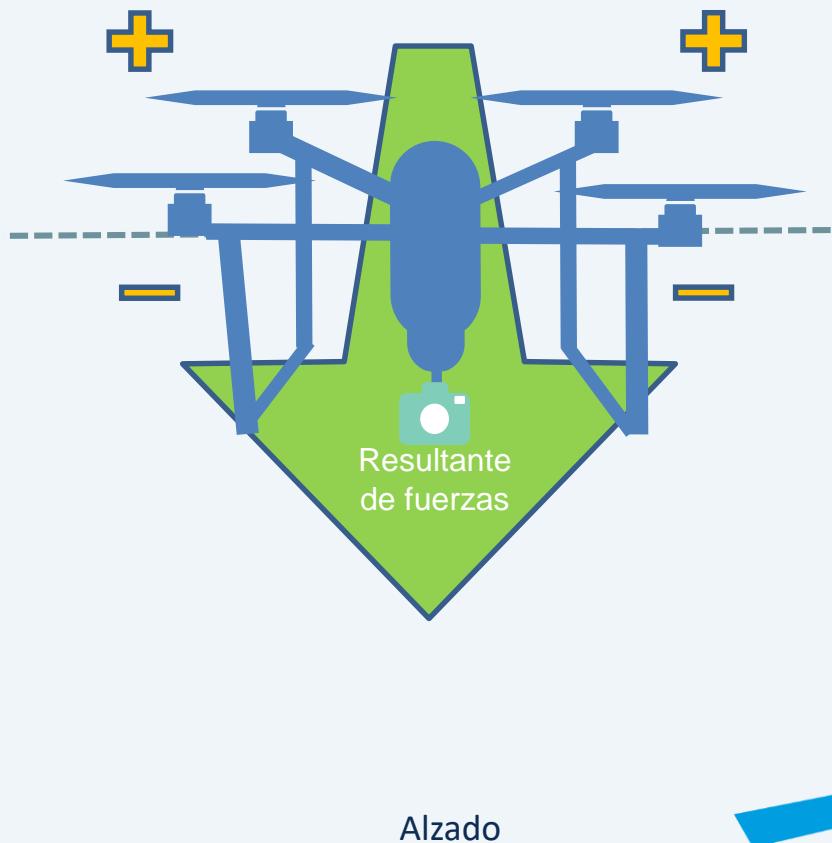
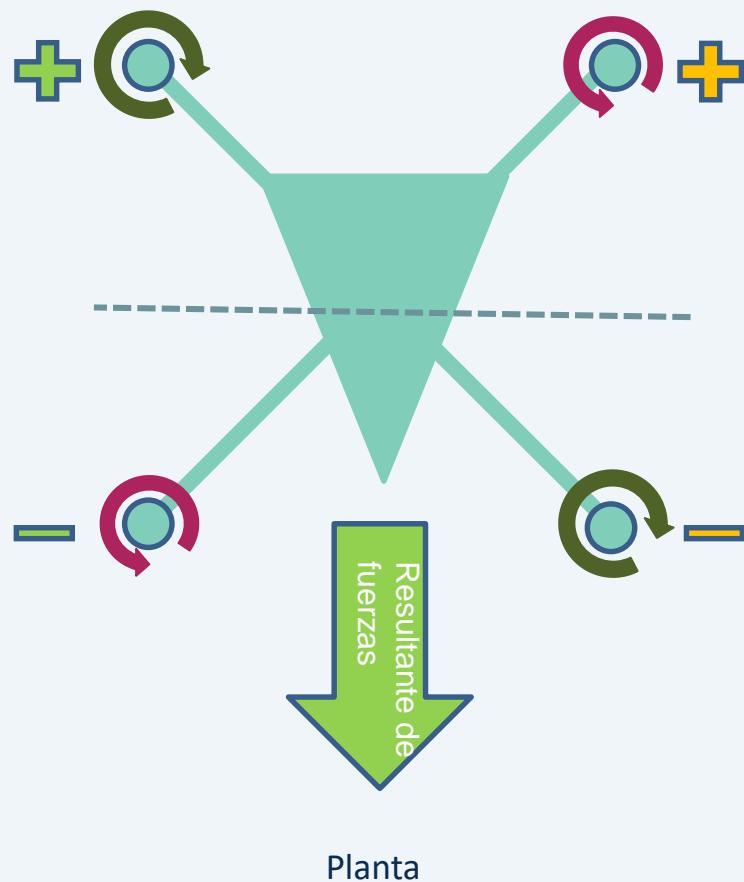
Para conseguir cualquier movimiento, la controladora varía la velocidad de dos motores para lograr una fuerza resultante que permita a la aeronave realizar el movimiento requerido. Para explicar los movimientos de un multirrotor, se va a tomar como referencia una configuración en X.

- Alabeo («Roll»): Si se aumenta la velocidad de los motores del plano izquierdo el multirrotor bascula hacia el lado derecho:



❖ Envolvente de multirrotor

- **Cabeceo («Pitch»):** Si se aumenta la velocidad de los motores traseros, el multirrotor bascula hacia adelante apareciendo una fuerza de avance tal y como se muestra en el dibujo. Igual que roll pero en otro eje del plano:

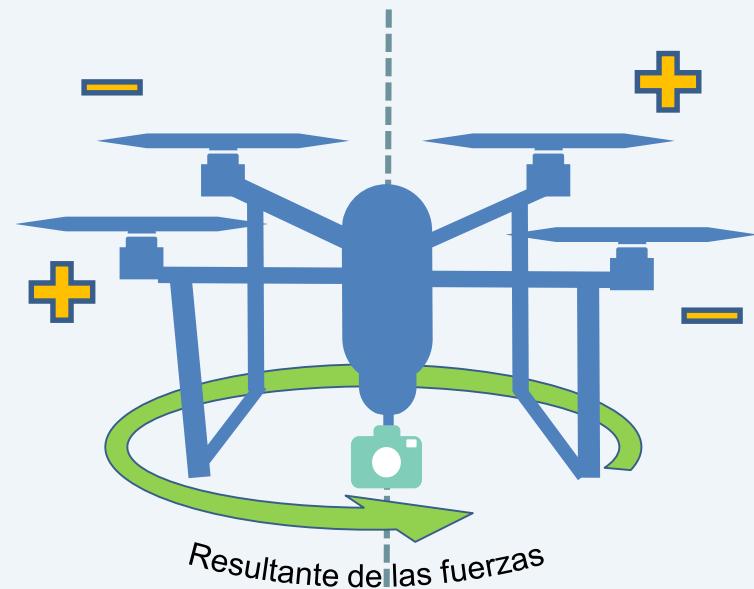


❖ Envolvente de multirrotor

- Guiñada («Yaw»): Si se aumenta la velocidad de dos motores diagonalmente opuestos, la componente del momento ya no quedará estabilizada con la otra diagonal, lo que produce un momento generalizado a la aeronave que es conocido como guiñada. Según el sentido de rotación de los motores pertenecientes a la diagonal en la que se aumentan las revoluciones, la guiñada será a izquierdas o a derechas.



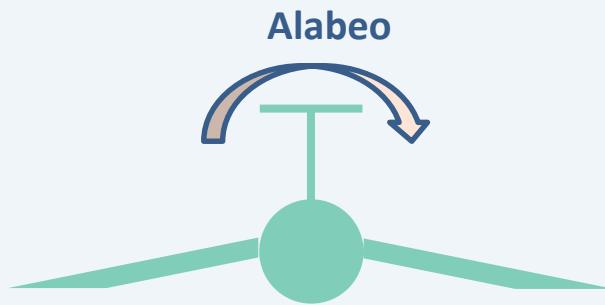
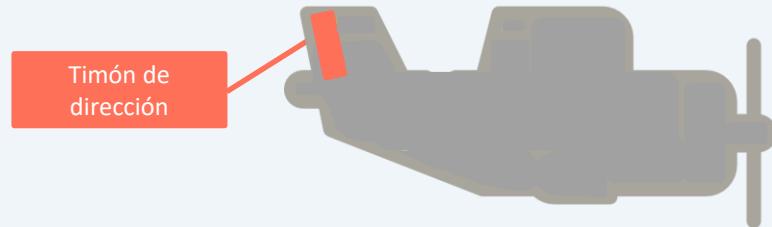
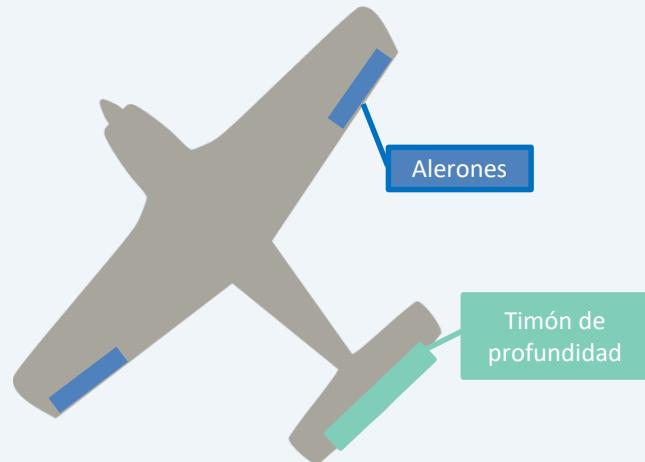
Planta



Alzado



❖ Envolvente de ala fija



EJE	MOVIMIENTO	ACTUACIÓN
LONGITUDINAL (X)	ALABEO	Alerones
LATERAL (Y)	CABECEO	Timón de profundidad
VERTICAL (Z)	GUIÑADA	Timón de dirección

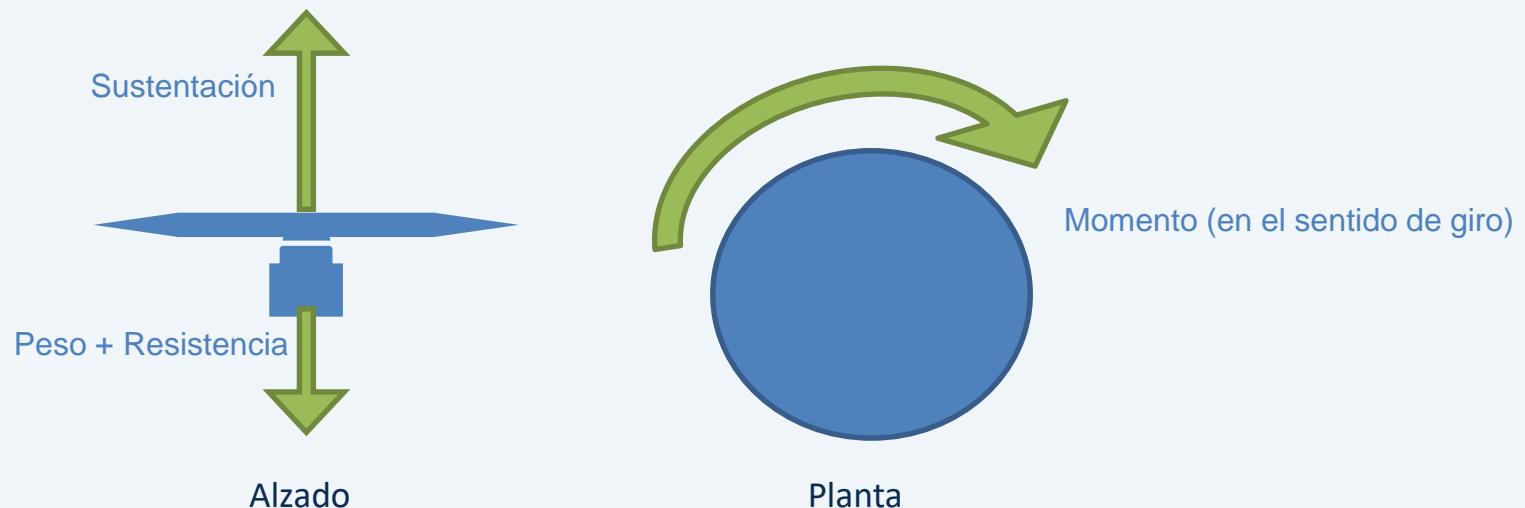


❖ Envolvente de giroavión

Fuerzas y momentos sobre un sistema propulsivo motor – hélice

Una hélice girando genera una fuerza aerodinámica de sustentación, además de las correspondientes fuerzas opuestas de peso y resistencia aerodinámica.

Además, también se genera un momento en el sentido de rotación del motor.



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

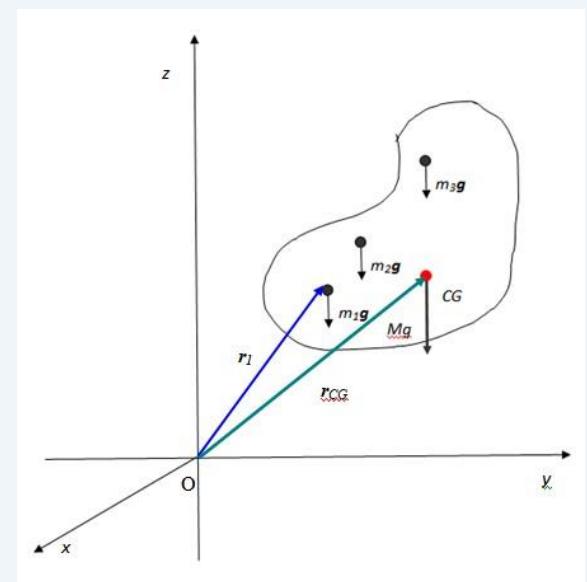
Centro de gravedad y equilibrio de masas

Sobre un UAS actúan diferentes tipos de fuerzas:

- Aerodinámicas (Sustentación y resistencia)
- Propulsivas (Empuje)
- Gravitatorias (Peso)

Las fuerzas se definen como una presión aplicada en una superficie, pero a efectos de simplificación de cálculos, se toman fuerzas puntuales (aplicadas en un único punto) cuyo efecto sobre el cuerpo es equivalente a la aplicación de presión en toda la superficie.

El punto en el que deben aplicarse las fuerzas puntuales para lograr esta equivalencia se denomina centro de gravedad (CG).



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

🔗 Estabilidad según la carga útil

Cuando la suma de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es nula, se dice que el cuerpo está en equilibrio y, por tanto, no tendrá movimiento.

La carga útil o carga de pago (*payload*) son aquellos elementos que pueden incorporarse a un UA, pero no son imprescindibles para su envolvente operativa y poder alzar el vuelo. La carga útil desplaza el centro de gravedad.

El objetivo es que el centro de gravedad siempre se mantenga centrado, de manera que el UA sea estable. Para ello el peso de la carga útil o el *gimbal* instalado deberá estar lo más alineado posible con el CG del UA.



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

🔗 Estabilidad según la carga útil

Según dónde se coloque la carga útil, el centro de gravedad del UA variará.

Hay que tener en cuenta:

- Si el CG es bajo, el UA realizará movimientos más lentos y suaves.
- Si el CG es alto, el UA realizará movimientos más rápidos y bruscos.
- Si el CG no coincide con el centro geométrico, el UA será inestable.



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

Estabilidad según la carga útil

Puede haber varios factores que afecten a la decisión de dónde colocar la carga útil.

Atendiendo solo a términos de estabilidad y teniendo en cuenta que el peso de la carga útil (por ejemplo, una cámara) es apreciable:



Inestable

La carga útil se encuentra descentrada/desplazada en exceso en el eje longitudinal (adelantado o atrasado) o en el eje lateral (desplazado a izquierda o derecha) y/o por encima del plano de las hélices en el eje vertical. Esta configuración desplaza el centro de gravedad del centro geométrico.



Estable suave

La carga útil está centrada en los ejes longitudinal y lateral del UA, y además, se encuentra situada por debajo del CG original del UAS. Es la configuración idónea y más estable.



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

Estabilidad en otros tipos de UA

En un UA de ala fija la estabilidad estática longitudinal viene dada por la relación de posición entre el CG y el centro aerodinámico, que es el punto en equivalente en el que se ejercerían todas las fuerzas de carácter únicamente aerodinámico si estas fuerzas fueran puntuales.

Para estudiar la estabilidad estática longitudinal, se considera una ráfaga con viento de cara que genera una perturbación en la aeronave.

Según la posición relativa entre el centro aerodinámico (CA) y el centro de gravedad (CG) se distinguen tres casos:

1) Posición del CG = Posición del CA

La perturbación aumentará la sustentación del avión. Al estar el CA en el mismo sitio que el CG, la fuerza total será vertical, haciendo que el UAS suba en altura. Se considera estabilidad neutra.



Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas

Estabilidad en otros tipos de UA

2) Posición del CG más adelantada que CA

La perturbación aumentará la sustentación del avión, haciendo que este levante el morro. Al estar el CG más adelantado, el peso del avión hará bajar el morro de nuevo volviendo a la posición inicial. Se considera estable.

3) Posición del CG más atrasada que CA

La perturbación aumentará la sustentación del avión, haciendo que este levante el morro. Al estar el CG más atrasado, el peso del avión contribuirá a seguir levantando el morro hasta que la aeronave entre en pérdida. Se considera inestable.





Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas



Estabilidad en otros tipos de UA

Atendiendo únicamente a criterios de estabilidad, cabe concluir que, para que un UA de ala fija sea estáticamente estable, lo ideal es que el CG se sitúe ligeramente por delante del CA.

Si el CG está demasiado adelantado respecto al CA (por ejemplo, en el morro del avión) tampoco será bueno, pues le costará despegar.

Teniendo en cuenta que el CA se ubica en el ala, el CG debería estar en el borde de ataque, aproximadamente. Es decir, en el inicio del ala.

La carga útil que se añada a un UA de ala fija debería situarse de manera que su CG coincida con el CG del UA.



Aseguramiento de la carga útil

La carga útil o carga de pago (*payload*) es la parte del UA que da sentido a la aeronave, pues es el motivo de que se realice una operación.

Las cargas útiles pueden ser cámaras, mercancía, altavoces, sensores....



Las cargas útiles pueden ser:

- Fijas.
- Intercambiables.

En ambos casos, es imprescindible comprobar antes de cada vuelo que se encuentren perfectamente aseguradas a la aeronave. Una carga útil mal asegurada no solo puede desprenderse de la aeronave con el riesgo que ello conlleva, sino que puede afectar al centro de gravedad del UAS generando inestabilidad en el vuelo.



Aseguramiento de la carga útil

Para asegurar la carga útil es importante tener en cuenta los conceptos previos sobre centro de gravedad y equilibrio de masas.

Si la carga útil es variable (por ejemplo, un depósito), se hace imprescindible asegurarla de manera que su afección al centro de gravedad de la aeronave sea mínima.

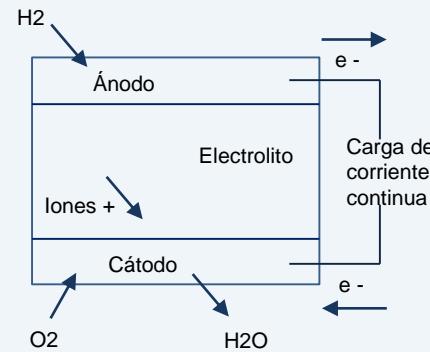
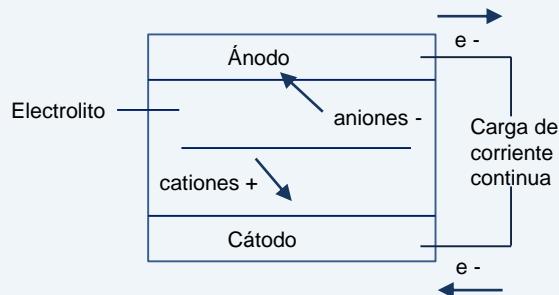
Sistemas de aseguramiento de la carga útil van desde uniones atornilladas, sistemas con apertura/cierre, hasta sistemas más complejos, como silentblocks que reducen las vibraciones o mecanismos integrados propios de cada UAS.



 Baterías Funcionamiento de la fuente de alimentación

Una batería es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química almacenada en energía eléctrica de corriente continua.

- En medio de la célula, iones cargados positivamente migran a un electrodo llamado cátodo a través de un electrolito. En la otra mitad de la célula, los iones cargados negativamente migran al electrodo llamado ánodo a través de un electrolito, como se muestra en la Figura. Una carga eléctrica se puede colocar entre los cables de la batería.
- Las baterías operan con un ciclo termodinámico cerrado.



 Baterías Tipos de baterías

- Las baterías pueden ser de uso recargable o individual. Las pilas no recargables se conocen como primarias, y las baterías recargables se llaman secundarias.
- Las células primarias pueden tener características de rendimiento superior y puede ser la mejor opción para un único uso de avión eléctrico. El coste de reemplazar las baterías es generalmente prohibitivo para usos múltiples en UAS, y así las baterías secundarias se utilizan para estas aplicaciones.

PILA PRIMARIA

- No recargable
- Ciclo de vida único
- Un solo circuito de batería
- Producen poca energía eléctrica
- Es duradera
- Comunes: Leclanché o pila seca y la batería de mercurio.

PILA SECUNDARIA

- Recargable
- Ciclo de vida múltiple
- Contiene de 3 a 6 circuitos de batería
- El más común, plomo-acido (para automóviles)
- Corriente eléctrica extremadamente alta.
- Se agota rápidamente.

Ambas pilas funcionan gracias al proceso
REDOX



 Baterías Tipos de baterías

Principales tipos y características de baterías secundarias (recargables):

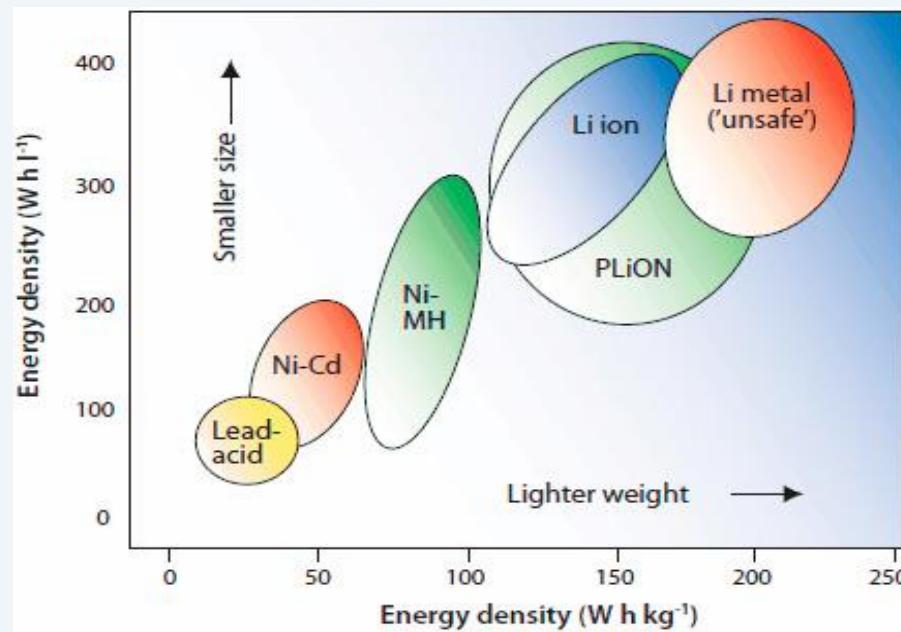
Tipo de batería	Energía específica teórica W-hr/kg	Energía específica práctica W-hr/kg	Potencia específica W/kg	Tensión de voltaje V
Ácido de plomo (Pb/acid)	170	30-50	180	1,2
Níquel-cadmio (NiCd)	240	60	150	1,2
Níquel-hidruro metálico (NiMH)	470	23-85	200-400	0,94-1,2
Ión-litio (Li-Ion)	700	100-135	250-340	3,6
Polímero-litio (Li-Po)	735	50,7-220	200-1900	3,7
Azufre-litio (LiS)	2550	350	600-700	2,5



⚡ Baterías

❖ Tipos de baterías

- La densidad energética es la cantidad de energía que ofrece una batería en relación a su densidad (peso y tamaño).
- De las baterías existentes actualmente, las que ofrecen mayor densidad energética son las Litio metal, pero son muy inestables y peligrosas.
- El siguiente grupo está compuesto por baterías Lilon y LiPo (las más usadas en UAS).





Baterías

❖ Baterías LiPo

- Las baterías LiPo (Polímero de Litio) son un tipo de batería recargable que suelen utilizar los sistemas eléctricos de radiocontrol, especialmente en aeronaves.
- Cuando comparamos con las baterías de Níquel-Cadmio (NiCd) y Níquel-Hidruro Metálico (NiMH), las baterías LiPo tienen 3 ventajas importantes que hacen a estas baterías la elección perfecta para los vuelos de radiocontrol:
 1. Las baterías LiPo son más estables durante el proceso de carga.
 2. Las baterías LiPo tienen gran densidad energética lo que significa que almacenan más energía en un tamaño reducido.
 3. Las baterías LiPo tiene una tasa de descarga alta para alimentar los sistemas eléctricos más exigentes.





Baterías

❖ Baterías LiPo

- Sin embargo, presentan problemas de seguridad a causa del electrolito volátil, pudiendo deflagrar.
- Además, las baterías LiPo de radiocontrol requieren un cuidado único y adecuado para que duren mucho tiempo más que cualquier otra tecnología. La carga, la descarga y almacenamiento afecta a la esperanza de vida de la batería.
- A diferencia de las baterías NiCd o NiMH que contienen celdas de 1.2 voltios, las baterías LiPo tienen celdas de 3.7 voltios nominales, 4.2 voltios cuando están totalmente cargadas.

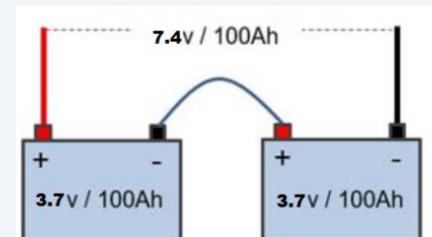




Baterías

☒ Voltaje

- La nomenclatura habitual para indicar el voltaje que presenta la batería viene dado por el número de celdas conectadas en serie haciendo referencia a su voltaje nominal de 3.7V. Es decir, si la batería tiene 7.4V, quiere decir que se han conectado dos celdas de 3.7V en serie, por tanto la batería se indicará como 2S. A continuación se incluyen más ejemplos:
 - Batería de 3.7V = 1 celda x 3.7 voltaje (1S)
 - Batería de 11.1V = 3 celdas x 3.7 voltaje (3S)
 - Batería de 22.2V = 6 celdas x 3.7 voltaje (6S)



Batería 2s

Dos baterías conectadas en serie equivale a una batería cuyo voltaje es la suma de los voltajes de las dos baterías y su capacidad es la misma. Es importante que la capacidad de las dos baterías conectadas en serie sea igual.

La conexión en serie se realiza conectando el polo negativo de una batería con el positivo de la siguiente, quedando el positivo y negativo extremos del conjunto como los polos de la batería equivalente.





Baterías



Capacidad

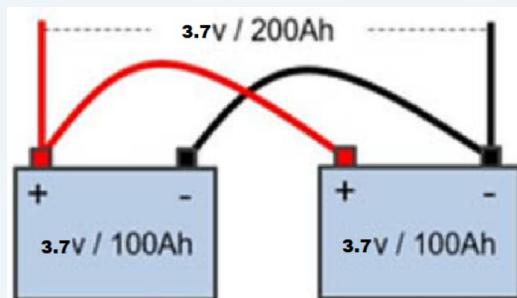
- La capacidad indica cuánta energía puede albergar la batería y se indica en miliamperios-hora (mAh). Esta es una manera de indicar la cantidad de electricidad medida en miliamperios que puede dar la batería durante 1 hora para que se descargue completamente.
- Por ejemplo una batería LiPo con capacidad de 2000mAh podrá ofrecer 2000mA y tardará 1 hora en descargarlos de manera constante. Sin embargo, si el UA solo necesitase 1000mA constantes, tardaría 2 horas en agotarse la batería.
- Lo principal es que si quieras más tiempo de funcionamiento necesitas aumentar la capacidad de la batería. A diferencia del voltaje, la capacidad puede cambiar para dar más o menos tiempo de uso.
- Por supuesto con unas restricciones de tamaño y peso, la capacidad de la batería está limitada. Cuanta mayor capacidad tiene la batería, mayor será su peso y su tamaño.



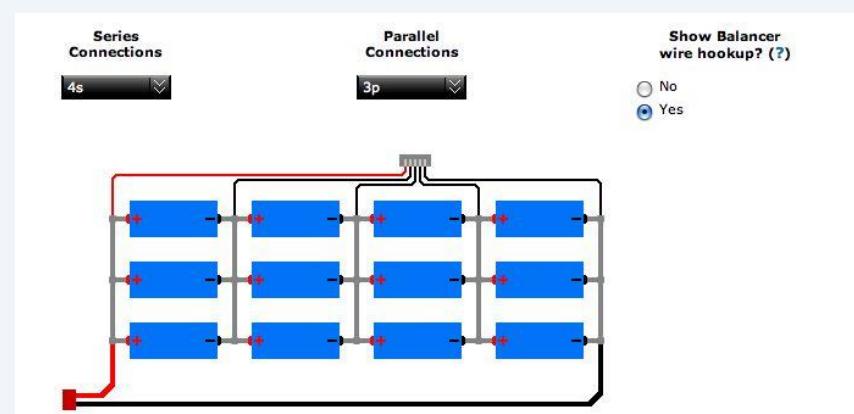
Baterías

❖ Capacidad

- Dos baterías conectadas en paralelo equivale a una batería cuyo voltaje es el mismo y, la capacidad es la suma de capacidades de las dos baterías.
- La conexión en paralelo se indica con la letra “p” y se realiza conectando los polos negativos entre ellos y los polos positivos también entre sí, resultando en un único polo positivo y otro negativo.
- También se pueden combinar conexiones en serie y en paralelo.



Batería 2p



Batería 4s3p



 Baterías C-Rate

- Otra propiedad importante de las baterías LiPo es la tasa de descarga. La tasa de descarga es simplemente cuánta corriente eléctrica es capaz de proporcionar de manera continua sin ser dañada.
- Esta tasa de descarga se denomina "C". Una batería con una tasa de descarga de 10C se descarga a un ritmo de 10 más que la capacidad de la batería, 15C = 15 veces, 20C = 20 veces, y así sucesivamente.
- Una batería de 1000mAh y 15C podrá ofrecer 15A de manera continua sin ser dañada ($1000\text{mA} \times 15\text{C} = 15\text{A}$)
- Una batería de 2500mAh y 30C podrá ofrecer 75A de manera continua sin ser dañada ($2500\text{mA} \times 30\text{C} = 75\text{A}$)

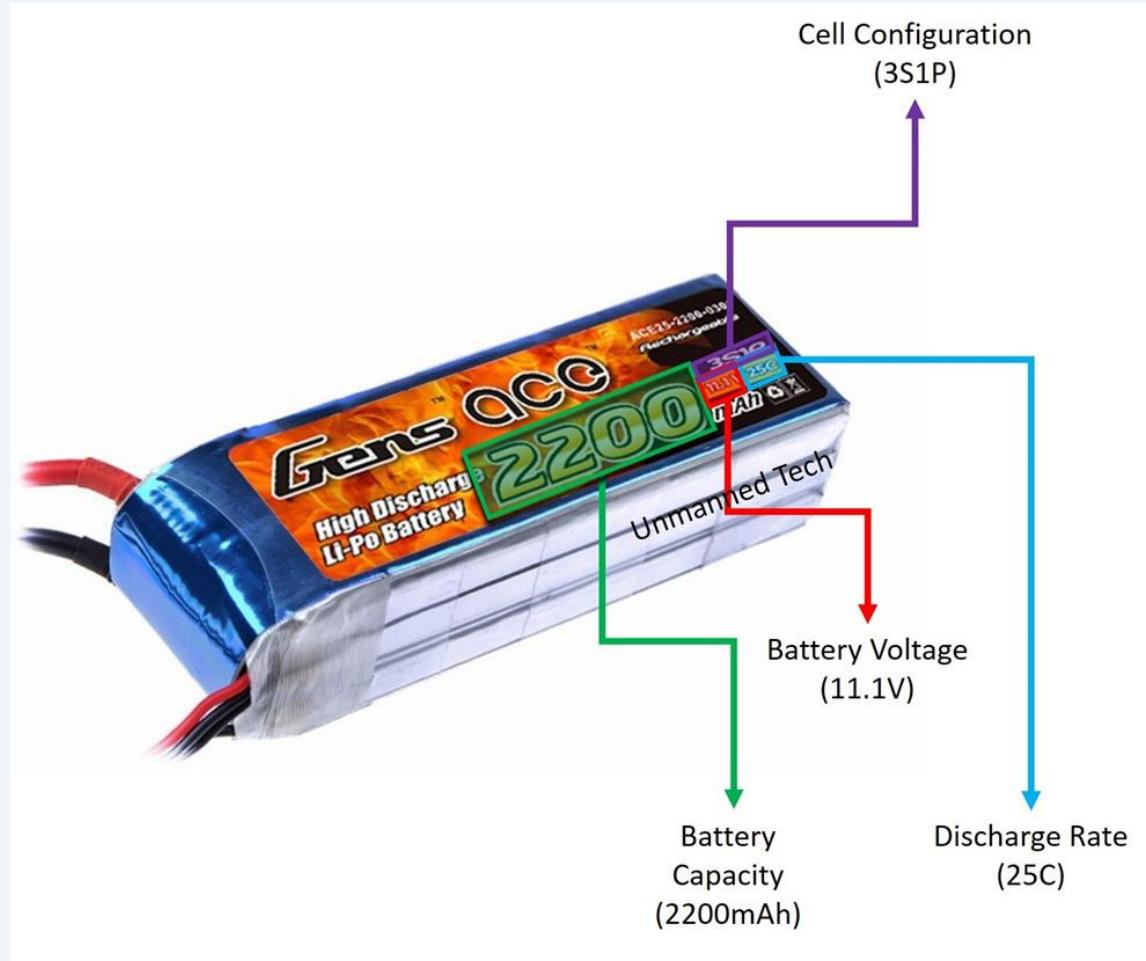




Baterías



C-Rate



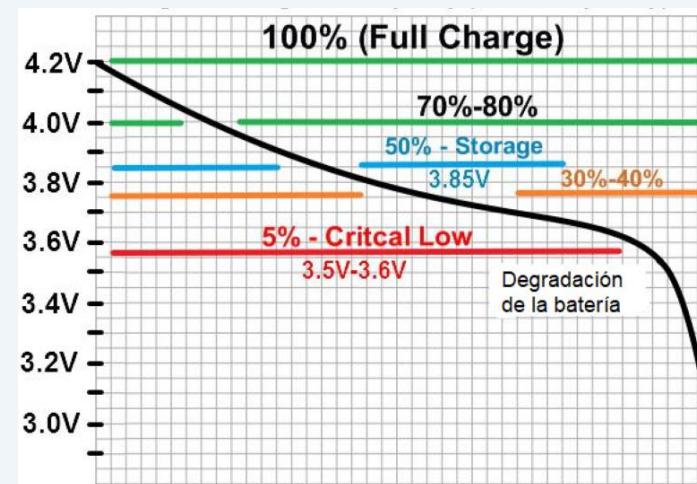
 Baterías Carga y descarga

- Seleccionar una corriente de carga correcta es crítico cuando se carga una batería LiPo.
- La regla generalmente utilizada es nunca cargar una LiPo a más de 1 vez su capacidad (1C).
- Por ejemplo una batería de 2000 mAh, debería cargarse como máximo a una corriente de 2000 mA (2A).
- Las baterías con más de 1 celda (2s o más) deben cargarse teniendo en cuenta el voltaje de cada celda. Esto se denomina equilibrado y es una función de los cargadores de LiPo. No conviene que unas celdas estén más cargadas que otras, puesto que desequilibraría el voltaje entre celdas y, por tanto, la conexión en serie entre celdas ya no sería con elementos del mismo voltaje, requisito de este tipo de conexión. Si esto llega a ocurrir con una diferencia de $\pm 0.2V$, la batería comienza a ser peligrosa y habrá que tomar precauciones con ella.
- Las tres cosas principales que acortan la vida de la batería son:
 - Calor
 - Sobredescarga
 - Equilibrado inadecuado



 Baterías Carga y descarga

- En el otro extremo se encuentra la sobredescarga.
- Las celdas de LiPo no deben bajar de 3.3V, siendo a partir de 3.0V cuando comienzan a degradarse y perder sus cualidades.
- Si una batería está demasiado descargada, conviene cargarla hasta 3.8V/celda para almacenarla. Este es el punto de equilibrio o almacenaje.
- Las baterías inteligentes tienen resistencias internas que automáticamente bajan el voltaje (pero no lo suben) de la batería hasta el punto de equilibrio desprendiendo calor.
- Si la batería no es inteligente, conviene utilizar un cargador con balanceo para almacenar las baterías a 3.8V/celda.





Baterías

❖ Funcionamiento de las baterías

Las baterías descargan corriente eléctrica a demanda del sistema que consume dicha energía. Por tanto:

- Hay que evaluar cuánto consume dicho sistema
- Se debe elegir una batería capaz de suministrar dicha energía
- Hay que valorar cuánto tiempo durará la batería suministrando electricidad al sistema.

Ejemplo funcionamiento baterías

Enunciado

Se dispone de un UAS de 2 kg en configuración hexacóptero y se obtiene de las especificaciones que cada motor levanta 0.5 kg consumiendo 10A. Si cada motor levanta 0.5kg, los 6 motores del hexacóptero levantarán 3 kg. El UAS pesa 2 kg, por lo que podemos utilizar una batería de máximo 1 kg.



 Baterías Funcionamiento de las bateríasConclusiones

1. El consumo de los 6 motores para levantar esos 3 kg será 60A.
2. Si utilizamos una batería 4s1p de 3000mAh y 10C, la descarga continua será de 30A (3000mA por 10C), por lo que no será capaz de alcanzar los 60A necesarios por el UAS.
3. Necesitamos buscar una batería con más descarga (mayor “c”) o más capacidad. Ya sabemos que la capacidad incrementa el peso, y solo disponemos de 1kg.
4. Probaremos con una 4s1p de 3000mAh y esta vez 30C. Ahora la descarga continua será de 90A, ya nos cubre los 60A requeridos.
5. Esta batería es capaz de ofrecer 3A durante 1 hora, pero necesitamos 60A, por lo que haciendo el cálculo, esta batería durará 3 min. Es bastante poco, así que convendría aumentar la capacidad (esto permite bajar el C-rate).
6. La definitiva será una batería 4s1p de 7000mAh y 10C. Descarga continua de 70A y autonomía de 7 min. Solo faltaría asegurarse que pesa menos de 1kg para que todo encaje.
7. Nota: El voltaje no se varía (siempre es 4s) pues es un requisito del UAS que funcione a ese voltaje.



 Baterías

☒ Deshecho de las baterías

- Cuando una batería esté hinchada, con celdas desequilibradas, se haya descargado alguna celda por debajo de 3.3V o sospeche que pueda ser una batería peligrosa, debe desecharla inmediatamente.
- Para deshacerse de una batería debe introducirla en un recipiente con agua y sal.
- Esto hará que la batería se descargue por completo y deje de ser peligrosa.
- Posteriormente debe llevarla al punto de reciclaje de baterías disponible en su punto limpio más cercano.



Buscador de punto limpio: <https://punto-limpio.info/>



 Baterías

❖ Recomendaciones de uso

1. No descargar las baterías más de 3.3V por celda.
2. No cargar las baterías a más de 1C.
3. Utilizar siempre el modo balanceo si las baterías no son inteligentes.
4. Almacenar siempre las baterías en su punto de equilibrio (3.8V/celda).
5. No exponer las baterías a altas temperaturas.
6. Disponer las baterías en el UAS con un sistema de refrigeración.
7. Guardar las baterías en bolsas ignífugas.
8. Dejar reposar la batería durante al menos 15 min entre carga-uso.
9. No dejar la zona de carga desatendida durante el proceso de carga.
10. Instala un detector de humos en la zona de carga.
11. Llevar un extintor siempre que se usen baterías LiPo.
12. No utilizar baterías hinchadas.
13. Desechar baterías peligrosas.

 Syllabus de formación en subcategoría A2

1) Meteorología:

- i. El efecto de las condiciones meteorológicas en el vuelo de una aeronave no tripulada:
 - a) Viento (ej. turbulencias, efectos en entornos urbanos, etc.);
 - b) Temperatura;
 - c) Visibilidad; y
 - d) Densidad del aire;
- ii. Obtención de predicciones meteorológicas;

2) Rendimiento de vuelo del UAS:

- i. Envolvente operativa típica de un multirrotor, de una aeronave de ala fija y de un giroavión;
- ii. Centro de gravedad (CG) y equilibrio de masas:
 - a) Considerar la estabilidad global al instalar *gimbals* y carga útil;
 - b) Comprender las diferentes características de cargas útiles y cómo afectan estas a la estabilidad de la aeronave no tripulada en el vuelo; y
 - c) Comprender que los diferentes tipos de UAS tienen diferentes CG;



- iii. Aseguramiento de la carga útil;
- iv. Baterías:
 - a) Comprender el funcionamiento de la fuente de alimentación para ayudar a prevenir posibles condiciones inseguras;
 - b) Familiarización con los diferentes tipos de baterías existentes;
 - c) Comprender la terminología usada para las baterías (ej. voltaje, capacidad, carga y descarga, C-rate, etc.); y
 - d) Comprender el funcionamiento de las baterías (ej. carga y descarga, instalación, uso, almacenaje, peligros, etc.); y

3) Atenuaciones técnicas y operacionales del riesgo en tierra:

- i. Función del modo de baja velocidad;
- ii. Evaluación de la distancia a personas no participantes en la operación;
- iii. Regla 1:1.



Riesgo en tierra

Se define el riesgo en tierra de una operación con UAS como el riesgo de que una persona sea golpeada por la aeronave no tripulada en caso de pérdida de control.

Existen una serie de factores que determinan el riesgo en tierra de una operación, estos pueden ser, entre otros:

1. La dimensión característica máxima de la aeronave no tripulada.
2. Operación dentro o más allá del alcance visual
3. La densidad de población en la zona de operaciones



Riesgo en tierra

❖ Evaluación del riesgo en tierra

En relación a las atenuaciones técnicas y operacionales del riesgo en tierra, antes de una operación el piloto a distancia debe considerar:

1. La existencia de obstáculos en el entorno operativo;
2. La dirección y velocidad del viento; y
3. La existencia de lugares seguros para el despegue y aterrizaje.

❖ Medidas de atenuación

Entre las medidas de atenuación del riesgo en tierra podemos destacar:

1. La instalación de un sistema de limitación de la energía de impacto (paracaídas instalados en el UAS);
2. Que la operación se lleve a cabo en una zona de operación controlada;
3. Definir una zona de contingencia o una zona de prevención de riesgos en tierra; y
4. Que el UAS disponga de una función de vuelta a casa (RTH).



Riesgo en tierra

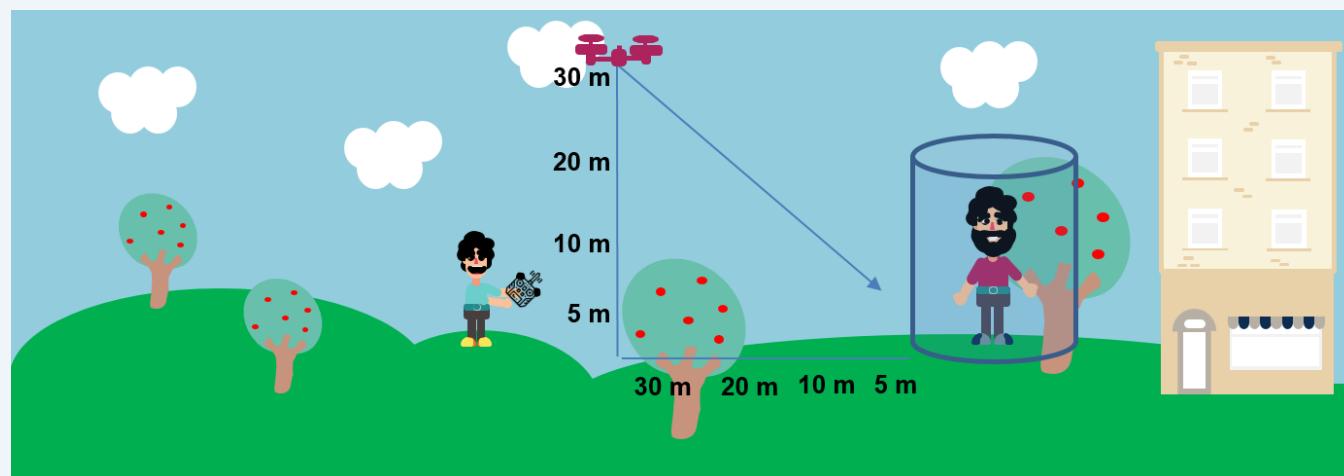
❖ Función del modo de baja velocidad

Se considera que una aeronave no tripulada está volando en modo de baja velocidad cuando la velocidad máxima permitida es de 3 m/s



Si se realiza un vuelo en la subcategoría A2 sin activar el modo de baja velocidad, la distancia mínima de seguridad horizontal con personas no participantes en la operación será de 30 metros

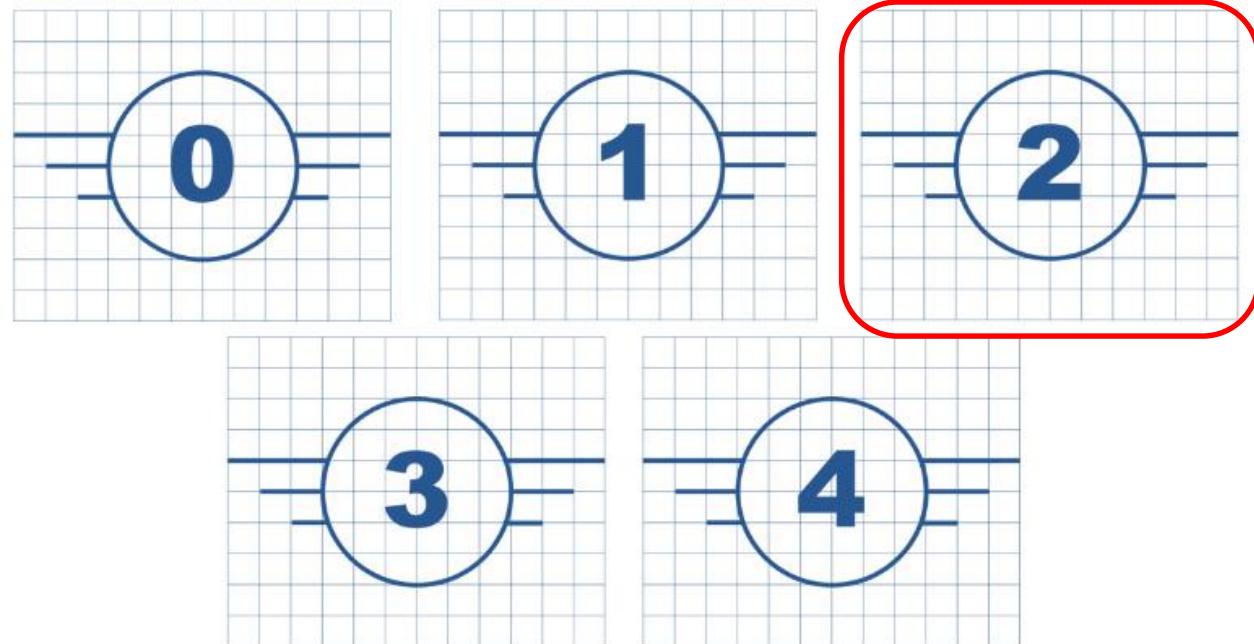
Si se realiza un vuelo en la subcategoría A2 con el modo de baja velocidad activado la distancia mínima de seguridad horizontal con personas no participantes en la operación se calculará siguiendo la regla 1:1 (nunca menos de 5m).



⚡ Riesgo en tierra

❖ Función del modo de baja velocidad

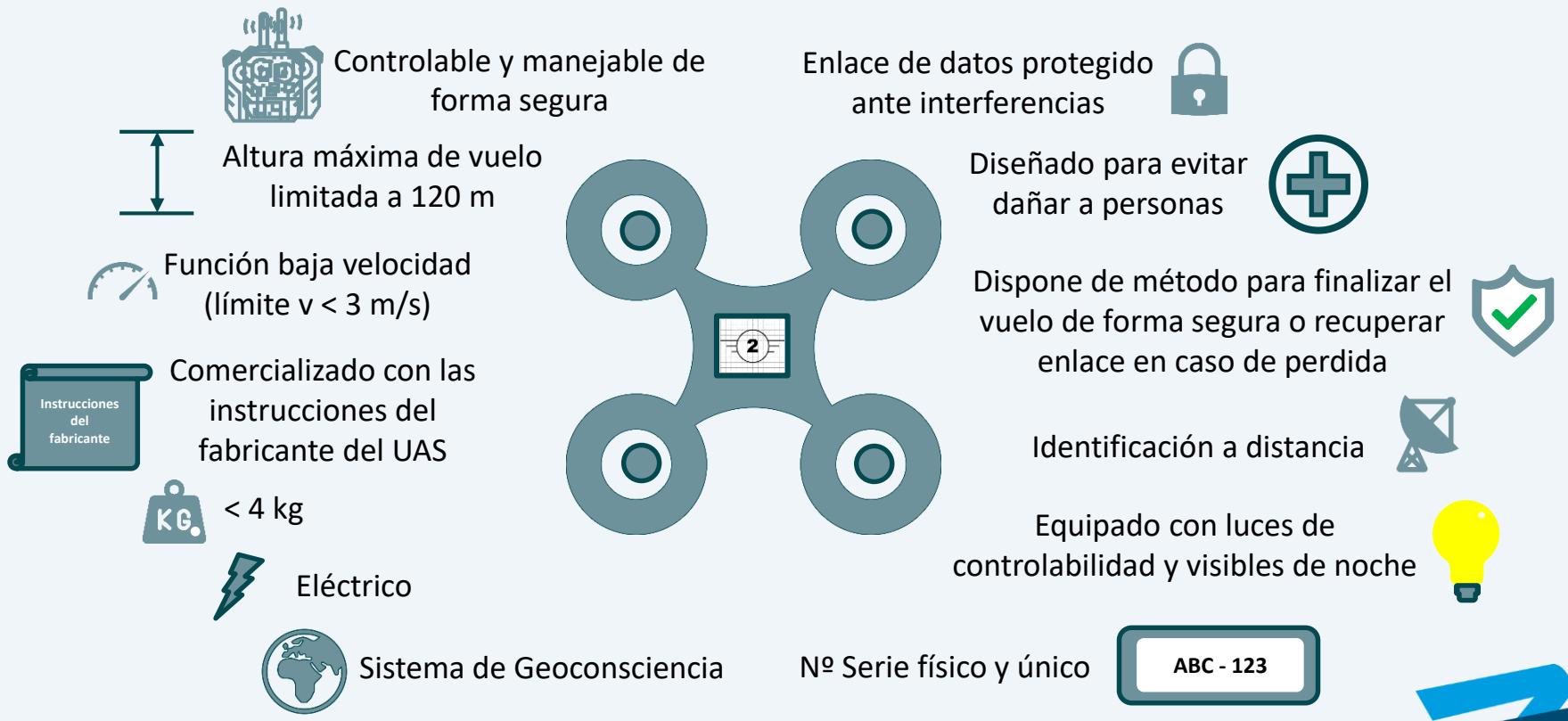
La etiqueta de identificación de clase permitida para las operaciones en subcategoría A2 es C2.



Riesgo en tierra

❖ Función del modo de baja velocidad

Los vuelos en la subcategoría A2 de la categoría «abierta» se podrán realizar con los UAS que tengan etiqueta de identificación de clase C2 y deben cumplir los siguientes requisitos:



⚡ Riesgo en tierra

❖ Función del modo de baja velocidad

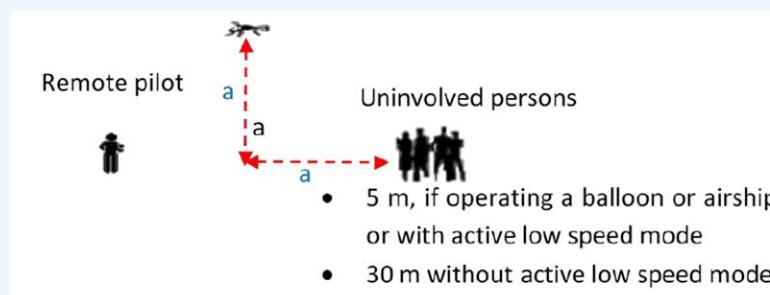


- PERIODO TRANSITORIO

Debido a que aún no existen UAS con etiqueta de identificación de clase, se establece un periodo transitorio hasta el 31 de diciembre de 2023 en el que se pueden utilizar UAS sin etiqueta de identificación de clase en A2 siempre y cuando su MTOM sea inferior a 2 kg.

- EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA

Las operaciones en A2 son aquellas en las que se vuela cerca de personas ajenas a la operación manteniendo una distancia de seguridad de 30m (reducibles a 5m si la función del modo baja velocidad está activada).



Riesgo en tierra

❖ Función del modo de baja velocidad



Como se puede observar en el gráfico de la izquierda, sin el modo activado de baja velocidad del UA, tanto la altura como la distancia horizontal más cercana a una persona no participante en la operación, siempre debe ser mayor a 30 m.



Riesgo en tierra

Evaluación de la distancia a personas no participantes

- Ejemplos de personas que se consideran **NO PARTICIPANTES** en la operación:
 1. Personas sentadas en un parque en la zona de operaciones
 2. Personas presentes en un festival de música, informados a través de una declaración en el ticket de entrada
 3. Personas presentes en la zona de operaciones, pero que no quieren participar en ella
- Ejemplos de personas que se consideran **PARTICIPANTES** en la operación:
 1. Un observador de aeronave no tripulada situado junto al piloto
 2. Un trabajador del operador de UAS que está bloqueando el acceso a la zona de operaciones



Riesgo en tierra

Regla 1:1



La regla 1:1 es una sencilla pero útil forma de recordar cual es la distancia que el UA debe mantener respecto a las personas no participantes.

- Hasta los 30m de altura, la distancia horizontal mínima debe ser 30m.
- Si el modo baja velocidad está activado, hasta los 5m de altura, la distancia horizontal mínima será de 5m.
- Por encima de estos límites, la distancia horizontal deberá ser igual a la altura de vuelo.
- Por ejemplo, a 50m de altura se debe mantener una distancia horizontal de 50m respecto a personas no participantes.

¿Qué distancia horizontal se debe mantener si vuelo a 20m de altura?

Depende:

- Si el modo baja velocidad NO está activado, 30m (mínimo).
- Si el modo baja velocidad está activado, 20m (regla 1:1).



Gracias por su atención

Si tiene alguna duda, realice sus consultas a:

formaciondrones.aesa@seguridadaerea.es

www.seguridadaerea.gob.es

