



Helicópteros:

Pérdida de sustentación con potencia



Indice

Introducción	03
Pérdida de sustentación de la pala	04
2.1. Principio de sustentación	04
2.2. Descripción del fenómeno físico	05
2.3. Características del estado de anillo de vórtice	07
2.4. Reconocimiento de entrada en pérdida	09
Sucesos investigados por la JST	09
3.1. Caso 1	11
3.2. Caso 2	12
Buenas prácticas y técnicas de recuperación	14
Documentos útiles	15

Introducción

La pérdida de sustentación del rotor, también conocida como hundimiento con potencia, es una condición crítica en los helicópteros, en la cual las palas del rotor principal pierden su capacidad de generar la sustentación necesaria. Esto provoca una disminución rápida y no controlada de altura, acompañada de una pérdida de control direccional que lleva al helicóptero a “hundirse dentro de su propio vórtice”.

Esta situación puede presentarse en diversas circunstancias, como cuando el ángulo de ataque de las palas del rotor principal es excesivo, cuando la velocidad de la aeronave es insuficiente, o al operar bajo condiciones de viento y en un régimen de descenso vertical superior a 500 pies por minuto, lo que genera anillos de vórtice en las punteras de palas.

La pérdida de sustentación en helicópteros representa un riesgo significativo y puede resultar en accidentes si no se gestiona adecuadamente. Es fundamental que los pilotos estén debidamente entrenados para reconocer los indicios de esta situación y poder actuar con rapidez y precisión para evitar consecuencias adversas.

2. Pérdida de sustentación de la pala

2.1. Principio de sustentación

El principio de sustentación en helicópteros se basa en el movimiento circular de las palas del rotor, que actúan de manera similar a las alas de un avión. A diferencia de estos últimos, los helicópteros no requieren un desplazamiento hacia adelante para elevarse.

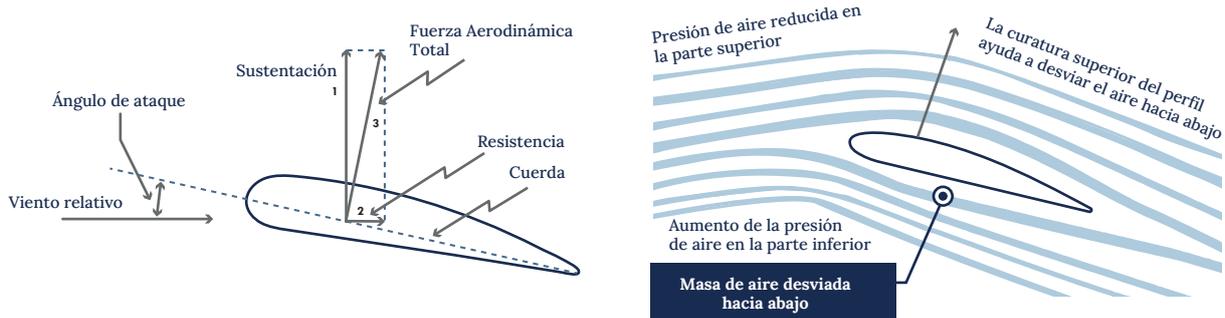


Figura 1. Generación de sustentación en palas de un helicóptero

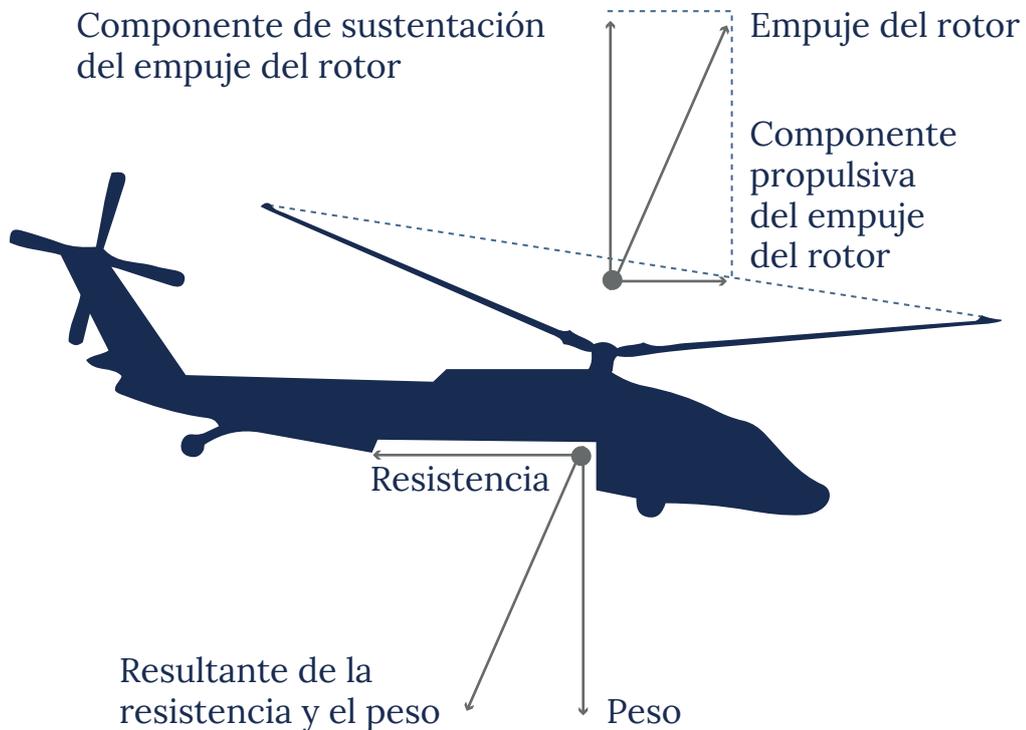


Figura 2. Fuerzas actuantes en helicóptero

Las palas del rotor generan un “colchón” de aire bajo la aeronave, lo que reduce la potencia necesaria para mantenerla en vuelo, especialmente cuando se opera cerca del suelo, ya sea en modo estacionario con efecto suelo o sin él.

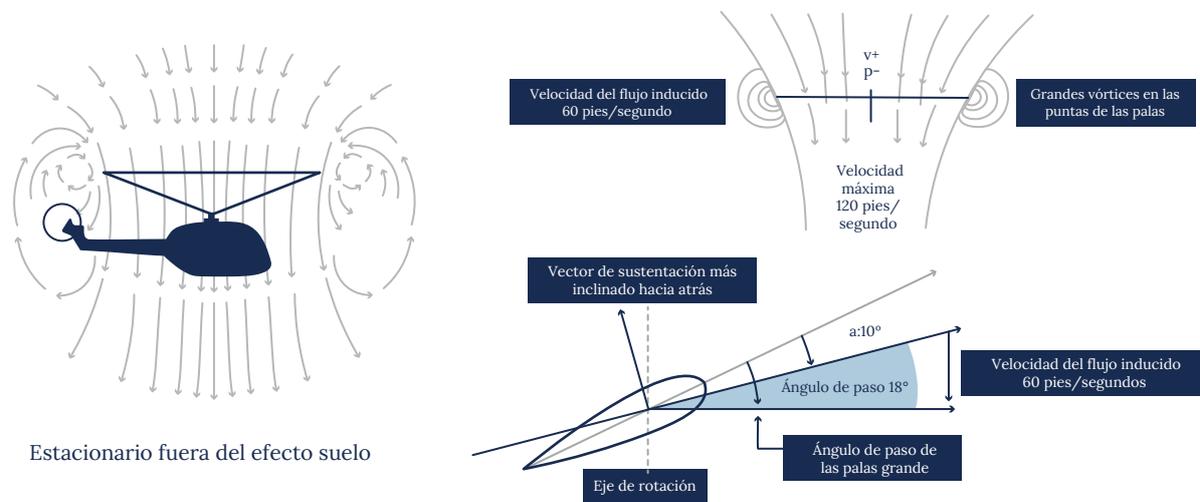


Figura 1. Comparación de flujo de aire sin efecto suelo

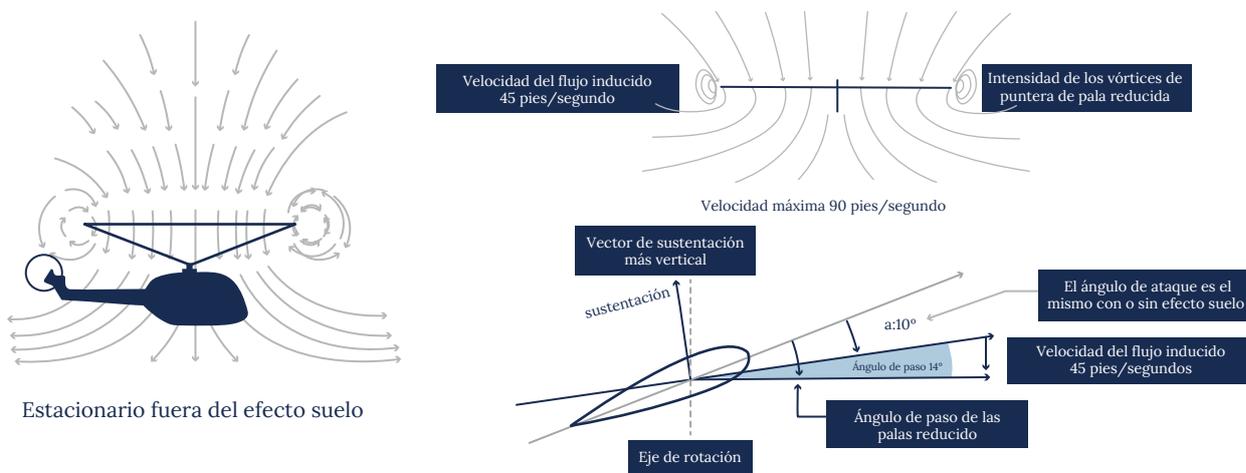


Figura 4. Influencia del efecto suelo

2.2. Descripción del fenómeno físico

La pérdida de sustentación de la pala ocurre durante un descenso vertical o con muy baja velocidad de traslación, cuando el helicóptero desciende a una velocidad que coincide con la de los extremos de las palas en su movimiento hacia abajo dentro de la estela del rotor. En estas condiciones, la raíz de la pala entra en pérdida, y no puede mantener la sustentación necesaria.

Si se produce un aumento en la velocidad de descenso, combinado con una mayor demanda de potencia para mantener las revoluciones adecuadas, se puede desencadenar la formación de anillos turbillonarios peligrosos, acompañados de vibraciones intensas y alertas de bajas RPM (revoluciones por minuto) al incrementar el paso para reducir la velocidad de descenso.

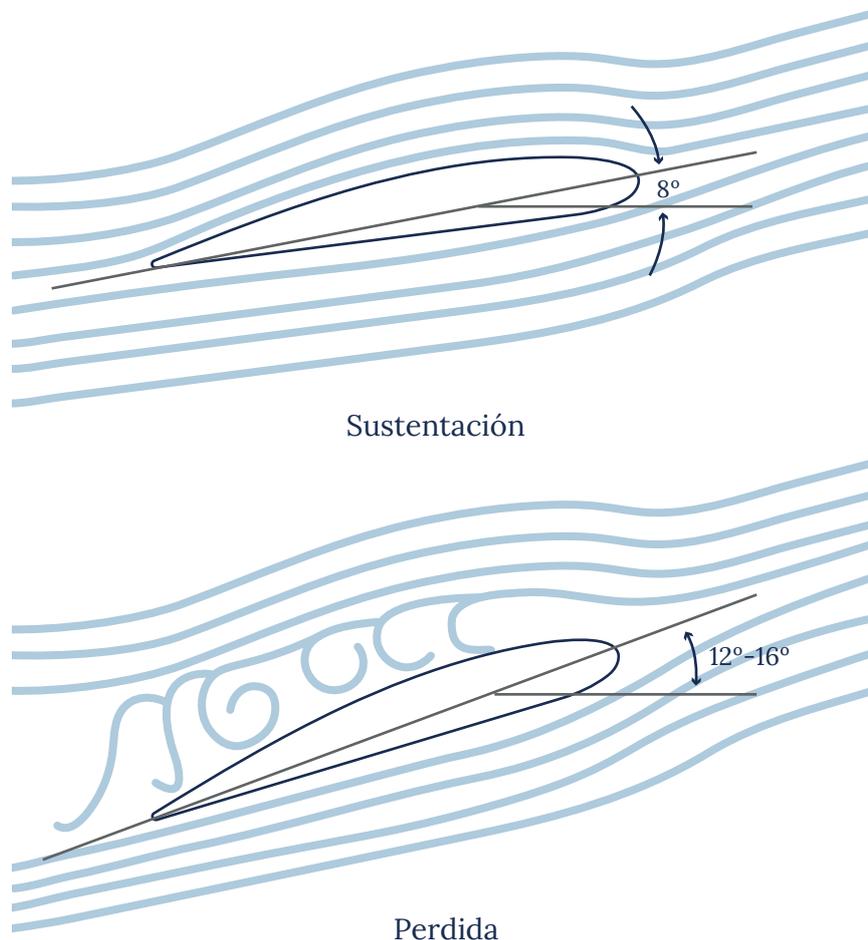


Figura 5. Pérdida de sustentación de la pala

En este caso, la pérdida de sustentación se produce por superar el ángulo de ataque crítico de la pala del rotor principal. Cuando el ángulo de ataque aumenta hasta aproximadamente 15° , el flujo de aire no puede seguir la curvatura superior de la pala debido al cambio de dirección excesivo. A medida que se aproxima al ángulo de ataque crítico, el flujo de aire empieza a separarse de la parte trasera de la superficie superior de la pala. Si se sigue aumentando el ángulo de ataque mediante el incremento del paso colectivo, la separación avanza hacia la zona superior del borde de ataque, causando un remolino y rompiendo la capa límite de sustentación. Esto da como resultado una pérdida considerable de sustentación y la entrada en pérdida de la pala.

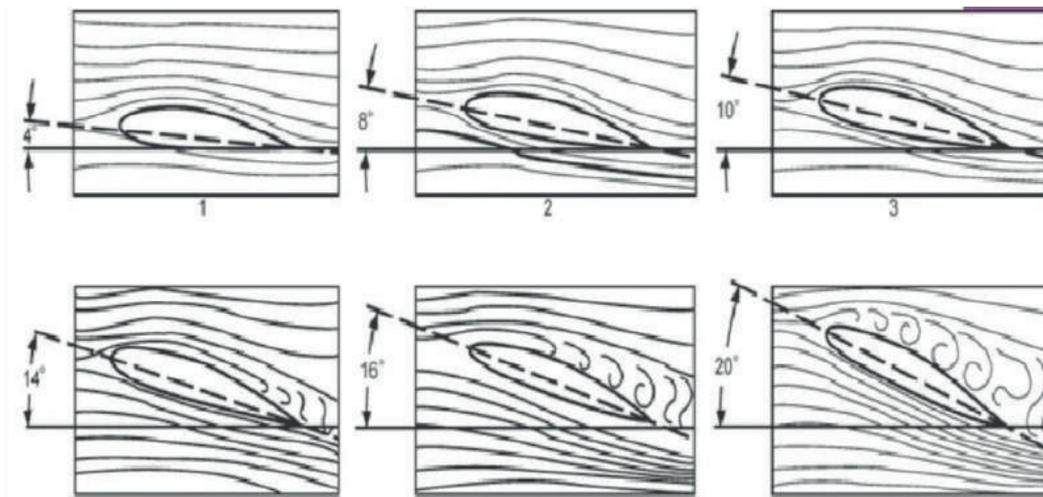


Figura 6. Flujo alrededor del perfil alar para varios ángulos

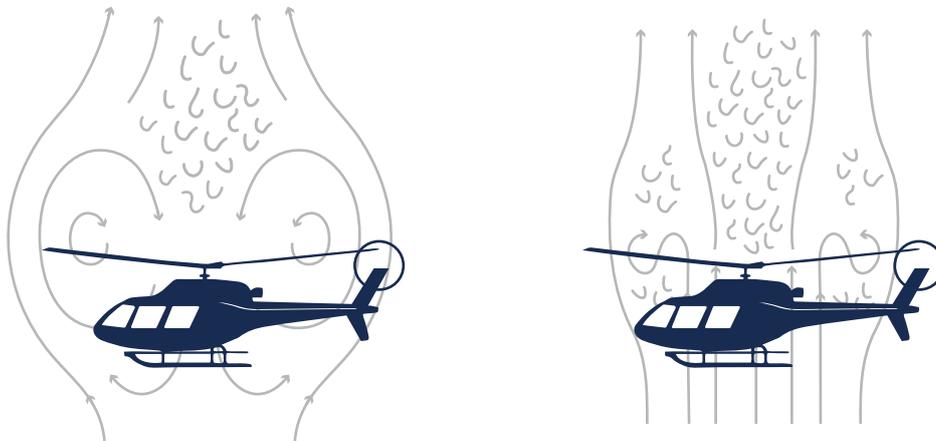
2.3. Características del estado de anillo de vórtice

Los anillos de vórtice (vortex ring) o turbillonarios son fenómenos aerodinámicos que se forman en las puntas de las palas del rotor durante el vuelo estacionario o a baja velocidad. Estos anillos se generan debido a la diferencia de presión entre la parte superior e inferior de las palas, lo que provoca la formación de un vórtice de aire que se desprende de la punta de la pala.



Figura 7. Anillos de vórtice en asentamiento con potencia

Estos anillos tienen un efecto negativo en el rendimiento del helicóptero, ya que reducen la eficiencia del motor; y también en la estabilidad, debido a que aumentan la vibración. Además, pueden producir una fuerza de sustentación negativa en las palas.



(a) Anillos de vórtice

(b) Anillo de vórtices con entrada en pérdida en la raíz de la pala

Figura 8. (a) Anillos de vórtice y (b) anillo de vórtices con entrada en pérdida en la raíz de la pala

Cualquier intento de detener el descenso aumentando los ángulos de paso de las palas (moviendo el colectivo hacia arriba) fracasará, porque el aumento del ángulo de ataque de la pala agrava la pérdida en la raíz de esta y el tamaño del anillo turbillonario. Solamente es posible recuperarse sacando al helicóptero de la zona afectada por el vórtice.

Esta situación se presenta en descensos pronunciados a baja velocidad, donde los ángulos de las palas son elevados, la sección central está cerca de la pérdida y los torbellinos en los extremos son significativos. Generalmente ocurre en velocidades de descenso entre 500 y 2.000 pies por minuto en descensos verticales, y entre 500 y 1.000 pies por minuto en descensos a 30 grados, donde incluso se puede estar ingresando en la estela turbulenta generada por el propio helicóptero. En resumen, sus características están dadas por:

- **Descenso rápido:** el helicóptero desciende rápidamente, a menudo a más de 500 pies por minuto.
- **Alta potencia:** el motor sigue produciendo una potencia elevada.
- **Vórtices creados:** se forman vórtices en los extremos de las palas del rotor, que pueden recircular hacia el rotor en la parte superior, perturbando el flujo de aire y reduciendo la sustentación.

2.4. Reconocimiento de entrada en pérdida

La entrada en pérdida se manifestará con los siguientes efectos:

- Vibraciones fuertes debido a la turbulencia en el flujo de aire.
- Pérdida de control (parcial o total) en los cabeceos y alabeos debido al flujo de aire inestable, que modifica constantemente el empuje y el momento de mando.
- Fluctuaciones de potencia debido a las variaciones en la resistencia, que provocan variaciones en el empuje.
- Descenso incontrolado a pesar de los intentos del piloto por detenerlo.

3. Sucesos investigados por la JST

De un total de 38 accidentes investigados entre los años 2013 y 2023, la pérdida de sustentación con potencia se identificó como un factor presente en al menos 9 accidentes, categorizados como pérdida de control en vuelo (LOC-I) o contacto anormal con la pista (ARC).

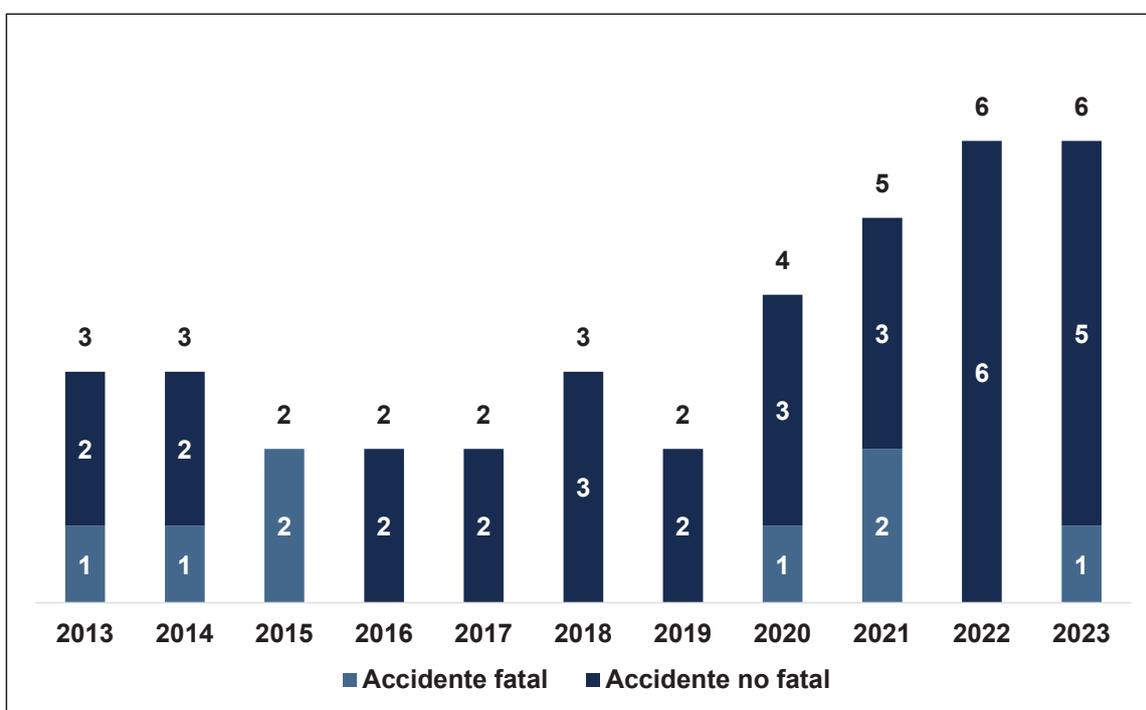


Figura 9. Serie anual de accidentes relacionados con operaciones de helicópteros en Argentina en el periodo 2013-2023. Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST

En un mismo suceso pueden existir múltiples factores contribuyentes y, por lo tanto, es común que un suceso esté asociado a más de una categoría. Por esta razón, en el siguiente gráfico, la suma de sucesos por categoría (47) es mayor a la cantidad de sucesos investigados (38).

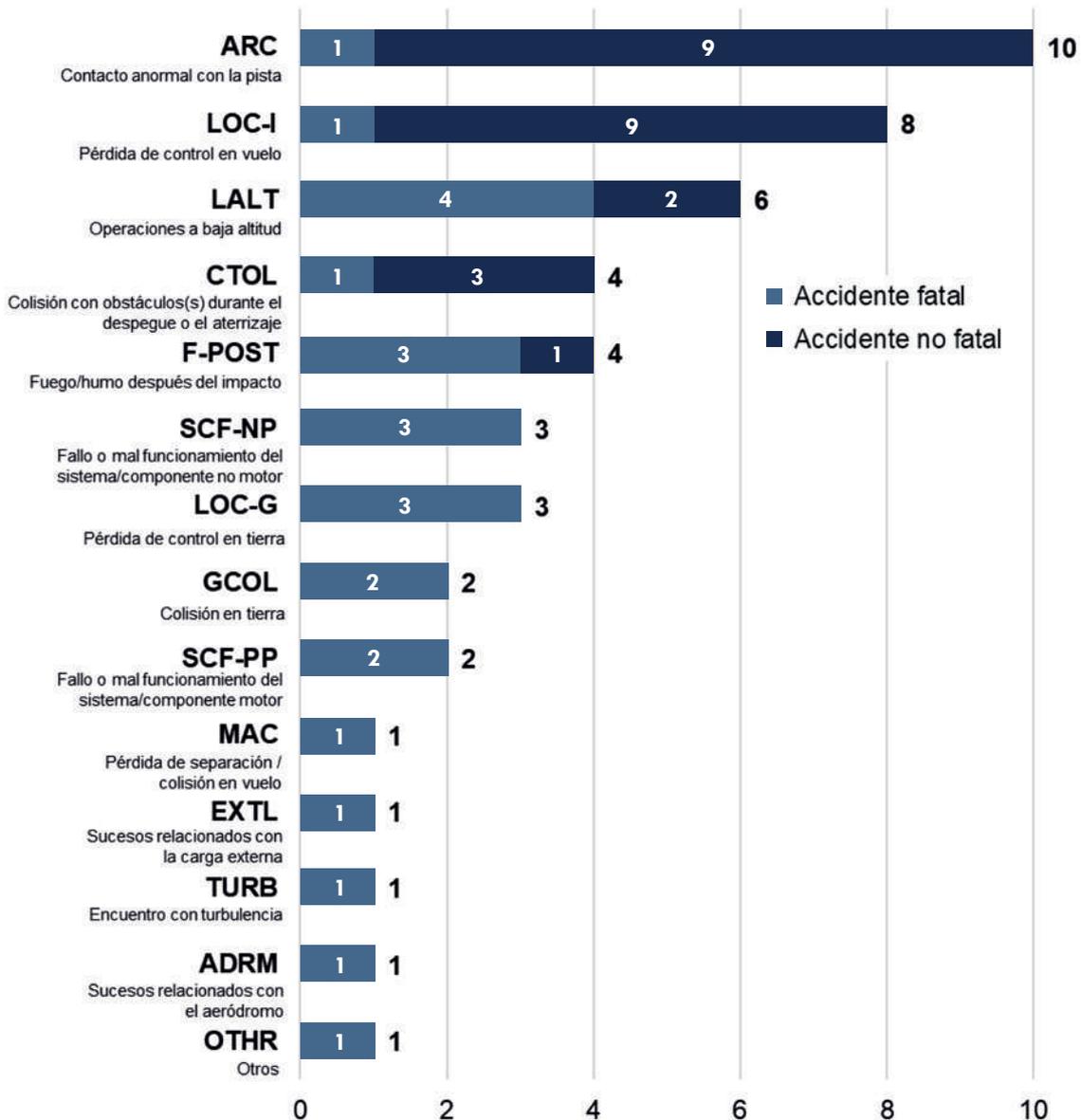


Figura 10. Distribución de categorías de accidentes relacionados con operaciones de helicópteros en Argentina en el periodo 2013-2023. Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST

Casi la mitad de los accidentes ocurrieron durante el aterrizaje o en maniobras próximas al suelo, generalmente dentro de un aeródromo o en un lugar apto denunciado.

3.1. Caso 1

El 14 de diciembre del año 2014, el helicóptero despegó desde el predio de la Seccional Norte del Parque Nacional Los Glaciares, ubicado en la localidad de El Chaltén (provincia de Santa Cruz) con destino a la ladera oeste del cerro Fitz Roy, para transportar a un rescatista de montaña.

Luego de una aproximación frustrada por el valle Cerro Torre, debido a condiciones adversas de viento de cola, el helicóptero realizó un segundo intento ingresando por el valle del Río Eléctrico, en el lado norte.

Al intentar aterrizar en una pequeña meseta (1.700 metros de elevación aproximadamente), el patín izquierdo del helicóptero se posó primero, y el helicóptero se inclinó hacia la derecha, superando los límites de inclinación lateral previstos para la operación de la aeronave (aproximadamente 15°). El piloto intentó solucionar la situación aumentando la altura. Simultáneamente con la acción del piloto, el pasajero rescatista manifestó que se escuchó una alarma sonora. El piloto logró que la aeronave ascendiera nuevamente, pero al no contar con las revoluciones necesarias del rotor, la aeronave perdió sustentación, luego giró la nariz hacia el norte e impactó el patín derecho contra el terreno.

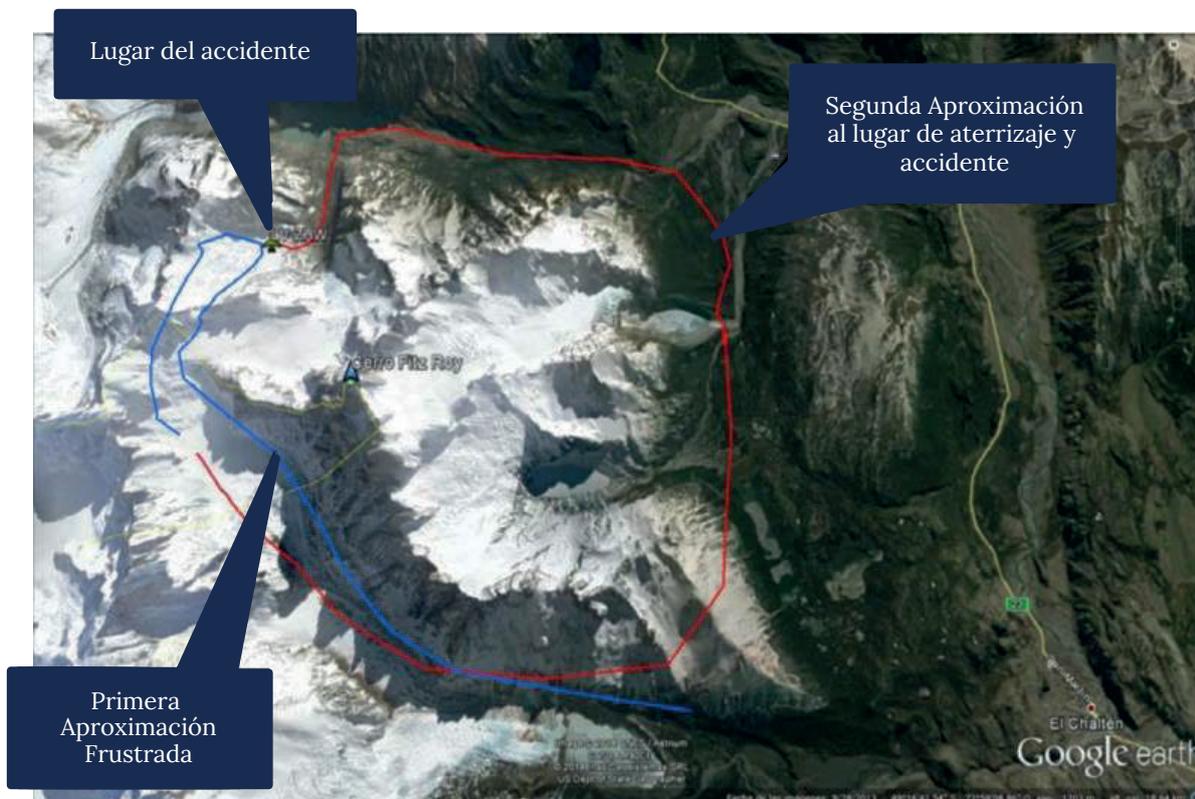


Figura 11. Trayectoria de las dos aproximaciones. Fuente: investigación JST

La secuencia de los hechos puede sintetizarse de la siguiente manera:

1. La aeronave toma altura luego del intento de aterrizaje frustrado.
2. Faltan RPM de rotor.
3. La aeronave no se puede sustentar.
4. La aeronave gira debido al efecto aerodinámico de guiñada.
5. Se produce la pérdida de sustentación, caída de la aeronave e impacto contra el terreno.
6. La caída ocurre con inclinación a la derecha, lo que produce un pivoteo (incremento de inclinación) sobre el patín derecho.
7. En el incremento de inclinación se supera el límite de aproximadamente 15° .
8. Posible vuelco dinámico.



Figura 12. Restos del helicóptero. Fuente: investigación JST

3.2. Caso 2

El 13 de febrero de 2019, la aeronave despegó del aeródromo La Puntilla (provincia de Mendoza) a las 13:10 horas, con destino a la estancia “Rancho e’ Cuero” (2.250 metros de elevación aproximadamente), cercana a la localidad de Tupungato en la misma provincia, con el objeto

de trasladar a dos pasajeros cuyo propósito era realizar una jornada de pesca deportiva en la zona.

Luego de 30 minutos de vuelo en condiciones meteorológicas visuales, la aeronave llegó al destino. El piloto realizó la aproximación en forma controlada, hasta unos 40 metros del punto donde debía aterrizar. A una altura de 6 metros y prácticamente sin velocidad de traslación, el piloto perdió el control de la aeronave, que se precipitó a tierra.



Figura 13. Momento en el que se enciende la alarma de bajas RPM. Fuente: investigación JST



Figura 14. Posición final de la aeronave accidentada. Fuente: investigación JST

4. Buenas prácticas y técnicas de recuperación

Recuperarse de un anillo de vórtice en un helicóptero es una maniobra crítica que requiere acción rápida y precisa para evitar una pérdida de control. Para minimizar el riesgo, se debe evitar un régimen de descenso vertical superior a 500 pies por minuto a una velocidad de vuelo inferior a 30 nudos mientras se está en vuelo con potencia.

En consecuencia, es fundamental realizar las siguientes operaciones:

- Aproximaciones y misiones de reconocimiento en áreas confinadas.
- Extremo cuidado en aproximaciones con viento cruzado o de cola.
- Vuelo estacionario sin efecto suelo.
- Recuperación de autorrotación con potencia a baja velocidad.
- Paradas rápidas en la dirección del viento.
- Fotografía aérea y vuelos de filmación a baja velocidad.
- Aproximaciones altas en montaña.
- Operaciones de descenso con carga externa.
- Operaciones con bambi bucket¹.

A continuación, se presentan los pasos generales que deben seguirse para la recuperación, aunque es fundamental que cada piloto siga las recomendaciones específicas para su aeronave y el entrenamiento recibido:

1. **Reconocimiento del problema:** el piloto debe identificar los signos de un anillo de vórtice, que incluyen una alta tasa de descenso, vibraciones anormales y una respuesta inusual al aumento de potencia.
2. **Reducción del paso colectivo:** para detener el incremento en la tasa de descenso y reducir la formación del vórtice se debe disminuir el paso colectivo. Esto puede parecer contraintuitivo, ya que el instinto puede ser aumentar la potencia para detener el descenso, pero esto solo agrava el problema.

¹: Es un contenedor de agua utilizado en operaciones de lucha contra incendios.

3. **Movimiento hacia adelante:** el piloto debe inclinar el helicóptero hacia adelante para ganar velocidad horizontal, esto ayuda a salir del anillo de vórtice al mover la aeronave fuera del área de turbulencia y hacia aire más estable.
 4. **Aumentar la velocidad de avance:** una vez que el helicóptero se está moviendo hacia adelante y la tasa de descenso está controlada, se puede aumentar gradualmente la potencia para recuperar la altura perdida. Es crucial hacer esto de manera gradual para evitar volver a entrar en un estado de anillo de vórtice.
 5. **Mantenimiento del control y vigilancia:** durante todo el proceso, es fundamental mantener el control del helicóptero y estar atento a cualquier cambio en su comportamiento.
-

5. Documentos útiles

Helicopter Flying Handbook FAA-H-8083-21B.

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook

FAA-H-8083-4, Helicopter Instructor's Handbook.

https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/FAA-H-8083-4.pdf

EHEST Leaflet HE 1 Safety Considerations. European Union Aviation Safety Agency.

<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/ehest-leaflet-he-1-safety-considerations>

JST | SEGURIDAD EN
EL TRANSPORTE