



MÓDULO E

## Meteorología

15 horas · Temas 28 al 30

Según RAAC 141 · Apéndice A · V Edición Mayo 2026

- Meteorología aeronáutica elemental
- Obtención y uso de información meteorológica
- Altimetría y condiciones meteorológicas peligrosas

# Índice de Contenidos

Prefacio .....	8
Cómo está organizado este manual.....	9
Carga horaria sugerida (15 horas cátedra) .....	9
Programa oficial — Módulo E (RAAC 141 Apéndice A, V Edición Mayo 2026).....	10
Niveles de aprendizaje .....	10
Temas del Módulo E — Meteorología (15 horas).....	10
Abreviaturas y siglas utilizadas .....	11
PARTE 1 — Aplicación de la meteorología aeronáutica elemental .....	14
Capítulo 1. La atmósfera terrestre.....	14
1.1 Composición.....	14
1.2 Capas atmosféricas .....	14
.....	15
1.3 Atmósfera Estándar Internacional (ISA).....	15
Capítulo 2. Presión atmosférica .....	16
2.1 Concepto y unidades.....	16
2.2 Variación de la presión con la altitud.....	17
2.3 Variación de la presión en superficie.....	17
2.4 QNH, QFE, QNE — recordatorio integrado.....	18
Capítulo 3. Temperatura .....	19
3.1 Concepto y unidades.....	19
3.2 Variación diurna y geográfica .....	19
3.3 Gradiente vertical de temperatura .....	20
3.4 Inversiones térmicas .....	20
3.5 Punto de rocío (TD - Dew Point) .....	21
Capítulo 4. Humedad atmosférica .....	22
4.1 Vapor de agua .....	22
4.2 Humedad absoluta, específica y relativa .....	22
4.3 Saturación, punto de rocío y formación de nubes.....	22
4.4 Procesos adiabáticos — la clave de la convección.....	22
Capítulo 5. Viento .....	23
.....	23
5.1 Causa del viento — el gradiente de presión .....	23
5.2 Fuerzas que actúan sobre el viento .....	24

---

5.3 Viento geostrófico y viento de gradiente .....	24
5.4 Viento en superficie .....	24
5.5 Notación y medición del viento .....	25
5.6 Viento en gran escala — circulación general.....	25
5.7 Vientos locales argentinos .....	26
5.8 Capa límite atmosférica .....	27
Capítulo 6. Estabilidad atmosférica .....	27
6.1 Concepto .....	27
6.2 Determinación analítica .....	27
6.3 Indicadores prácticos de inestabilidad.....	28
6.4 Indicadores prácticos de estabilidad.....	29
Capítulo 7. Nubes.....	29
7.1 Formación de las nubes .....	29
7.2 Clasificación de nubes — el sistema OMM.....	30
7.3 Descripción operacional por género.....	31
7.4 Reporte de la nubosidad en aviación.....	32
7.5 Techo de nubes (ceiling) .....	33
Capítulo 8. Precipitación .....	33
8.1 Mecanismo de formación .....	33
8.2 Tipos de precipitación.....	33
8.3 Carácter de la precipitación .....	34
Capítulo 9. Masas de aire.....	34
9.1 Concepto .....	34
Capítulo 10. Frentes.....	34
10.1 Concepto.....	34
10.2 Tipos de frentes .....	35
10.3 Estructura típica de un frente frío en pampa argentina .....	36
Capítulo 11. Sistemas de presión.....	37
11.1 Anticiclones (altas presiones, H o A).....	37
11.2 Depresiones / ciclones (bajas presiones, L o B) .....	37
11.3 Cuñas y vaguadas .....	38
Capítulo 12. Meteorología regional argentina.....	38
12.1 Pampa húmeda (Buenos Aires, Santa Fe, sur de Córdoba, La Pampa, Entre Ríos).....	38
12.2 NOA (Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero) .....	39
12.3 Cuyo (Mendoza, San Juan, San Luis) .....	39

---

12.4 Patagonia (Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego) .....	40
12.5 Litoral (Misiones, Corrientes, Entre Ríos, NE Santa Fe) .....	41
12.6 Cordillera de los Andes .....	41
PARTE 2 — Procedimientos para obtener información meteorológica y uso de la misma .....	43
Capítulo 13. Organismos y fuentes en Argentina .....	43
13.1 Servicio Meteorológico Nacional (SMN) .....	43
13.2 EANA .....	44
13.3 ANAC .....	44
13.4 Organismos internacionales .....	44
Capítulo 14. METAR y SPECI .....	44
14.1 Generalidades .....	44
14.2 Estructura del METAR .....	45
14.3 Ejemplo completo de METAR descompuesto .....	46
14.4 Otro ejemplo más complejo .....	46
14.5 Reporte de viento — casos especiales .....	47
14.6 Reporte de visibilidad — casos especiales .....	47
14.7 Códigos de tiempo significativo en METAR .....	48
Capítulo 15. TAF (Terminal Aerodrome Forecast) .....	49
15.1 Generalidades .....	49
15.2 Estructura del TAF .....	50
15.3 Códigos de cambio .....	50
15.4 Ejemplo completo de TAF descompuesto .....	50
15.5 Interpretación operacional del TAF .....	51
Capítulo 16. SIGMET, AIRMET y GAMET .....	51
16.1 SIGMET .....	51
16.2 AIRMET .....	53
16.3 GAMET .....	53
16.4 Diferencia entre SIGMET/AIRMET y NOTAM .....	53
Capítulo 17. Cartas SIGWX y de viento/temperatura .....	53
17.1 Carta SIGWX (Significant Weather Chart) .....	53
17.2 Carta de viento y temperatura en altura .....	54
Capítulo 18. ATIS y VOLMET .....	55
18.1 ATIS .....	55
18.2 VOLMET .....	56
Capítulo 19. Productos digitales y aplicaciones modernas .....	56

---

---

Capítulo 20. El briefing meteorológico previo al vuelo.....	57
20.1 Estructura del briefing .....	57
20.2 Decisión GO / NO-GO.....	57
20.3 Mínimos personales meteorológicos para PPA novato .....	58
20.4 Reevaluación en vuelo .....	59
PARTE 3 — Altimetría y condiciones meteorológicas peligrosas.....	60
Capítulo 21. Altimetría .....	60
21.1 Principio físico del altímetro .....	60
21.2 Los tres reglajes.....	60
21.3 Altitud de transición, nivel de transición y capa de transición — Argentina.....	61
21.4 Errores del altímetro .....	62
21.5 Reglas argentinas de nivel de crucero VFR .....	63
21.6 Aplicación práctica — caso PPA en cordillera .....	63
Capítulo 22. Turbulencia .....	63
22.1 Naturaleza y origen .....	63
22.2 Intensidad — clasificación operacional.....	65
22.3 Turbulencia en cumulonimbos .....	65
22.4 Ondas de montaña y rotor.....	66
22.5 Cizalladura del viento (wind shear).....	67
Capítulo 23. Englamamiento (icing) .....	68
23.1 Naturaleza del englamamiento estructural .....	68
23.2 Consecuencias del englamamiento.....	69
23.3 Englamamiento del carburador .....	70
23.4 Englamamiento por lluvia engelante (FZRA).....	70
Capítulo 24. Tormentas (Cumulonimbos, TS) .....	70
24.1 Ciclo de vida de una tormenta .....	70
24.2 Peligros de las tormentas.....	71
24.3 Sistemas convectivos de mesoescala (SCM) .....	71
24.4 Defensa operacional .....	71
Capítulo 25. Visibilidad reducida .....	72
25.1 Niebla (FG) y neblina (BR) .....	72
25.2 Anticipación de la niebla .....	72
25.3 Otros oscurecimientos .....	72
Capítulo 26. Otros fenómenos peligrosos .....	73
26.1 Tornados .....	73

---

26.2 Sudestadas .....	73
26.3 Zonda .....	73
26.4 Pampero.....	73
26.5 Olas de calor y de frío .....	73
Capítulo 27. Síntesis operacional y mínimos meteorológicos personales.....	74
27.1 La filosofía .....	74
27.2 Tabla resumen de fenómenos y respuesta operacional.....	74
27.3 Ejercicio integrador final .....	75
Bibliografía y fuentes consultadas .....	76
Normativa argentina .....	76
Publicaciones aeronáuticas y meteorológicas argentinas .....	76
Normativa internacional .....	76
Textos clásicos y manuales académicos .....	76
Meteorología regional sudamericana y argentina.....	77
Recursos didácticos y digitales.....	77
Recursos digitales argentinos esenciales.....	78

# MANUAL DEL ALUMNO

# METEOROLOGÍA

# AERONÁUTICA

*Curso de Piloto Privado de Avión (PPA)*

*República Argentina — Regulación ANAC (RAAC)*

Material de instrucción teórica — 15 horas cátedra

## Áreas de conocimiento

1. Aplicación de la meteorología aeronáutica elemental.
2. Procedimientos para obtener información meteorológica y uso de la misma.
3. Altimetría y condiciones meteorológicas peligrosas.

*Edición de instrucción — Uso académico*

## Prefacio

Este manual ha sido elaborado como material didáctico de referencia para la asignatura «Meteorología» del Curso de Piloto Privado de Avión (PPA) en la República Argentina. Está estructurado para cubrir las 15 horas cátedra exigidas y desarrolla las tres áreas de conocimiento del programa oficial, enmarcadas en la regulación argentina (RAAC), las publicaciones aeronáuticas oficiales (AIP Argentina de EANA, productos del Servicio Meteorológico Nacional — SMN), y los estándares internacionales (Anexo 3 OACI, Doc. 8896, Doc. 9817).

La meteorología es, junto con la performance y los factores humanos, una de las materias con mayor peso operacional en aviación general. Las estadísticas de la JST, replicando lo que se observa en todo el mundo, indican que un porcentaje muy alto de los accidentes y graves incidentes en operación PPA tiene a la meteorología como factor contribuyente: continuación VFR en condiciones IMC, encuentro con turbulencia severa o cizalladura, formación de hielo no anticipada, viento cruzado al aterrizaje superior al demostrado, vuelo en frentes activos, ráfagas convectivas. Saber leer un METAR y un TAF, interpretar una carta del tiempo significativo, anticipar la evolución de un sistema sinóptico y, sobre todo, tener el criterio operacional para decir «hoy no se vuela» o «hoy regreso», son las competencias centrales que esta asignatura desarrolla.

El alumno PPA en Argentina opera en un país con una de las geografías más diversas meteorológicamente del mundo: la llanura pampeana con su régimen frontal del Atlántico Sur; la cordillera de los Andes con vientos del oeste muy persistentes, ondas y rotores; el NOA con masas tropicales, convección estival severa, y aeródromos en altura; Cuyo con el Zonda y la sequedad; el Litoral con tormentas eléctricas y humedad alta; la Patagonia con sus vientos sostenidos y cambios meteorológicos abruptos. Todo esto opera bajo el régimen del hemisferio sur, donde los frentes se desplazan de oeste a este, los anticiclones giran a la izquierda (antihorario) y las depresiones a la derecha (horario), inversamente al hemisferio norte. Adaptar el conocimiento meteorológico genérico al contexto argentino es uno de los objetivos centrales de este manual.

Las cifras numéricas, ejemplos de productos meteorológicos y nombres de fenómenos regionales que aparecen en este manual son representativos y se utilizan con fines pedagógicos. El producto operativo para cada vuelo es el METAR, TAF, SIGMET y carta vigente al momento de la planificación, publicados por el SMN y disponibles a través de EANA. Las regulaciones citadas remiten al RAAC vigente.

## Cómo está organizado este manual

La materia se divide en tres Partes que corresponden estrictamente a las tres áreas de conocimiento del programa oficial. Internamente, cada Parte está construida con secuencia lógica y progresiva:

- Parte 1 — Aplicación de la meteorología aeronáutica elemental. Atmósfera, presión, temperatura, humedad, viento, nubes, precipitaciones, masas de aire, frentes, sistemas sinópticos, meteorología regional argentina.
- Parte 2 — Procedimientos para obtener información meteorológica y uso de la misma. SMN, EANA, METAR, TAF, SIGMET, AIRMET, cartas del tiempo significativo, productos digitales, briefing meteorológico.
- Parte 3 — Altimetría y condiciones meteorológicas peligrosas. Reglaje altimétrico, errores, turbulencia, cizalladura, engelamiento, tormentas, niebla, vientos peligrosos, fenómenos locales argentinos.

## Carga horaria sugerida (15 horas cátedra)

Bloque	Contenido	Horas
1	Atmósfera, presión, temperatura, humedad. Atmósfera estándar ISA	1,0
2	Viento: génesis, fuerzas, capa límite, vientos locales	1,5
3	Nubes y precipitación. Estabilidad atmosférica	1,5
4	Masas de aire, frentes, sistemas de presión	1,5
5	Meteorología regional argentina. Cordillera, NOA, Patagonia, Litoral	1,5
6	Productos del SMN. METAR y TAF detallados	1,5
7	SIGMET, AIRMET, cartas del tiempo significativo (SIGWX), AIRMET	1,0
8	Briefing meteorológico previo al vuelo. Decisión GO/NO-GO	1,0
9	Altimetría y reglajes (QNH/QFE/QNE), errores por temperatura	1,0
10	Turbulencia, cizalladura del viento	1,0
11	Engelamiento estructural y de carburador	1,0
12	Tormentas, microbursts, granizo, descargas eléctricas	1,0
13	Niebla, visibilidad reducida, polvo en suspensión (Zonda)	0,5
	TOTAL	15,0

**NOTA:** La distribución es indicativa. El instructor adaptará tiempos al ritmo del grupo, agregando ejercicios prácticos de interpretación de METAR/TAF reales del día y, cuando sea posible, una visita o sesión virtual con un meteorólogo del SMN para sumar comprensión operacional.

## Programa oficial — Módulo E (RAAC 141 Apéndice A, V Edición Mayo 2026)

El siguiente programa corresponde al Módulo de materia E del Apéndice A de la RAAC Parte 141, edición vigente. Establece los temas obligatorios y el nivel de aprendizaje requerido para cada uno al completar el curso.

### Niveles de aprendizaje

Para las diversas materias que comprende el currículo del curso, se establecen los siguientes niveles de aprendizaje, determinando el grado de conocimiento, pericia y aptitudes que se requiere de los estudiantes al completar cada materia:

Nivel	Descripción
Nivel 1	Conocimiento básico de principios generales. No requiere el desarrollo de pericia y habilidad práctica. Se alcanza a través de la instrucción teórica, la demostración y discusión.
Nivel 2	Comprensión de principios generales relacionados con los conocimientos adquiridos. Requiere del desarrollo de habilidades para realizar operaciones básicas. Se alcanza a través de la instrucción teórica, la demostración, discusión y de aplicación práctica limitada.
Nivel 3	Fijación profunda de los fundamentos y un alto grado de aplicación práctica. Habilidad práctica para aplicar los conocimientos con rapidez, precisión y buen juicio. Desarrollo de habilidades y preparación suficiente para operar una aeronave con seguridad.

### Temas del Módulo E — Meteorología (15 horas)

Nivel	Tema N°	Descripción del tema
2	28	La aplicación de la meteorología aeronáutica elemental.
3	29	Los procedimientos para obtener información meteorológica y uso de la misma.
3	30	Altimetría, condiciones meteorológicas peligrosas.

## Abreviaturas y siglas utilizadas

Sigla	Significado
OACI / ICAO	Organización de Aviación Civil Internacional
OMM / WMO	Organización Meteorológica Mundial
ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil (autoridad argentina)
EANA	Empresa Argentina de Navegación Aérea S.E.
SMN	Servicio Meteorológico Nacional (Argentina)
JST	Junta de Seguridad en el Transporte
AIP	Aeronautical Information Publication
NOTAM	Notice to Airmen / Notice to Air Missions
METAR	Meteorological Aerodrome Report — reporte horario
SPECI	Special meteorological report — reporte especial fuera de horario
TAF	Terminal Aerodrome Forecast — pronóstico de aeródromo
SIGMET	Significant Meteorological Information
AIRMET	Airmen's Meteorological Information
GAMET	Area Forecast for Low-Level Flights
SIGWX	Significant Weather Chart — carta de tiempo significativo
VOLMET	Meteorological information for aircraft in flight (broadcast)
ATIS	Automatic Terminal Information Service
UTC / Z	Tiempo Universal Coordinado (Zulu)
ISA	International Standard Atmosphere
QNH	Reglaje altimétrico para indicar elevación AMSL
QFE	Reglaje altimétrico para indicar altura sobre aeródromo
QNE / STD	Reglaje 1013,2 hPa / 29,92 inHg — indica altitud presión
AMSL / AGL	Above Mean Sea Level / Above Ground Level
DA / PA	Density Altitude / Pressure Altitude

OAT	Outside Air Temperature
TD	Temperatura del punto de rocío (Dew Point)
RH	Humedad relativa (Relative Humidity)
hPa	Hectopascal (= 1 milibar)
inHg	Pulgadas de mercurio
kt / KT	Nudos (knots)
VRB	Viento variable
FL	Flight Level — Nivel de vuelo
VMC / IMC	Visual / Instrument Meteorological Conditions
VFR / IFR	Visual / Instrument Flight Rules
CAVOK	Ceiling And Visibility OK (techo y visibilidad satisfactorios)
NSC	Nil Significant Cloud — sin nubes significativas
NSW	Nil Significant Weather — sin tiempo significativo
BKN / OVC / SCT / FEW	Broken / Overcast / Scattered / Few — cobertura nubosa
CB / TCU	Cumulonimbus / Towering Cumulus
TS / SH	Thunderstorm / Shower — tormenta / chubasco
RA / SN / GR / DZ	Rain / Snow / Hail / Drizzle — lluvia / nieve / granizo / llovizna
FG / BR / HZ	Fog / Mist / Haze — niebla / neblina / calima
FU / SA / DU / PO	Smoke / Sand / Dust / Dust devils
BL / DR / MI / PR	Blowing / Drifting / Shallow / Partial
WS	Wind Shear — cizalladura del viento
TURB	Turbulence — turbulencia
ICE	Icing — engelamiento
FZ	Freezing — sobreenfriado
+ / - / sin signo	Intensidad fuerte / débil / moderada
NOSIG	No significant change — sin cambio significativo

BECMG	Becoming — cambio gradual
TEMPO	Temporary — temporal
PROB30 / PROB40	Probabilidad de ocurrencia del 30 % / 40 %

# PARTE 1 — Aplicación de la meteorología aeronáutica elemental

Esta parte construye los fundamentos físicos y dinámicos de la atmósfera, base de toda la asignatura. La meteorología no es un catálogo de fenómenos a memorizar: es la ciencia de un fluido en movimiento gobernado por leyes físicas. Una vez entendidos esos mecanismos (calentamiento desigual del planeta, gradientes de presión, fuerzas de Coriolis, condensación, estabilidad), los fenómenos del tiempo se vuelven previsibles y los productos meteorológicos, comprensibles.

## Capítulo 1. La atmósfera terrestre

### 1.1 Composición

El aire seco al nivel del mar está compuesto, en volumen, por:

- Nitrógeno (N<sub>2</sub>): 78 %
- Oxígeno (O<sub>2</sub>): 21 %
- Argón: 0,93 %
- CO<sub>2</sub>: 0,04 % (creciente)
- Trazas: neón, helio, metano, ozono, etc.

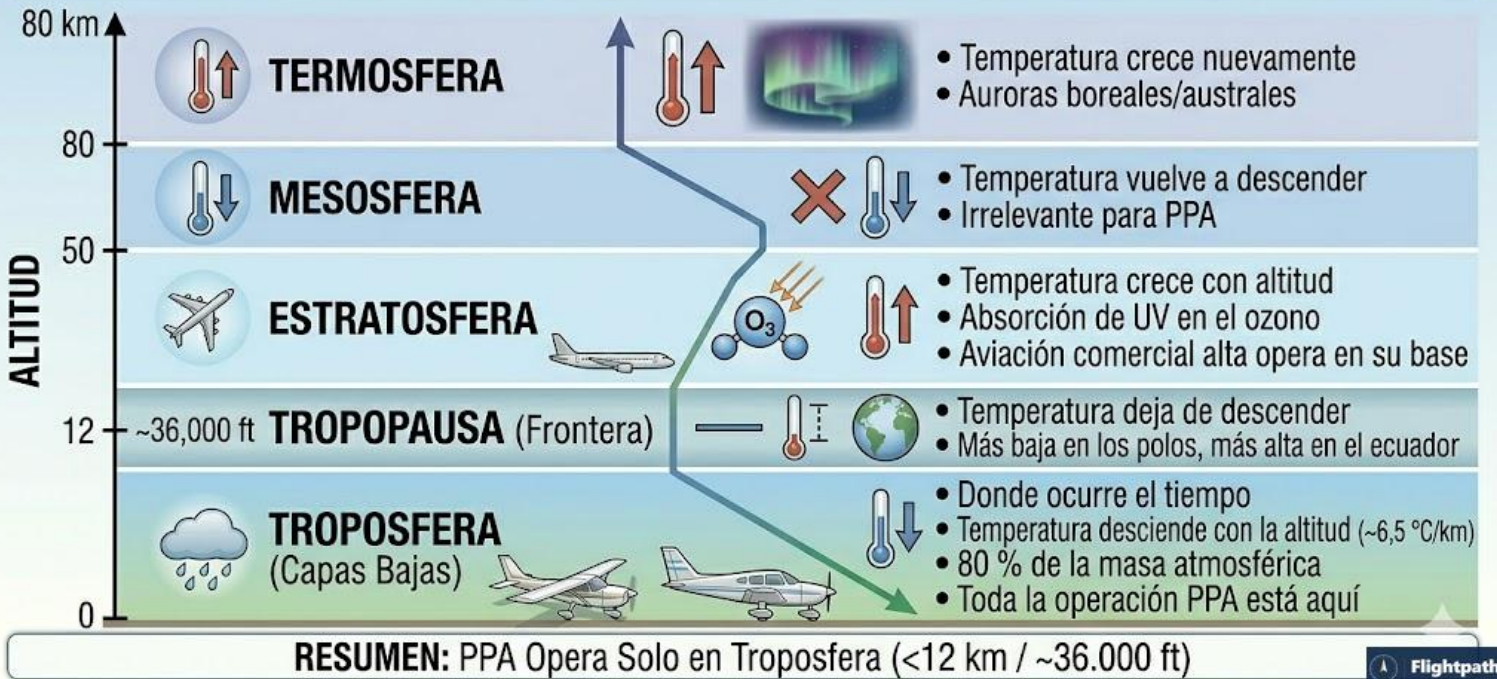
Además, una cantidad variable de vapor de agua (entre 0 % y ~4 %, según temperatura y proximidad a fuentes hídricas). El vapor de agua es CRÍTICO en meteorología: aunque está en pequeña proporción, es responsable de prácticamente todos los fenómenos del tiempo (nubes, precipitación, energía latente, niebla, formación de hielo).

### 1.2 Capas atmosféricas

Capa	Altitud aprox.	Características
Troposfera	0 – 12 km (~36.000 ft)	Donde ocurre el tiempo. Temperatura desciende con la altitud (~6,5 °C/km). 80 % de la masa atmosférica. Toda la operación PPA está aquí.
Tropopausa	~36.000 ft (varía con latitud y estación)	Frontera; temperatura deja de descender. Más baja en los polos, más alta en el ecuador.
Estratosfera	12 – 50 km	Temperatura crece con altitud por absorción de UV en el ozono. Aviación comercial alta opera en su base.
Mesosfera	50 – 80 km	Temperatura vuelve a descender. Irrelevante para PPA.
Termosfera	sobre 80 km	Temperatura crece nuevamente. Auroras boreales/australes.

# GUÍA TÉCNICA: CAPAS DE LA ATMÓSFERA Y OPERACIÓN PPA

## ANÁLISIS DE LAS CAPAS ATMOSFÉRICAS Y SU IMPACTO EN EL VUELO



**NOTA:** La tropopausa argentina es más alta en verano que en invierno y más alta en el norte que en el sur. En el NOA puede alcanzar 50.000–55.000 ft; en Patagonia, 35.000 ft. Esta variación tiene impacto en la altura máxima de las nubes de tormenta (los toques de cumulonimbos del NOA pueden superar 55.000 ft en convección severa).

### 1.3 Atmósfera Estándar Internacional (ISA)

La OACI define la ISA como referencia para el diseño de aeronaves, calibración de altímetros y cálculos de performance. Sus valores al nivel medio del mar:

- Presión: 1013,25 hPa (29,92 inHg).
- Temperatura: +15 °C (288,15 K).
- Densidad: 1,225 kg/m<sup>3</sup>.
- Gradiente vertical de temperatura: –2 °C cada 1.000 ft hasta la tropopausa estándar (36.090 ft).
- Gradiente de presión: aproximadamente –1 hPa cada 28 ft cerca de superficie; menor con la altitud.
- Sobre 36.090 ft (estratosfera): temperatura constante –56,5 °C.

Cálculo de ISA a una altitud dada:

- ISA (°C) = 15 – 2 × (PA en miles de ft) hasta 36.090 ft.
- A 5.000 ft, ISA = 15 – 10 = +5 °C.

- A 10.000 ft, ISA = 15 – 20 = –5 °C.
- A 18.000 ft, ISA = 15 – 36 = –21 °C.

«Desvío ISA» es la diferencia entre la temperatura real (OAT) y la ISA esperada para la altitud. Si OAT 5.000 ft = +15 °C, ISA esperada +5 °C → desvío ISA+10. Si OAT 5.000 ft = –10 °C, desvío ISA–15. Este concepto es central para corregir la performance del avión y para predecir errores altimétricos.

## GUÍA TÉCNICA: LA ATMÓSFERA ESTÁNDAR INTERNACIONAL (ISA)

### FUNDAMENTOS Y VALORES AL NIVEL DEL MAR



#### La Referencia ISA

Modelo físico ideal para estandarizar el diseño de aeronaves y cálculos de performance.



#### Valores Estándar (MSL)

Presión de 1013,25 hPa (29,92 inHg) y temperatura de +15 °C.

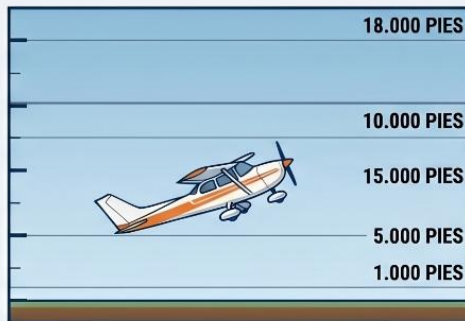


#### Densidad Estándar

1,225 kg/m<sup>3</sup> al nivel medio del mar.



### VARIACIONES VERTICALES EN LA TROPOSFERA



#### Gradiente Térmico

La temperatura disminuye –2 °C por cada 1.000 pies de ascenso.



#### Gradiente de Presión

La presión cae aproximadamente 1 hPa cada 28 pies cerca de la superficie.



#### Altitud de Densidad

El aire se vuelve menos denso al ascender, **degradando la performance del motor.**

### ESTRUCTURA DE CAPAS PARA LA INSTRUCCIÓN



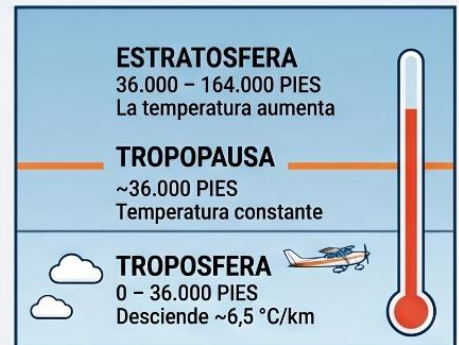
#### Troposfera (0 a 36.000 pies)

Capa operativa para aeronaves de instrucción donde ocurre el tiempo meteorológico.



#### Tropopausa y Estratosfera

Frontera térmica donde la temperatura se estabiliza en –56,5 °C.



Resumen de las capas atmosféricas relevantes para el vuelo.

## Capítulo 2. Presión atmosférica

### 2.1 Concepto y unidades

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el peso de la columna de aire sobre cualquier punto. Disminuye con la altitud (menos columna de aire encima). Se mide con:

- Barómetro de mercurio: el clásico. Mide la altura de columna de mercurio que la presión sostiene. A nivel del mar estándar son 760 mm o 29,92 pulgadas.
- Barómetro aneroide: cápsula metálica deformable. Es el principio del altímetro y de la mayoría de los barómetros modernos.
- Sensores electrónicos: usados en estaciones meteorológicas modernas y en aviónica integrada.

Unidades equivalentes:

- Hectopascal (hPa) = milibar (mb) — sistema SI usado por OMM y por Argentina.
- Pulgadas de mercurio (inHg) — usado por la FAA y POH americanos.
- Conversión: 1 inHg  $\approx$  33,86 hPa. 1013,25 hPa  $\approx$  29,92 inHg.

## 2.2 Variación de la presión con la altitud

La presión disminuye exponencialmente con la altitud, pero para alturas pequeñas (las de PPA) la relación es aproximadamente lineal:

- Cerca de superficie:  $\approx$  1 hPa cada 8 metros, o  $\approx$  1 inHg cada 1.000 ft.
- Cerca del nivel del mar:  $\approx$  1 hPa cada 28 ft.
- A 18.000 ft:  $\approx$  1 hPa cada 50 ft (la atmósfera es más «fina»).

Esta variación es la que el altímetro mide y traduce en altitud. Por eso es esencial entender que el altímetro es, en realidad, un barómetro disfrazado.

## 2.3 Variación de la presión en superficie

A nivel del mar la presión varía con el clima:

- Anticiclones (altas presiones, «H» o «A»): presión sobre la media, típicamente 1020–1035 hPa en latitudes medias. Tiempo generalmente estable.
- Depresiones o ciclones (bajas presiones, «L» o «B»): presión bajo la media, 990–1010 hPa típicamente. Tiempo inestable, frentes, precipitación.
- Récord histórico bajo en huracán: < 880 hPa. Récord alto: > 1080 hPa en anticiclones de invierno siberianos. Argentina raramente sale del rango 985–1035.

# DINÁMICA DE PRESIONES Y SISTEMAS SINÓPTICOS

## TASA DE CAÍDA DE PRESIÓN

- Superficie: ~1 hPa / 28 ft (8m)
- FL180 (18,000 ft): ~1 hPa / 50 ft

### ANTICICLONES (A / H)

### CICLONES / DEPRESIONES (B / L)



### MORFOLOGÍA

- ↑ Cuña (Extensión de Altas) ↑
- ↓ Vaguada (Extensión de Bajas) ↓

## SISTEMAS DE PRESIÓN (HEMISFERIO SUR)

### ANTICICLONES (A / H)

- 1020 - 1035 hPa
- Circulación Antihoraria
- Subsistencia (Aire descendente)
- Compresión adiabática
- Cielos claros, aire seco, estabilidad
- Ej: Anticiclón del Atlántico Sur

### CICLONES / DEPRESIONES (B / L)

- 990 - 1010 hPa
- Circulación Horaria
- Ascendencia (Aire ascendente)
- Expansión adiabática
- Formación de nubes, inestabilidad, frentes




## 2.4 QNH, QFE, QNE — recordatorio integrado

Estos conceptos se desarrollarán en detalle en la Parte 3 (altimetría). Síntesis preliminar:


- QNH: presión al nivel medio del mar calculada desde la presión real del aeródromo aplicando ISA. Con altímetro en QNH, lectura = altitud AMSL.
- QFE: presión real del aeródromo. Con altímetro en QFE, lectura sobre la pista = 0.
- QNE / STD: reglaje fijo 1013,25 hPa. Con altímetro en QNE, lectura = altitud presión, y se expresa como FL (Flight Level – Nivel de Vuelo).

## REGLAJE ALTIMÉTRICO Y MATRICES DE ERROR CRÍTICO


### LOS TRES REGLAJES (ALTIMETER DASHBOARD)



**QNH (Altitud)**  
Presión AMSL.  
Marca elevación sobre el mar.  
(Debajo de Altitud de Transición).



**QNE / STD (Nivel de Vuelo)**  
1013.25 hPa. Marca Altitud Presión (FL).  
(Sobre Nivel de Transición).



**QFE (Altura)**  
Presión real en pista.  
Marca 0 al tocar tierra.

### PELIGRO OPERACIONAL: ERRORES DEL ALTÍMETRO (TERRAIN PROXIMITY ALERT)

**⚠ PELIGRO OPERACIONAL: ERRORES DEL ALTÍMETRO**


- Regla Mnemotécnica: "High to low, look out below" (1 hPa = 28 ft).

**⚠ EL ASESINO SILENCIOSO (AIRE FRÍO)**

El altímetro está calibrado para ISA. En atmósfera extremadamente fría, el aire se comprime. Por cada 10°C por debajo de ISA, la altitud verdadera es ~4% MENOR que la indicada.

**CASO CORDILLERA INVERNAL**

QNH bajo + Temp 15°C bajo ISA a 14,500 ft (Indicado) =  
Altitud real hasta 900 ft MÁS BAJA.



TRAYECTORIA INDICADA (ALTITUD APARENTE)  
14,500 ft (Ind.)

TRAYECTORIA REAL (AIRE COMPRIMIDO)  
ALTITUD REAL: ~13,600 ft (CRÍTICO)

⚠ PELIGRO DE COLISIÓN

Error de Altitud Letal por Compresión de Aire

## Capítulo 3. Temperatura

### 3.1 Concepto y unidades

La temperatura mide la energía cinética promedio de las moléculas del aire. Unidades usadas en meteorología aeronáutica:

- Celsius (°C): usada por OMM, OACI, SMN, EANA, METAR/TAF y prácticamente todos los productos.
- Kelvin (K): física pura.  $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ .  $K = \text{°C} + 273,15$ .
- Fahrenheit (°F): usado en algunos POH y en EE.UU.  $\text{°F} = (\text{°C} \times 9/5) + 32$ .
- Conversión rápida:  $0\text{ °C} = 32\text{ °F}$ ;  $100\text{ °C} = 212\text{ °F}$ ;  $20\text{ °C} = 68\text{ °F}$ .

### 3.2 Variación diurna y geográfica

La temperatura del aire en superficie varía por:

- Hora del día: máxima 1–3 horas después del mediodía solar; mínima antes del amanecer.
- Estación: en Argentina, máximas en enero–febrero; mínimas en julio–agosto.

- Latitud: zonas tropicales (norte argentino, < 25° S) son más cálidas y de menor variación anual; zonas templadas (Buenos Aires, ~35° S) tienen mayor amplitud anual; Patagonia y Antártida son más frías.
- Altitud: a mayor altitud, menor temperatura (excepto inversiones).
- Cercanía al mar: el agua modera. Mar del Plata tiene amplitud térmica menor que la pampa interior a la misma latitud.
- Cobertura del suelo: bosques, lagos, ciudades modifican localmente.
- Nubosidad: nubes bajas atrapan el calor terrestre (de noche) y reducen la insolación (de día).

### 3.3 Gradiente vertical de temperatura

En la troposfera estándar, la temperatura desciende ~6,5 °C/km (~2 °C/1.000 ft). Pero la atmósfera real puede tener perfiles muy distintos:

- Atmósfera estable: gradiente cercano al estándar o menor (cuando enfría poco con la altitud, los movimientos verticales se inhiben).
- Atmósfera inestable: gradiente mayor al estándar (cuando enfría rápido con la altitud, los movimientos verticales se promueven y se forman nubes convectivas).
- Inversión térmica: la temperatura AUMENTA con la altitud en una capa. Crítica para meteorología; ver más abajo.

### 3.4 Inversiones térmicas

Una inversión es una capa donde la temperatura aumenta con la altitud, invirtiendo el patrón normal.

Tipos:

- Inversión radiativa (nocturna): noches calmas y despejadas. El suelo pierde calor por radiación al cielo, enfría el aire que lo toca, mientras que el aire superior se mantiene cálido. Frecuente en invierno argentino, sobre todo en el centro y norte. Típicamente unos cientos de pies de espesor.
- Inversión de subsidencia: en anticiclones, el aire desciende desde niveles altos y se calienta por compresión adiabática. La capa descendente puede ser más cálida que el aire bajo ella. Estable y persistente.
- Inversión frontal: en un frente cálido, el aire cálido cabalga sobre el frío más denso, generando una inversión en altura.
- Inversión por advección: aire cálido pasa sobre superficie fría (mar frío, nieve).

Consecuencias operacionales de las inversiones:

- Niebla y neblina debajo de la inversión (el vapor se condensa al enfriarse el aire bajo).
- Concentración de contaminantes / humo bajo la inversión.
- Reducción de visibilidad por debajo.

- Cizalladura en el límite de la inversión: cambio brusco de velocidad y dirección del viento.
- Cielos despejados arriba, capa de nubes estratiformes abajo: el típico «mar de nubes» en valles del NOA invernal.
- Mejores condiciones de vuelo en altura, peores en superficie.

## GUÍA TÉCNICA: INVERSIONES TÉRMICAS Y SU IMPACTO OPERACIONAL

**INVERSIÓN: CAPA DONDE LA TEMPERATURA AUMENTA CON LA ALTITUD (Invirtiendo el Patrón Normal)**

### 1. INVERSIÓN RADIATIVA (Nocturna)

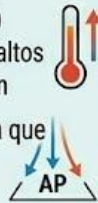


- Noches calmas y despejadas
- El suelo pierde calor por radiación
- Enfría el aire que lo toca
- Aire superior se mantiene cálido
- Frecuente en invierno argentino (centro/norte)
- Típicamente unos cientos de pies



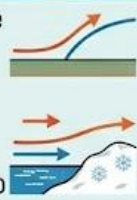
### 2. INVERSIÓN DE SUBSIDENCIA

- En **anticiclones** (Alta Presión)
- Aire desciende desde niveles altos
- Calentamiento por compresión adiabática
- Capa descendente más cálida que el aire bajo
- Estable y persistente



### 3. INVERSIÓN FRONTAL Y POR ADVECCIÓN

- Aire cálido cabalga sobre aire frío más denso
- Inversión en altura
- **ADVECCIÓN:**
- Aire cálido pasa sobre superficie fría
- Enfriamiento del aire bajo



### 4. CONSECUENCIAS OPERACIONALES

- **NIEBLA Y NEBLINA DEBAJO**  
Vapor se condensa al enfriarse aire bajo
- **CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES**  
Bajo la inversión
- **REDUCCIÓN DE VISIBILIDAD DEBAJO**
- **CIZALLADURA EN EL LÍMITE**  
• Cambio brusco de dirección y velocidad
- **CIELOS DESPEJADOS ARRIBA, NUBES ESTRATIFORMES ABAJO**  
• Típico "Mar de Nubes" (Valles NOA invernal)



### 3.5 Punto de rocío (TD - Dew Point)

Es la temperatura a la que el aire, enfriándose isobáricamente y manteniendo su contenido de vapor de agua, alcanza la saturación (RH = 100 %). Si la temperatura desciende por debajo del punto de rocío, comienza la condensación.

- La diferencia  $T - TD$  se llama «spread». Cuanto menor, más cerca de saturación está el aire.
- Spread bajo ( $< 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ): probabilidad alta de niebla, neblina, nubes estratiformes.
- Spread alto ( $> 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ): aire seco, baja probabilidad de niebla.
- Al cruzar el spread cero ( $T = TD$ ), comienza la formación de nubes o de niebla en superficie.

Para PPA: el TD aparece en METAR junto a la temperatura. Vigilar el spread es la mejor herramienta para anticipar formación de niebla, especialmente al amanecer en aeródromos cercanos a ríos, lagos o zonas húmedas (delta del Paraná, Iberá, costa atlántica).

## Capítulo 4. Humedad atmosférica

### 4.1 Vapor de agua

El agua circula constantemente entre las superficies del planeta y la atmósfera mediante:

- Evaporación: cambio de líquido a vapor (consume calor del entorno, ENFRÍA).
- Condensación: cambio de vapor a líquido (libera calor al entorno, CALIENTA).
- Sublimación: cambio directo de sólido a vapor (consume calor).
- Deposición: cambio directo de vapor a sólido (libera calor).
- Fusión: sólido a líquido (consume).
- Solidificación: líquido a sólido (libera).

La energía intercambiada en estos cambios de fase se llama «calor latente». Es la fuente energética principal de los fenómenos atmosféricos: las tormentas no son más que ingentes liberaciones de calor latente al condensar grandes cantidades de vapor.

### 4.2 Humedad absoluta, específica y relativa

- Humedad absoluta: masa de vapor por unidad de volumen de aire ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Humedad específica: masa de vapor por unidad de masa de aire ( $\text{g}/\text{kg}$ ).
- Humedad relativa (RH): porcentaje de saturación.  $\text{RH} = \text{vapor presente} / \text{vapor que el aire podría contener a esa temperatura} \times 100$ .

La RH es lo que típicamente reportan los METAR y los productos. La RH cambia con la temperatura: el aire cálido «admite» o «soporta» más vapor que el aire frío. Por eso una masa de aire húmedo que se enfría puede alcanzar saturación (RH 100 %) y condensar, sin que haya «entrado más agua» a la masa.

### 4.3 Saturación, punto de rocío y formación de nubes

Tres formas en que una masa de aire puede alcanzar la saturación:

- Enfriamiento isobárico: el aire se enfría sin cambiar de presión (radiación nocturna, advección sobre superficie fría).
- Enfriamiento adiabático por elevación: el aire ascendente se expande y enfría sin intercambio de calor con el entorno. ES el mecanismo principal de formación de nubes en aviación.
- Adición de vapor: el aire absorbe humedad (por evaporación de una superficie de agua o por mezcla con masa húmeda).

### 4.4 Procesos adiabáticos — la clave de la convección

Un proceso es adiabático cuando no hay intercambio de calor con el entorno. En la atmósfera, los movimientos verticales son aproximadamente adiabáticos a corto plazo:

- Aire ASCENDENTE: se expande (menor presión arriba), enfría adiabáticamente.

- Aire DESCENDENTE: se comprime (mayor presión abajo), calienta adiabáticamente.

Gradientes adiabáticos:

- Gradiente adiabático seco: 3 °C/1.000 ft (10 °C/km). Aplica al aire NO saturado.
- Gradiente adiabático saturado (húmedo): 1,5 °C/1.000 ft (5 °C/km) en promedio, varía con T. Aplica al aire YA saturado, porque la condensación libera calor latente que compensa el enfriamiento.

Estos dos gradientes adiabáticos son distintos del gradiente ambiental (lo que el aire realmente tiene en su perfil vertical, medido por radiosonda). La comparación entre el gradiente ambiental y los adiabáticos es la que determina la ESTABILIDAD atmosférica (Cap. 6).

## Capítulo 5. Viento

### EL VIENTO EN EL VUELO: DINÁMICA Y PERFORMANCE PARA PILOTOS

**DINÁMICA DEL VIENTO Y LA ALTITUD**  
El Gradiente y la Rotación en el Hemisferio Sur

AL ascender, el viento aumenta su velocidad y rota hacia la **IZQUIERDA** del piloto.

**La Capa Límite Atmosférica**

3.000 ft

FLUJO LAMINAR

ZONA TURBULENTA (FRICCIÓN)

Zona de fricción (0-3.000 ft) con aire turbulento; sobre ella, el flujo es laminar.

**DESCENSO Y APROXIMACIÓN**

ROTACIÓN A LA **DERECHA** AL DESCENDER

VELOCIDAD REDUCIDA POR FRICCIÓN TERRESTRE

Al descender, la fricción terrestre reduce la velocidad y rota el viento hacia la **DERECHA**.

**COMPARACIÓN: VIENTO EN CONTRA VS. VIENTO DE COLA**

**VIENTO EN CONTRA**  
(Viento en Contra)

MEJORA ÁNGULO DE ASCENSO

El viento en contra mejora el ángulo de ascenso.

**VIENTO DE COLA**  
(Viento de Cola)

DEGRADA ÁNGULO DE ASCENSO

El viento de cola degrada el ángulo de ascenso.

**IMPACTO EN LA CARRERA DE DESPEGUE**

CON VIENTO DE FRENTE  
CARRERA REDUCIDA

El viento de frente reduce la carrera de despegue y aterrizaje significativamente.

CON VIENTO DE COLA  
CARRERA INCREMENTADA

**DERIVA Y NAVEGACIÓN**

VIENTO CRUZADO

DERIVA

El viento cruzado desplaza la aeronave, exigiendo correcciones de rumbo para mantener la trayectoria.

**TABLA DE EFECTOS EN FASES CRÍTICAS**

CONDICIÓN DE VIENTO	CARRERA DE DESPEGUE	ÁNGULO DE ASCENSO	VELOCIDAD DE SUELO (GS)
En Viento en Contra)	Se reduce	Aumenta (más pronunciado)	Menor
Viento de Cola)	Se incrementa	Disminuye (más plano)	Mayor

### 5.1 Causa del viento — el gradiente de presión

El viento es el aire en movimiento horizontal. La causa primaria es la diferencia de presión: el aire fluye desde zonas de alta hacia zonas de baja presión. Cuanto mayor el gradiente (variación espacial de la presión), mayor la velocidad del viento.

En las cartas sinópticas, las isobaras (líneas de igual presión) cercanas indican gradientes fuertes → vientos fuertes. Isobaras separadas → vientos débiles.

## 5.2 Fuerzas que actúan sobre el viento

- Fuerza del gradiente de presión: empuja desde alta a baja, perpendicular a las isobaras.
- Fuerza de Coriolis: debida a la rotación terrestre. En el hemisferio sur, desvía el viento HACIA LA IZQUIERDA. Su intensidad crece con la velocidad del viento y con la latitud (es cero en el ecuador, máxima en los polos).
- Fuerza centrífuga: en aires que giran (alrededor de centros de presión), tiende a sacar el aire hacia afuera del giro.
- Fricción: en superficie, el aire roza con el terreno y se desacelera. Esto reduce a su vez la fuerza de Coriolis y permite que el aire cruce las isobaras hacia la baja.

## 5.3 Viento geostrófico y viento de gradiente

En altitud (sobre 2.000–3.000 ft AGL, donde la fricción es despreciable):

- Viento geostrófico: equilibrio entre gradiente de presión y Coriolis. Resultado: el viento sopla PARALELO a las isobaras. En el hemisferio sur, con la baja a la DERECHA de la dirección del viento. Regla mnemotécnica: «en el hemisferio sur, alta a la izquierda del piloto que mira hacia donde va el viento».
- Viento de gradiente: similar al geostrófico pero considerando la fuerza centrífuga en isobaras curvas. En altas (anticlones, isobaras curvadas alrededor de la alta), el viento gira ALREDEDOR de la alta en el hemisferio sur en sentido ANTIHORARIO. En bajas (depresiones), el viento gira HORARIO.

Importante: el sentido de giro es OPUESTO al hemisferio norte. Un alumno PPA que estudia con literatura norteamericana debe invertir mentalmente todos los esquemas de circulación.

## 5.4 Viento en superficie

Debajo de 2.000–3.000 ft AGL la fricción se hace sentir:

- El viento se desacelera respecto al geostrófico.
- Coriolis pierde efectividad.
- El viento cruza las isobaras hacia la baja, con un ángulo de 10° a 30° (más sobre el mar, más sobre el terreno rugoso).

Consecuencia práctica para PPA: el viento de SUPERFICIE (reportado en METAR) suele girar respecto al de altitud. En el hemisferio sur, al ASCENDER, el viento ROTA A LA IZQUIERDA del piloto (porque pierde la desviación por fricción). Al DESCENDER, rota a la derecha. Esto difiere del hemisferio norte (memorizar: en el sur, ascender = izquierda).

Electronic Flight Bag (EFB)

# FUERZAS MOTORAS Y DINÁMICA DEL VIENTO

**ORIGEN:** Fuerza de Gradiente de Presión (De Alta a Baja).

**FUERZAS INTERACTUANTES**

- **Fuerza de Coriolis:** Desvía el viento hacia la IZQUIERDA en el Hemisferio Sur.
- **Fuerza Centrífuga:** Empuja hacia afuera en isobaras curvas.
- **Fricción:** Desacelera el viento por roce con la superficie (Capa Límite).

**VIENTO EN ALTURA VS. SUPERFICIE**

**Viento Geostrófico (>3000 ft):** Equilibrio entre Gradiente y Coriolis. Fluye PARALELO a las isobaras.

**Viento en Superficie (<3000 ft):** Fricción reduce Coriolis. El viento CRUZA las isobaras hacia la Baja (ángulo 10°-30°).

**REGLA DE ROTACIÓN (SUR)**

**Ascenso:** El viento rota a la IZQUIERDA.  
**Descenso:** El viento rota a la DERECHA.

## 5.5 Notación y medición del viento

- Dirección: desde donde sopla (no hacia dónde va). Se expresa en grados magnéticos en ATC (informe de torre, ATIS) y en grados verdaderos en METAR/TAF/SIGMET y cartas. Atención: 360° = norte (no 000).
- Velocidad: en nudos (KT) en aviación. 1 kt = 1,852 km/h.
- Ráfagas (gusts): si el viento varía sustancialmente en pocos segundos, se reporta la velocidad media y la ráfaga máxima.
- Viento variable: si la dirección no es estable, se reporta VRB (en METAR), o se da el rango (ej. 240V310 = entre 240 y 310 grados).

## 5.6 Viento en gran escala — circulación general

La distribución de presión y temperatura en el planeta genera celdas de circulación global. Para Argentina, lo relevante es:

- Anticiclón del Atlántico Sur (Anticiclón Subtropical Atlántico Sur): semi-permanente centrado en el Atlántico Sur a 30°S. Genera vientos del este-noreste en latitudes bajas argentinas (NOA, Litoral, Buenos Aires). Es la fuente del aire cálido y húmedo subtropical.
- Anticiclón del Pacífico Sur: similar, en el Pacífico. Vientos del noroeste a la costa pacífica chilena. Bloqueado por la cordillera, su acceso a Argentina es limitado.

- Cinturón de los oestes (40°S–60°S): los famosos «Roaring Forties», «Furious Fifties», «Screaming Sixties». Vientos persistentes del oeste sobre Patagonia y océano Pacífico Sur. Generan las masas frontales que cruzan Argentina.

*Roaring Forties (Cuarenta Bramadores): Entre 40°S y 50°S. El término "roaring" (rugiente/bramador) alude al sonido constante del viento golpeando el velamen y el casco de los navíos. Furious Fifties (Cincuentas Furiosos): Entre 50°S y 60°S. Al haber menos obstáculos terrestres, el viento gana más fuerza y las tormentas son más severas. Screaming Sixties (Sesentas Estridentes/Aulladores): Entre 60°S y 70°S. Aquí los vientos alcanzan intensidades extremas cerca de la Antártida, produciendo un sonido agudo o "chillón"*

- Frentes polares: zonas de contacto entre aire polar antártico y aire subtropical. Se desplazan de oeste a este, atravesando Argentina cada 5–10 días en promedio.
- Sistemas convectivos del NOA en verano: alimentados por la masa amazónica y la convergencia con el aire frío del sur.

## 5.7 Vientos locales argentinos

Argentina tiene vientos locales bien definidos que el PPA debe conocer:

- Pampero: viento del SO posfrontal en la pampa. Cesa una tormenta y comienza el Pampero, con descenso de temperatura y aire seco. Tras 6–24 horas, el tiempo se estabiliza con cielo despejado.
- Sudestada: viento del SE persistente sobre el Río de la Plata y costa bonaerense. Asociado a sistemas de baja presión costeros. Genera lluvia persistente, inundaciones, mala visibilidad. Operación de Buenos Aires (SABE, SAEZ, SADP) muy afectada.
- Zonda: viento descendente cálido y seco del oeste-sudoeste en Cuyo y NOA (efecto Foehn de la cordillera). Aire que cruza los Andes, asciende y precipita en la ladera chilena, desciende seco y se calienta adiabáticamente. Llega a Mendoza y San Juan a temperaturas extremas (30–40 °C en invierno), HR muy baja, vientos racheados con rachas > 100 km/h. Genera turbulencia severa, rotor, riesgo de incendios, y degradación del rendimiento humano.
- Viento norte: del N o NE en la pampa y Litoral, cálido y húmedo. Precede frentes. Cuando se intensifica y rota a NO, suele anticipar un frente frío.
- Viento de la cordillera en Patagonia: vientos del oeste persistentes y fuertes (40–80 kt sostenidos), rotor en sotavento. Operación en aeródromos patagónicos limitada.
- Brisa de mar / tierra: en costa atlántica (Mar del Plata, Necochea, Pinamar, Bahía Blanca). De día sopla del mar (más frío) hacia la tierra (más cálida). De noche, inverso. Suele ser suave (5–15 kt) pero modifica el patrón de viento local.
- Brisa de valle / montaña: en valles cordilleranos (Mendoza, alta Patagonia). De día asciende por las laderas calientes (brisa de valle); de noche desciende por las laderas frías (brisa de montaña). Importante en aeródromos de altura.

- Viento Norte mendocino: viento térmico que sopla del norte hacia las altas zonas mendocinas en verano por convergencia. Distinto del Zonda.

## 5.8 Capa límite atmosférica

La capa límite es la zona inferior de la atmósfera donde la fricción con la superficie domina. Tiene 1.000–4.000 ft de espesor según condiciones:

- Más profunda de día (mezcla turbulenta por calentamiento) y más delgada de noche (estable, sin mezcla).
- Dentro de la capa límite, el viento es turbulento, con cizalladura, rachas, polvo.
- Por encima de la capa límite, el aire es más laminar.

Para PPA: el ascenso a través de la capa límite suele dejar atrás la turbulencia mecánica y la mala visibilidad. Los aeródromos cercanos a obstáculos (sierras, edificios) generan turbulencia mecánica en su sotavento dentro de la capa límite. Los aeródromos en zonas planas y secas (centro-oeste argentino en verano) generan termales convectivas dentro de la capa límite, perceptibles como sacudidas en vuelo bajo.

## Capítulo 6. Estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica describe la tendencia del aire a resistir o promover los movimientos verticales. Es uno de los conceptos más importantes de la meteorología aplicada: determina si se forman nubes convectivas (cumulonimbos, tormentas) o estratiformes, si hay turbulencia, si las gotas crecen hasta producir lluvia.

### 6.1 Concepto

Imagine una burbuja de aire empujada hacia arriba en una atmósfera. Tres comportamientos posibles:

- Estable: la burbuja desplazada hacia arriba regresa a su posición original (más densa que el aire circundante).
- Inestable: la burbuja desplazada hacia arriba continúa subiendo por sí sola (menos densa que el aire circundante).
- Neutra: la burbuja desplazada permanece en su nueva posición.

### 6.2 Determinación analítica

Comparando el gradiente vertical de temperatura REAL (ambiental) con los gradientes adiabáticos:

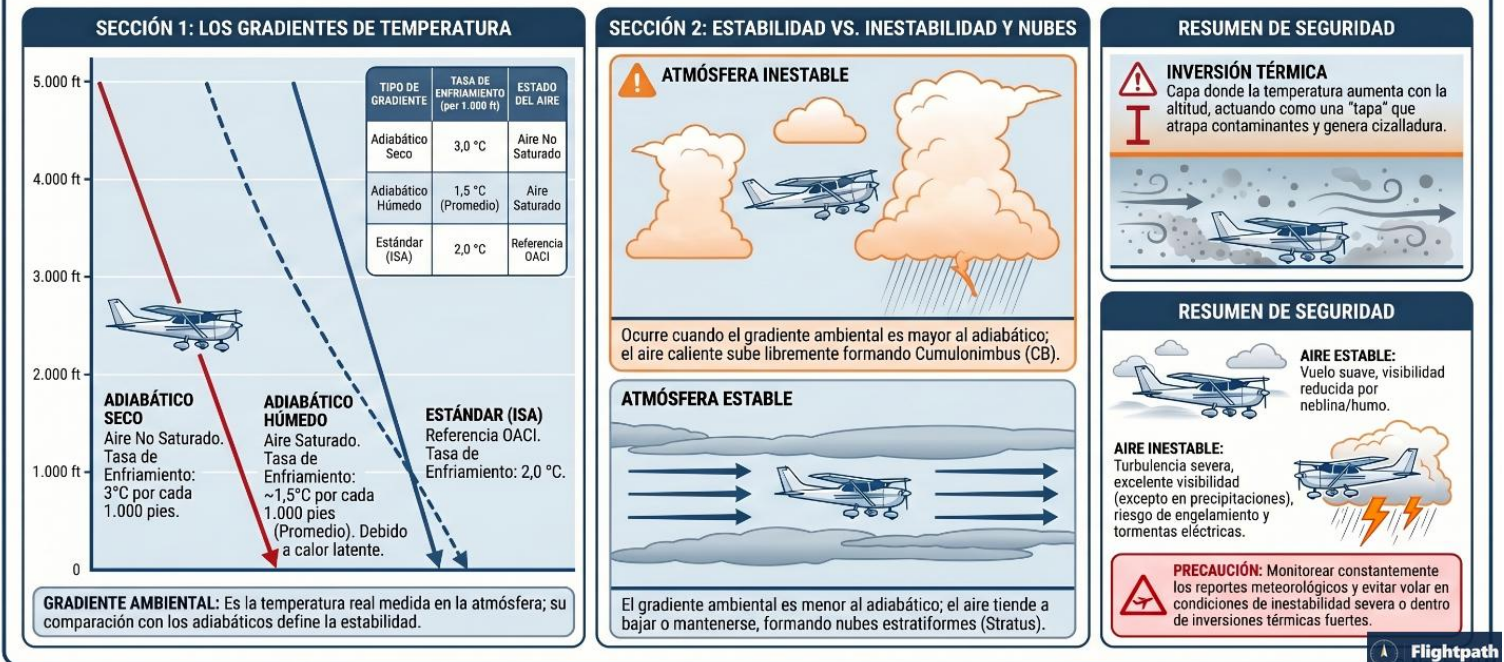
- Si el gradiente ambiental es MENOR (más débil) que el adiabático SECO: aire NO saturado es estable.
- Si el gradiente ambiental es MAYOR (más fuerte) que el adiabático SECO: aire NO saturado es INESTABLE → convección espontánea.

- Si el gradiente ambiental está entre el adiabático seco y el adiabático SATURADO: estabilidad **CONDICIONAL** (estable si seco, inestable si saturado). Es el caso más común. La inestabilidad se «libera» cuando el aire saturado encuentra un disparador (calentamiento, terreno, frente).

Para PPA basta entender que las nubes convectivas (cumulus, cumulonimbus) y las tormentas requieren atmósfera inestable; las nubes estratiformes y la lluvia continua requieren atmósfera estable. Las cartas SIGWX indican explícitamente las zonas de inestabilidad.

## Estabilidad e Inestabilidad Atmosférica: Guía Técnica Aeronáutica

- Explicar la relación entre los gradientes de temperatura y el comportamiento del aire.
- Predecir la estabilidad y las formaciones nubosas durante el vuelo.
- Entender si el aire resiste o promueve el movimiento vertical es crítico para la seguridad operacional.

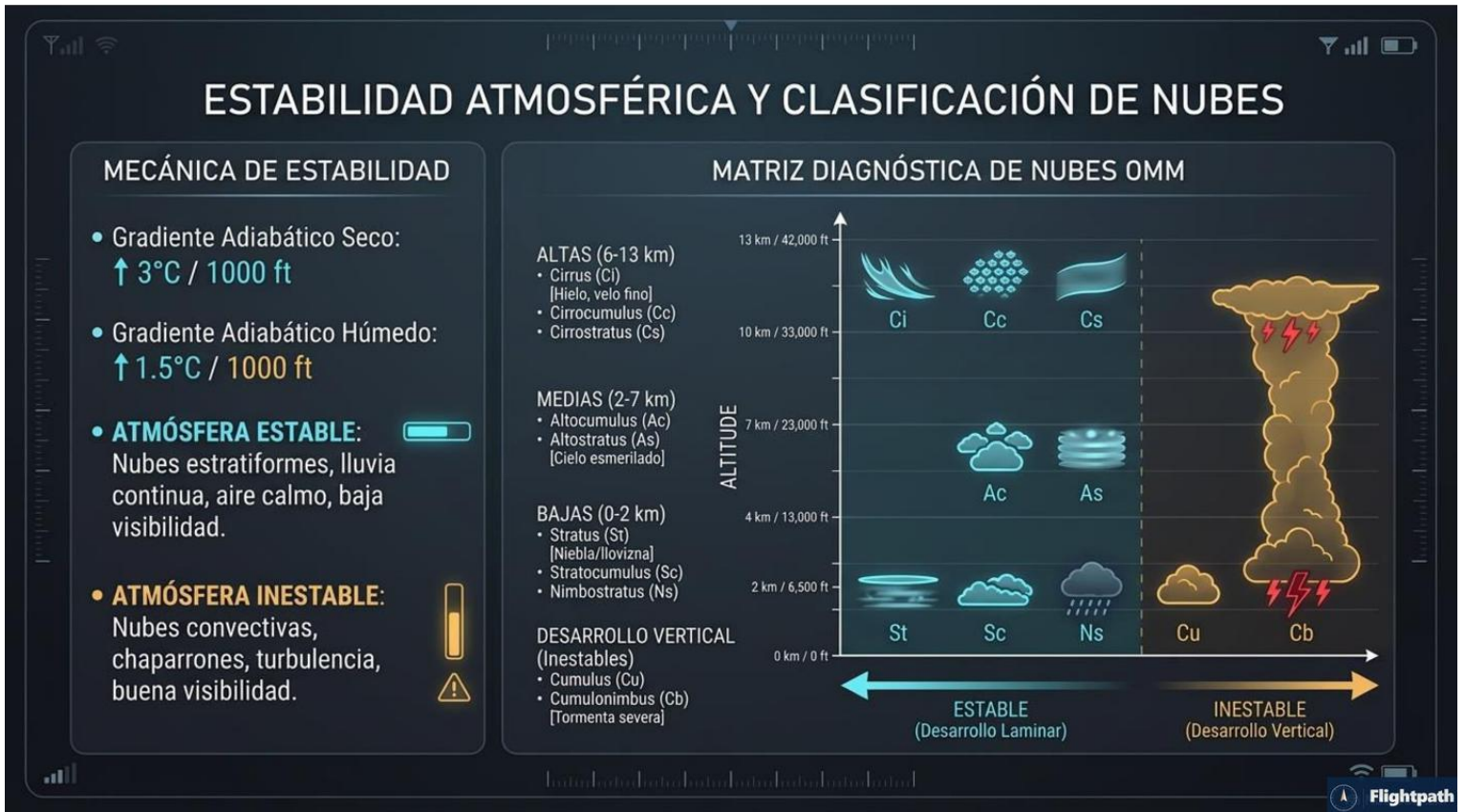


### 6.3 Indicadores prácticos de inestabilidad

- Verticalidad de cumulus: si los cumulus crecen verticalmente más que su ancho, la atmósfera está inestable.
- Calor cerca de superficie + frío arriba (días cálidos en verano, calentamiento solar fuerte): inestabilidad por la base.
- Convección visible: cumulus de buen tiempo se transforman en cumulus medianos → towering cumulus → cumulonimbus.
- Vientos con alta cizalladura vertical.
- Spread T-TD pequeño en niveles bajos y medios.
- Sistemas sinópticos asociados a inestabilidad: frentes fríos, líneas de inestabilidad, convergencia del SACZ (South Atlantic Convergence Zone - Zona de Convergencia del Atlántico Sur).

## 6.4 Indicadores prácticos de estabilidad

- Capa de nubes estratiformes (Stratus, Stratocumulus) extendida horizontalmente.
- Niebla persistente.
- Inversión visible (humo «pegado» a una capa).
- Vientos suaves, sin rachas significativas.
- Aire muy seco o muy claro («cielo nítido» suele ser estable).



## Capítulo 7. Nubes

### 7.1 Formación de las nubes

Una nube se forma cuando una masa de aire se enfría hasta su punto de rocío y comienza la condensación en torno a núcleos de condensación (partículas de polvo, sales marinas, contaminantes, sulfatos).

Mecanismos de enfriamiento del aire que producen nubes:

- Ascenso convectivo: calentamiento solar del suelo → aire caliente sube → enfría adiabáticamente → forma cumulus.
- Ascenso orográfico: el viento empuja aire contra una sierra o cordillera → asciende → forma nubes orográficas en la ladera barlovento.

- Ascenso frontal: aire cálido cabalga sobre aire frío en un frente → forma nubes a lo largo del frente.
- Ascenso por convergencia: dos masas de aire convergen horizontalmente → la única salida es ascender → nubes en la zona de convergencia.
- Enfriamiento radiativo o por advección: el aire en superficie pierde calor → puede formar niebla o estratos bajos.

## 7.2 Clasificación de nubes — el sistema OMM

La OMM clasifica las nubes en diez géneros, agrupados por altitud:

Familia	Altitud típica (latitudes medias)	Géneros
Nubes altas	6 – 13 km (20.000 – 43.000 ft)	Cirrus (Ci), Cirrocumulus (Cc), Cirrostratus (Cs)
Nubes medias	2 – 7 km (7.000 – 23.000 ft)	Alto cumulus (Ac), Altostratus (As)
Nubes bajas	0 – 2 km (0 – 7.000 ft)	Stratus (St), Stratocumulus (Sc), Nimbostratus (Ns)
Desarrollo vertical	Base baja, tope alto	Cumulus (Cu), Cumulonimbus (Cb)

## Guía Técnica: Formación, Clasificación y Seguridad ante Nubes en Instrucción Aeronáutica

Esta guía sintetiza los mecanismos físicos de formación nubosa (convección, enfriamiento y hielo) y su categorización operativa. Se enfoca en la identificación de nubes de desarrollo vertical, estableciendo los márgenes de seguridad necesarios para la operación de aeronaves de instrucción.

PROCESO DE FORMACIÓN Y NIVELES ATMOSFÉRICOS			NUBES PELIGROSAS Y PROTOCOLOS DE SEGURIDAD		
<b>Mecanismos de Origen Físico</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <b>Convección</b>              Cumuliiformes         </div> <div style="text-align: center;"> <b>Enfriamiento de Masa</b>              Estratiformes         </div> <div style="text-align: center;"> <b>Cristales de Hielo</b>              Cirroiformes         </div> </div>			<b>Amenazas: CB y TCU</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <b>Cumulonimbus (CB)</b> ⚠️              Turbulencia severa y granizo.         </div> <div style="text-align: center;"> <b>Cúmulus de Gran Desarrollo (TCU)</b> ⚠️              Generan turbulencia y precipitación.         </div> </div>		
<b>Clasificación por Niveles</b> <div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <b>Altas</b> (6-13 km)  </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <b>Medias</b> (2-7 km)  </div> <div> <b>Bajas</b> (0-2 km)  </div> </div>		<b>Desarrollo Vertical Crítico</b>  Desarrollo Vertical Nubes con base baja y topes altos que indican inestabilidad atmosférica severa.		<b>Regla de Distancia Mínima</b>  Separación <b>10 MN</b> (Mínimo Legal) <b>20 MN</b> (Recomendado Instrucción)	
<b>Acciones ante el Peligro</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <b>PROHIBIDO</b>              Volar bajo la base         </div> <div style="text-align: center;"> <b>PROHIBIDO</b>              Volar sobre el yunque         </div> <div style="text-align: center;"> <b>PROHIBIDO</b>              Volar entre células de tormenta         </div> </div>					

### 7.3 Descripción operacional por género

#### Nubes altas

- Cirrus (Ci): filamentos finos, blancos, de hielo. Su presencia aislada indica buen tiempo; si avanzan desde el oeste, anuncian frente cálido en 12–48 horas.
- Cirrocumulus (Cc): pequeños copos. El típico «cielo aborregado». Estables, pero pueden anteceder mal tiempo.
- Cirrostratus (Cs): velo translúcido que cubre el cielo. Producen halos alrededor del sol/luna por refracción en cristales de hielo. Indican aproximación de frente.

#### Nubes medias

- Altostratus (As): capa gris uniforme que cubre el cielo. El sol se ve como «detrás de un vidrio esmerilado». Asociada a frentes cálidos y precipitación inminente.
- Altopumulus (Ac): masas con aspecto de algodón en capa media. Pueden anunciar tormentas si tienen estructura «en castillos» (Ac castellanus). Estos últimos son señal de inestabilidad en altura — atención al pronóstico convectivo.
- Altostratus (As): capa gris uniforme que cubre el cielo. El sol se ve como «detrás de un vidrio esmerilado». Asociada a frentes cálidos y precipitación inminente.

#### Nubes bajas

- Stratus (St): capa uniforme baja, gris. Producen llovizna. Reducen visibilidad y techo. Comunes en costa atlántica argentina, valle del Río de la Plata, mañanas con inversión.

- Stratocumulus (Sc): rollos o masas grises bajas. Cobertura típica de costa atlántica argentina y zonas próximas al mar.
- Nimbostratus (Ns): capa gris oscura, espesa, que produce precipitación continua (lluvia o nieve). Asociada a frentes cálidos activos. Suele tener varios miles de pies de espesor.

### **Desarrollo vertical (las nubes operacionalmente más importantes)**

- Cumulus (Cu): «nubes de algodón». El típico Cu humilis (de buen tiempo) tiene base plana y tope redondeado. Cu mediocris, mayor desarrollo. Cu congestus o Towering Cumulus (TCU): desarrollo vertical importante, pueden producir chubascos.
- Cumulonimbus (Cb): el padre de las tormentas. Desarrollo vertical desde la base baja (1.000–3.000 ft) hasta la tropopausa (típicamente 30.000–60.000 ft, en NOA argentino pueden superar). Tope en forma de yunque (incus) por cizalladura en altura. Producen: tormenta eléctrica, granizo, ráfagas violentas, turbulencia severa, microbursts, engelamiento severo, lluvia torrencial. Es el enemigo número uno del piloto. Más detalle en Parte 3.

**ADVERTENCIA:** La distancia segura mínima a un cumulonimbo activo según OACI y FAA es 10 NM ( $\approx$  18 km). En aviación general, prudencia recomendada: 20 NM. Cerca de un Cb hay turbulencia, descargas, granizo arrojado a kilómetros del núcleo y microbursts (ráfagas descendentes violentas) que pueden llegar al suelo a varios kilómetros de la base. NO se pasa entre dos Cb, no se sobrevuela, no se pasa por debajo.

## 7.4 Reporte de la nubosidad en aviación

La cobertura nubosa se mide en octavos del cielo cubierto, pero se reporta en METAR/TAF con códigos:

- SKC (Sky Clear): cielo despejado, sin nubes.
- CLR: variante usada en algunos productos, igual.
- FEW: pocas nubes (1–2 octavos, 1/8 a 2/8).
- SCT (Scattered): dispersas (3–4 octavos).
- BKN (Broken): fragmentadas, mayoría del cielo cubierto (5–7 octavos).
- OVC (Overcast): cubierto completamente (8/8).
- NSC (Nil Significant Cloud): no hay nubes significativas (operacionalmente — usado con CAVOK o cuando todas las nubes están sobre 5.000 ft o por encima de la altitud de criterio).

Altura de la base se reporta en cientos de pies AGL respecto al aeródromo. Ejemplo: BKN025 = nubes fragmentadas a 2.500 ft AGL.

Tipos especiales que SIEMPRE se reportan independientemente de cobertura:

- CB (Cumulonimbus): se reporta aunque haya un solo Cb. Ejemplo: FEW040CB.
- TCU (Towering Cumulus): se reporta. Ejemplo: SCT030TCU.

## 7.5 Techo de nubes (ceiling)

El «techo» en aviación es la altura de la base de la primera capa de nubes BKN u OVC. Es CRÍTICO para operación VFR. Una capa SCT a 2.000 ft no es «techo» (no es BKN/OVC). Una capa BKN a 2.000 ft sí lo es.

**NOTA:** *Un piloto PPA debe siempre verificar techo y visibilidad reportados antes de salir, y compararlos con sus mínimos personales y con los mínimos legales para el espacio aéreo de operación. En zonas de relieve (sierras, Patagonia, Andes), considerar también la altura del techo en RUTA, no solo en el aeródromo.*

## Capítulo 8. Precipitación

### 8.1 Mecanismo de formación

Para que las gotas de nube precipiten, deben crecer lo suficiente para vencer la corriente ascensional y caer. Dos procesos:

- Crecimiento por colisión-coalescencia: las gotas más grandes caen más rápido, chocan con las pequeñas, las absorben. Eficiente en nubes cálidas (tropicales, sin cristales de hielo).
- Proceso Bergeron-Findeisen: en nubes mixtas (con agua líquida y cristales de hielo), los cristales crecen a expensas del agua líquida porque la presión de saturación sobre hielo es menor que sobre agua. Es el mecanismo principal en latitudes medias.

### 8.2 Tipos de precipitación

- Lluvia (RA): gotas líquidas, diámetro > 0,5 mm.
- Llovizna (DZ): gotas pequeñas, < 0,5 mm.
- Lluvia engelante (FZRA, freezing rain): lluvia que cae a temperatura sobre 0 °C pero se congela al impactar superficies a temperatura bajo 0 °C. EXTREMADAMENTE PELIGROSA para aviación; ver Parte 3.
- Llovizna engelante (FZDZ): variante de FZRA.
- Nieve (SN): cristales de hielo. En Argentina típica en Patagonia y cordillera; eventos esporádicos en sierras y planicie patagónica.
- Aguanieve (RASN, SLEET): mezcla de lluvia y nieve.
- Granizo (GR): bolas de hielo, > 5 mm. Originadas en cumulonimbos. Daño mecánico al avión severo.
- Granizo pequeño (GS, small hail): < 5 mm.
- Hielo en pequeños cristales (IC, ice crystals): a muy bajas temperaturas.

Intensidades en METAR (delante del tipo):

- Sin signo: moderada.
- Signo «-»: débil. Ej: -RA = lluvia débil.

- Signo «+»: fuerte. Ej: +TSRA = tormenta con lluvia fuerte.

### 8.3 Carácter de la precipitación

- Continua: caída persistente, intensidad uniforme. Asociada a frentes cálidos o nimbostratus.
- Intermitente: con pausas, sin cambios bruscos.
- Chubasco (Shower, SH): caída de corta duración con cambios bruscos de intensidad. De cumulus congestus o cumulonimbus. Ejemplo: SHRA = chubasco de lluvia.
- Tormenta (Thunderstorm, TS): con actividad eléctrica. Ejemplo: TSRA = tormenta con lluvia.

## Capítulo 9. Masas de aire

### 9.1 Concepto

Una masa de aire es un volumen extenso de aire con propiedades de temperatura y humedad relativamente homogéneas, originado sobre una región fuente. Las masas se clasifican por:

- Latitud de origen: Ártico (A), Polar (P), Tropical (T), Ecuatorial (E).
- Naturaleza de la superficie: Marítima (m) o continental (c).

Tipos relevantes para Argentina:

- mP (marítima polar): origen Pacífico Sur, océano frío. Es la masa que llega tras un frente frío. Húmeda, fría, inestable en su parte baja (calentada por la superficie cálida argentina), produce cumulus tras el frente.
- cP (continental polar): origen Antártico-Patagonia interior. Fría, seca, estable. Llega con bloqueos.
- mT (marítima tropical): origen Atlántico subtropical (centrado a 30°S sobre el océano). Cálida, muy húmeda. Es la masa dominante en el NEA y centro de Argentina durante el verano. Inestable: alimenta convección y tormentas.
- cT (continental tropical): origen NOA, Chaco interior. Cálida, seca. Estable en niveles bajos.

Cuando una masa se desplaza, su base se modifica por la superficie sobre la que pasa. Una masa mP que cruza la pampa argentina cálida se calienta en su base y se vuelve inestable. Una masa mT que se desplaza al sur sobre aguas más frías se enfría en su base y se estabiliza.

## Capítulo 10. Frentes

### 10.1 Concepto

Un frente es la zona de contacto (transición) entre dos masas de aire de distintas características. No es una línea ni una pared: es una zona inclinada de algunas decenas a centenas de kilómetros de ancho horizontalmente, y de unos kilómetros de espesor vertical.



*La interpretación de cartas sinópticas permite al piloto anticipar las condiciones en ruta.*

## 10.2 Tipos de frentes

### *Frente frío*

Avance de aire frío contra aire cálido. El frío, más denso, se mete debajo del cálido y lo eleva.

Características:

- Pendiente fuerte (la masa fría avanza «empujando»): 1:50 a 1:100.
- Velocidad de desplazamiento alta: 25–45 kt típica en Argentina.
- Levantamiento violento del aire cálido → CONVECCIÓN.
- Nubes asociadas: cumulus, cumulonimbus, tormentas en línea («línea de inestabilidad» o «squall line» pre o post-frontal).
- Precipitación intensa pero de corta duración: chubascos, tormentas.
- Tras el pasaje: viento gira (en hemisferio sur, del NE/N → S/SO o W, en sentido contrahorario respecto a su evolución meridional), temperatura desciende, humedad cae, presión sube, cielo se despeja.
- En cartas, se representa con triángulos en la línea frontal (apuntando en el sentido de avance).

### *Frente cálido*

Avance de aire cálido contra aire frío. El cálido, menos denso, cabalga sobre el frío. Características:

- Pendiente suave: 1:200 a 1:300.
- Velocidad de desplazamiento menor.
- Levantamiento gradual del aire cálido → nubes estratiformes.

- Nubes asociadas: progresión desde cirrus → cirrostratus → altostratus → nimbostratus a medida que se acerca el frente. Las primeras nubes pueden aparecer 24–48 horas antes.
- Precipitación continua, débil a moderada, persistente.
- Tras el pasaje: viento gira de manera variable, temperatura sube, humedad sube, presión deja de caer.
- En cartas, semicírculos en la línea frontal (en el sentido de avance).

## Weather Fronts: Operational Guide for Pilots

- Visual technical identification of front types.
- Interpretation of symbology on meteorological charts.
- Associated risks and flight conditions for general aviation (Cessna 172 and similar).

### STEP 1: TECHNICAL SYMBOLOGY AND CLASSIFICATION ON CHARTS

#### Frontal Symbology



#### COLD FRONT

Blue triangles: rapid and violent advance (25-45 kt).



#### WARM FRONT

Red semicircles: gradual and slow advance over cold air.



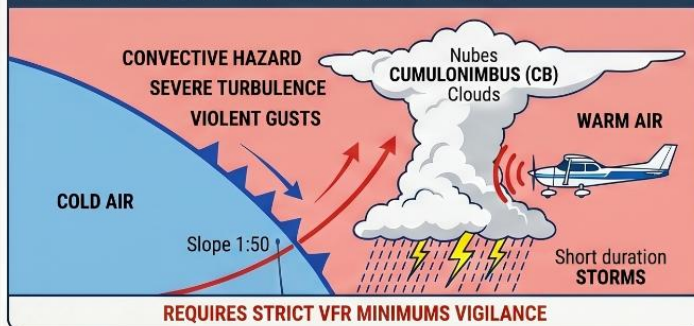
#### OCCCLUDED / STATIONARY

Mixed: masses that overtake or remain static.

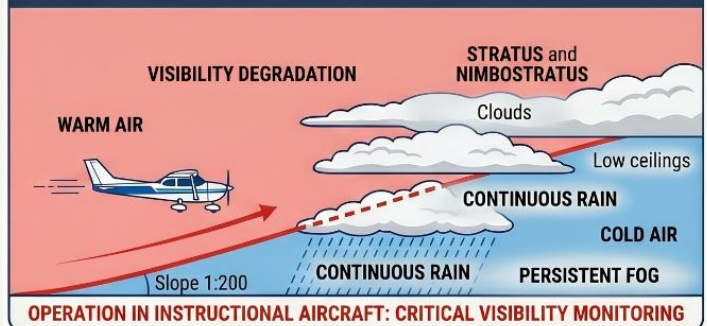
#### Visual Identification on SIGWX



### STEP 2: COLD FRONT CHARACTERISTICS AND RISKS



### STEP 3: WARM FRONT CHARACTERISTICS AND RISKS



### Frente ocluido

Cuando un frente frío más rápido alcanza a un frente cálido que lo precede, el aire cálido «se levanta» del suelo y queda en altura, formándose una oclusión. Hay dos tipos: frío y cálido, según la temperatura relativa de las masas en superficie. En cartas: semicírculos y triángulos del mismo lado.

### Frente estacionario

Cuando dos masas se encuentran pero ninguna avanza sobre la otra. Tiempo persistente, lluvia prolongada en una zona, sin desplazamiento. En cartas: triángulos a un lado, semicírculos al otro, alternando.

## 10.3 Estructura típica de un frente frío en pampa argentina

Secuencia clásica de pasaje de un frente frío sobre Buenos Aires:

1. Antes del frente: viento del N o NE, temperatura alta, humedad creciente, presión descendente. Cielo con cirrus → altostratus.
2. Aproximación del frente: cumulus crecientes, líneas de Cb visibles al oeste/SO. Viento puede aumentar y rachear.
3. Pasaje del frente: tormentas, lluvia intensa, granizo posible, vientos racheados y violentos, descenso rápido de temperatura. Duración del pasaje: 30 min a 3 horas.
4. Tras el frente: viento del SO o S (Pampero), temperatura sigue cayendo, presión sube rápidamente, cielo se va despejando con cumulus residuales que se disipan. Buena visibilidad. «Día limpio» tras el Pampero, frío y seco, óptimo para volar.

**NOTA:** El pronóstico de pasaje frontal es crítico para PPA en Buenos Aires. El SMN suele acertar dentro de  $\pm 3$  horas. Planificar un vuelo «justo antes» del frente es riesgoso: si se atrasa la salida, hay convección activa en la ruta.

## Capítulo 11. Sistemas de presión

### 11.1 Anticiclones (altas presiones, H o A)

Zonas de presión más alta que su entorno. En el hemisferio sur, el aire circula alrededor del centro en sentido ANTIHORARIO. En el centro, descendencia (subsistencia) → calentamiento adiabático → inversión de subsistencia → cielos claros, aire seco, buen tiempo.

El Anticiclón del Atlántico Sur es el centro semipermanente que domina el clima del centro-norte argentino la mayor parte del año.

### 11.2 Depresiones / ciclones (bajas presiones, L o B)

Zonas de presión más baja que su entorno. Aire circula en sentido HORARIO en el hemisferio sur. En el centro, ascendencia → enfriamiento adiabático → formación de nubes → mal tiempo, frentes, precipitación.

Tipos relevantes para Argentina:

- Ciclones extratropicales: las típicas «borrascas» de latitudes medias, asociadas a frentes y al cinturón de los oestes. Cruzan Argentina de oeste a este.
- Bajas térmicas: depresiones poco profundas formadas por calentamiento solar del terreno (chaqueña, NOA en verano). Generan convergencia y convección local.
- Ciclones costeros del litoral del Río de la Plata: asociados a sudestadas.
- Sistemas convectivos de mesoescala (SCM): grandes acumulaciones de tormentas organizadas, típicos del Litoral y NEA argentino en primavera-verano. Producen precipitación intensa y vientos lineales severos. Detectados por imágenes satelitales.

### 11.3 Cuñas y vaguadas

- Cuña (ridge): extensión alargada de altas presiones desde un anticiclón. Tiempo estable a lo largo de la cuña.
- Vaguada (trough): extensión alargada de bajas presiones desde una depresión. Tiempo inestable, posibles frentes, convección.

## Capítulo 12. Meteorología regional argentina

Argentina abarca casi 40° de latitud y tiene topografía muy variada. El piloto PPA debe conocer las particularidades regionales:

## VIENTOS REGIONALES ARGENTINOS

Son vientos persistentes que soplan en regiones específicas del país y pueden afectar las condiciones de vuelo.

**INFLUYEN EN EL CLIMA, LA VISIBILIDAD Y LA NAVEGACIÓN.**

- Pueden generar turbulencia, turbulencia en rotor y cambios bruscos de condiciones.
- Conocer sus características ayuda a planificar vuelos más seguros.



**ZONDA**

Viento cálido, seco y descendente. Sopla del oeste sobre la cordillera de los Andes.



- Aumenta rápidamente la temperatura.
- Disminuye la humedad.
- Puede generar turbulencia en sotavento.

**PAMPERO**

Viento frío, seco y fuerte. Sopla del sudoeste hacia el centro y norte del país.



- Descenso de la temperatura.
- Rachas intensas.
- Mejora la visibilidad después de su paso.

**SUDESTADA**

Viento húmedo que sopla del sudoeste/sudeste desde el Atlántico hacia la costa bonaerense y el Río de la Plata.



- Aumento de la nubosidad y las precipitaciones.
- Crecida del nivel del mar.
- Reducción de la visibilidad.

**TENÉ EN CUENTA** Los vientos regionales pueden cambiar la performance de la aeronave y la planificación del vuelo. Consultá siempre los reportes meteorológicos actualizados antes de volar.





### 12.1 Pampa húmeda (Buenos Aires, Santa Fe, sur de Córdoba, La Pampa, Entre Ríos)

- Régimen frontal típico: pasajes de frentes del Pacífico atravesando de O a E cada 5–10 días.
- Aire dominante: mT del Atlántico en verano, mP postfrontal en invierno.
- Convección estival fuerte, tormentas eléctricas frecuentes especialmente al atardecer.

- Niebla matinal en invierno por inversión radiativa: SAEZ, SABE, SAAR pueden tener niebla al amanecer en invierno.
- Sudestadas con vientos del SE persistentes y mal tiempo prolongado, varias por año.
- Pampero post-frontal seco.

### **12.2 NOA (Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero)**

- Régimen monzónico estival: precipitaciones concentradas en verano (noviembre-marzo), por convección térmica e ingreso de aire amazónico húmedo.
- Temperaturas extremas en verano: + 40 °C en valles. Altitud densidad muy alta en aeródromos.
- Aeródromos en altitud: SASA Salta 4.058 ft, SANT Tucumán 1.500 ft, SASJ Jujuy 4.058 ft. Performance degradada.
- Convección muy intensa en verano: tormentas con tops > 50.000 ft, granizo grande.
- En invierno, generalmente seco y despejado. Frío nocturno en valles.
- Tormentas eléctricas casi diarias entre diciembre y marzo en muchos valles.

### **12.3 Cuyo (Mendoza, San Juan, San Luis)**

- Aridez generalizada: lluvias < 250 mm/año.
- Zonda: viento descendente cálido y seco del oeste, con rachas > 100 km/h y temperaturas extremas. Más frecuente en invierno-primavera. Genera condiciones de turbulencia severa, rotor, riesgo de incendio, degradación del rendimiento humano.
- Cordillera muy cercana: meteorología orográfica intensa.
- Aeródromos: SAME Mendoza 2.310 ft, SAMR San Rafael, SAMS Malargüe. Operación afectada por el Zonda.
- Vientos del valle cordillerano fuertes y persistentes.

## Seguridad Meteorológica en la Cordillera de los Andes: Guía para Pilotos Privados

Esta guía detalla la dinámica del aire al cruzar los Andes, centrándose en el Viento Zonda y las ondas orográficas, para proporcionar herramientas para una decisión 'Go/No-Go' fundamentada en la seguridad operacional.

### DINÁMICA ATMOSFÉRICA EN LA MONTAÑA

#### Barlovento vs. Sotavento



En barlovento el aire asciende y precipita; en sotavento desciende seco, cálido y turbulento.

#### El Viento Zonda (Efecto Foehn)



Viento del oeste que llega a Cuyo con temperaturas extremas y ráfagas superiores a 100 km/h.

#### Ondas Orográficas y Rotores



Las nubes lenticulares indican ondas; los rotors bajo ellas generan turbulencia extrema y peligrosa.

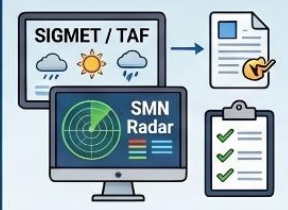
### PLANIFICACIÓN Y DECISIÓN OPERACIONAL

#### Cruce por Pasos Cordilleranos



Utilizar solo pasos autorizados con visibilidad total; los cambios meteorológicos allí son repentinos.

#### Consulta de Fuentes Oficiales



Verificar siempre **SIGMET, TAF** y **radares del SMN** antes de iniciar el vuelo.

#### Decisión Crítica: Go / No-Go



Si el Zonda está activo o hay ondas de montaña severas, la decisión profesional es cancelar.

#### MÍNIMOS PERSONALES RECOMENDADOS (PILOTO NOVATO)

Visibilidad en Ruta	Techo de Nubes	Viento Cruzado
Mayor a <b>10 km</b>	Superior a <b>3.000 ft AGL</b>	Máximo <b>10 nudos</b>

## 12.4 Patagonia (Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego)

- Régimen de vientos del oeste muy persistente y fuerte. «40 rugientes» y «50 furiosos» soplan sobre el territorio.
- Vientos medios de 30–50 kt, rachas frecuentes > 60 kt. Operaciones muy limitadas por viento cruzado y rachas.
- Aeródromos patagónicos diseñados con pistas orientadas al viento dominante: SAZS Bariloche, SAVC Comodoro Rivadavia, SAWG Río Gallegos, SAWH Ushuaia.
- Frentes del Pacífico cruzan rápidamente; tras el frente, cielo despejado pero vientos muy fuertes.
- Ondas de montaña en la cordillera austral, rotor en sotavento.
- Nieve invernal frecuente.
- Verano fresco; primaveras y otoños ventosos.

**ADVERTENCIA:** La operación VFR en Patagonia exige experiencia. Los vientos cruzados rutinarios exceden el demostrado de muchos entrenadores básicos. El pronóstico de viento debe verificarse cada pocas horas: las condiciones cambian rápidamente y un vuelo que sale con 20 kt puede aterrizar con 40 kt.

## 12.5 Litoral (Misiones, Corrientes, Entre Ríos, NE Santa Fe)

- Clima subtropical húmedo. Aire mT dominante, alta humedad casi todo el año.
- Tormentas convectivas intensas, sistemas de mesoescala frecuentes en primavera-verano.
- Lluvias abundantes (1.500–2.000 mm/año en Misiones).
- Niebla y neblina frecuentes en mañanas de invierno por humedad acumulada.
- Aeródromos típicos: SARI Iguazú, SARP Posadas, SARC Corrientes, SAAR Rosario (límitrofe).

## 12.6 Cordillera de los Andes

- Operación PPA estrictamente restringida: cruces por pasos específicos, en condiciones óptimas, con experiencia, oxígeno y equipo.
- Vientos del oeste persistentes: ondas de montaña, rotor en sotavento.
- Nubes lenticulares (Alto cumulus lenticularis): signo visible de ondas de montaña. Su presencia indica turbulencia severa probable en la zona.
- Cambios meteorológicos rápidos: un paso despejado por la mañana puede cerrarse en 2–3 horas.
- Pronóstico difícil: estaciones meteorológicas escasas en zonas de altura.
- La climatología favorable es típicamente verano por la mañana temprana. Tardes y crepúsculos producen convección y/o cierre de pasos.

# ONDAS DE MONTAÑA: GUÍA DE SEGURIDAD PARA PILOTOS (PPA)

## Sección 1: Formación y Estructura del Fenómeno

**Condición de Formación**



> 25 nudos  
Viento Perpendicular

Aire Estable

**Flujo en Sotavento**

El aire oscila al bajar la ladera, creando ondas que alcanzan grandes altitudes.



**El Rotor de Sotavento**

Vórtice horizontal de turbulencia extrema formado bajo la cresta de la primera onda.



TURBULENCIA EXTREMA

## Sección 2: Identificación Visual y Riesgos

**Alto cumulus Lenticularis**

Nubes con forma de lente que indican la presencia de ondas y turbulencia severa.



**Peligros Operacionales**

Ascenso  
+3,000 pies/min



Superan el rendimiento del avión.

Descenso  
-3,000 pies/min

**Acción de Seguridad**

Volar significativamente por encima



Evitar la zona

**ADVERTENCIA:** La JST registra múltiples accidentes de aviación general en pasos cordilleranos por encuentro con meteorología no anticipada. La regla operacional: **NO PASAR** si las condiciones no son ampliamente seguras, con escape a un alternativo previsto. Mejor un día más de espera que un cruce dudoso.

## PARTE 2 — Procedimientos para obtener información meteorológica y uso de la misma

La meteorología teórica vale lo que el piloto sepa hacer con ella en operación. Esta parte enseña a obtener, interpretar y usar los productos meteorológicos oficiales argentinos e internacionales: dónde se publican, cómo se leen, qué se hace con ellos. La habilidad central a desarrollar es construir un «cuadro mental» del tiempo a partir de los productos disponibles, y traducirlo en decisiones operacionales concretas.

### Capítulo 13. Organismos y fuentes en Argentina



*El análisis del pronóstico meteorológico antes de cada vuelo es parte fundamental del planeamiento.*

#### 13.1 Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

El SMN es el organismo del Estado argentino responsable del servicio meteorológico, dependiente del Ministerio de Defensa. Sus funciones aeronáuticas:

- Observación: red de estaciones meteorológicas aeronáuticas (METAR/SPECI).
- Pronóstico: emisión de TAF para aeródromos principales, SIGMET y AIRMET para FIRs, GAMET para vuelo a baja altura.
- Cartas: SIGWX (Significant Weather Chart) y cartas de viento y temperatura en altura.
- Información para el piloto: VOLMET en radio, briefing en oficinas, productos digitales.
- Mantenimiento del registro climatológico.

Sitio oficial: <https://www.smn.gov.ar>. Sección aeronáutica con productos al día.

## 13.2 EANA

La Empresa Argentina de Navegación Aérea S.E. es el proveedor de servicios de tránsito aéreo. Su rol meteorológico:

- Publicación del AIP Argentina (Sección GEN 3.5 Servicios Meteorológicos).
- Operación de las oficinas ARO/AIS (Oficinas de Reporte ATS / Información Aeronáutica) que también entregan briefing meteorológico.
- Coordinación con el SMN para distribución de información a las dependencias ATS.
- Operación de ATIS en aeropuertos controlados.
- Difusión de NOTAM y SIGMET vía AIM.

Sitio EANA: <https://eana.com.ar>

## 13.3 ANAC

La ANAC regula los procedimientos aeronáuticos. RAAC 91 establece las obligaciones del piloto al mando respecto a la información meteorológica:

- Publicación del AIP Argentina (Sección GEN 3.5 Servicios Meteorológicos).
- Familiarizarse con toda la información disponible para el vuelo (RAAC 91.103 o equivalente).
- Verificar las condiciones meteorológicas en origen, ruta y destino, y los alternativos cuando corresponda.
- Cumplir mínimos VMC para operación VFR.

## 13.4 Organismos internacionales

- OMM (Organización Meteorológica Mundial): estandariza formatos METAR/TAF, define códigos.
- OACI: Anexo 3 al Convenio de Chicago establece los servicios meteorológicos para la navegación aérea internacional.
- OACI Doc. 8896 — Manual de meteorología aeronáutica.
- Centros Meteorológicos Mundiales (WAFC): producen cartas globales de tiempo significativo y viento/temperatura. Para Sudamérica: WAFC Washington.

# Capítulo 14. METAR y SPECI

## 14.1 Generalidades

METAR (METeorological Aerodrome Report) es un reporte meteorológico horario emitido en cada aeródromo con servicio. SPECI es la versión especial emitida cuando ocurre un cambio significativo entre reportes horarios. Ambos siguen un formato OACI estandarizado.

Generación:

- METAR se emiten cada 30 minutos en aeropuertos principales y cada 60 minutos en aeródromos secundarios.
- La hora del reporte es la hora UTC (Zulu) de la observación.
- La vigencia operacional es desde la emisión hasta la siguiente.

## 14.2 Estructura del METAR

Un METAR estándar incluye, en orden:

5. Tipo: METAR o SPECI.
6. Indicador de localización OACI (4 letras): SABE, SAEZ, SACO, SAAR, etc.
7. Fecha y hora UTC: día (2 dígitos) y hora HHMM seguida de Z. Ejemplo: 151400Z = día 15, 14:00 UTC.
8. Modificadores opcionales: AUTO (automático sin observador), COR (corrección).
9. Viento: dirección (3 dígitos) y velocidad (2-3 dígitos) seguidos de KT, opcionalmente con ráfagas. Variabilidad si aplica.
10. Visibilidad: 4 dígitos en metros (9999 =  $\geq 10$  km). Visibilidad por sectores si aplica.
11. RVR (Runway Visual Range): si la visibilidad es  $< 1.500$  m, se reporta para las pistas equipadas.
12. Tiempo presente: precipitación, fenómenos, etc.
13. Nubes: cobertura y altura de capas significativas.
14. Temperatura / Punto de rocío: dos números separados por «/», con «M» para negativos. Ej: 24/18, 02/M01.
15. Reglaje altimétrico: «Q» seguido de QNH en hPa (ej. Q1014) o «A» seguido de inHg (ej. A2992).
16. Información suplementaria: temperatura de pista, fenómenos recientes, cizalladura.
17. Tendencia (TREND): NOSIG, BECMG, TEMPO o similar para las próximas 2 horas.

# Guía Paso a Paso: Decodificación del Reporte METAR

- Reporte Horario Oficial y Sintaxis Estándar OACI/SMN.
- Interpretación Secuencial y Técnica Campo por Campo.
- Construcción del Cuadro Mental para Planificación Segura.



## Tipo de Informe y Localizador



Identifica si es un reporte **METAR** horario (METAR) o especial (SPECI) y el aeródromo (ej. SABE).

## Fecha y Hora UTC (Zulú)



Los primeros dos dígitos indican el día; los siguientes cuatro, la hora y minutos UTC (Zulú).

180°

## Viento (Dirección y Velocidad)



12 KT



Dirección en grados verdaderos (3 dígitos) y velocidad en nudos (KT). Incluye ráfagas (G).

## Visibilidad y Fenómenos Presentes



Visibilidad en metros (9999 = 10km+) seguida de códigos de precipitación o reducción de visibilidad.

## Nubosidad (Capa y Altura)

Cumulonimbus

Presiecturea en octavos (FEW, BKN) y cientos de pies sobre el suelo. Indica **CB** si aplica.

BKN025

2500 ft



Cobertura en octavos (FEW, SCT, BKN, OVC) y altura en cientos de pies sobre el suelo. Indica **CB** si aplica.

## Reglaje Altimétrico (QNH)



Presión al nivel del mar en hectopascales (hPa) para ajustar el altímetro correctamente.



22°C

18°C

## Temperatura y Punto de Rocío

Indica la temperatura ambiente y el punto de saturación (**Spread**) para prever niebla.

## Ejemplo de Codificación (Referencia Rápida)

Código METAR	Campo Interpretado	Significado Operacional
18012 <b>G25KT</b>	Viento	Dirección 180°, 12 nudos con <b>ráfagas de 25 nudos</b> .
BKN025 <b>CB</b>	Nubes	Fragmentadas a 2.500 pies con presencia de <b>Cumulonimbus</b> .
Q1014	QNH	Presión de 1014 hPa para lectura de altitud AMSL.

## 14.3 Ejemplo completo de METAR descompuesto

«METAR SABE 151400Z 18012KT 9999 SCT025 BKN090 24/18 Q1014 NOSIG»

- METAR: tipo de reporte horario.
- SABE: Aeroparque Jorge Newbery, Buenos Aires.
- 151400Z: emitido el día 15 a las 14:00 UTC (11:00 local en horario estándar).
- 18012KT: viento del 180° a 12 nudos. Sin ráfaga reportada.
- 9999: visibilidad  $\geq$  10 km.
- SCT025 BKN090: dispersas a 2.500 ft AGL, fragmentadas a 9.000 ft AGL.
- 24/18: temperatura 24 °C, punto de rocío 18 °C (spread 6 °C, RH alta pero no saturada).
- Q1014: QNH 1014 hPa.
- NOSIG: no se esperan cambios significativos en las próximas 2 horas.

## 14.4 Otro ejemplo más complejo

«METAR SAEZ 152030Z 27015G25KT 6000 -SHRA SCT020 BKN040CB 21/19 Q1010 BECMG 2200/2204 2202G35KT 3000 TSRA BKN015CB»

- SAEZ: Ezeiza.

- 152030Z: día 15, 20:30 UTC (17:30 local).
- 27015G25KT: viento del 270° a 15 nudos, ráfagas a 25.
- 6000: visibilidad 6 km.
- –SHRA: chubasco de lluvia débil.
- SCT020 BKN040CB: dispersas a 2.000 ft, fragmentadas a 4.000 ft con cumulonimbos.
- 21/19: T 21 °C, TD 19 °C. Spread bajo, atmósfera saturada → propensión a niebla y/o más convección.
- Q1010.
- BECMG 2200/2204: tendencia BECMG. Cambio gradual entre 22:00 y 04:00 UTC del día siguiente.
- 22020G35KT 3000 TSRA BKN015CB: a esas condiciones, viento del 220°, 20 nudos, ráfagas 35; visibilidad 3 km; tormenta con lluvia; fragmentadas a 1.500 ft con Cb.

#### 14.5 Reporte de viento — casos especiales

- Calma: 00000KT.
- Variable: VRB seguida de velocidad. Solo si el viento es  $\leq 3$  kt: VRB03KT. Para vientos mayores con variación, se reporta dirección media y rango: 24015KT 210V270 = viento medio del 240° a 15 kt, variando entre 210° y 270°.
- Ráfaga: la diferencia entre la velocidad media y la ráfaga máxima debe ser  $\geq 10$  kt para reportarla. Ejemplo: 18015G28KT = medio 15, ráfagas a 28.

#### 14.6 Reporte de visibilidad — casos especiales

- Visibilidad por sectores: si en alguna dirección es muy distinta, se reporta. Ej: 4000 1500NE = visibilidad principal 4.000 m, pero al NE 1.500 m.
- CAVOK reemplaza visibilidad, nubes y tiempo presente cuando se cumplen tres condiciones: visibilidad  $\geq 10$  km, no hay nubes operacionalmente significativas por debajo de 5.000 ft (o de la altitud mínima sectorial, la mayor) ni CB/TCU, y no hay tiempo significativo (RA, SN, etc.).



La reducción de visibilidad por niebla es una de las causas más frecuentes de vuelo inadvertido en IMC.

Ejemplo CAVOK: «METAR SACO 161200Z 31008KT CAVOK 18/05 Q1018 NOSIG». Significa visibilidad  $\geq 10$  km, sin nubes operacionalmente significativas bajo 5.000 ft, sin tiempo significativo. Es el cielo ideal.

### 14.7 Códigos de tiempo significativo en METAR

Los códigos del tiempo presente se componen de descriptores y fenómenos. Esquema general: [intensidad][descriptor][fenómeno].

Categoría	Códigos
Intensidad	- (débil), sin signo (moderado), + (fuerte)
Descriptor	MI (shallow), PR (partial), BC (patches), DR (drifting low), BL (blowing), SH (shower), TS (thunderstorm), FZ (freezing)
Precipitación	DZ (drizzle), RA (rain), SN (snow), SG (snow grains), IC (ice crystals), PL (ice pellets), GR (hail), GS (small hail)
Oscurcimiento	BR (mist/neblina, visibilidad 1–5 km), FG (fog/niebla, vis < 1 km), FU (smoke), VA (volcanic ash), DU (dust), SA (sand), HZ (haze/calima)
Otros	PO (dust devils), SQ (squall), FC (funnel cloud), SS (sandstorm), DS (duststorm)

Ejemplos combinados:

- -RA: lluvia débil.
- +TSRA: tormenta con lluvia fuerte.
- SHGR: chubasco de granizo.

- FZRA: lluvia engelante.
- BR: neblina (visibilidad 1.000–5.000 m).
- FG: niebla (visibilidad < 1.000 m).
- BCFG: bancos de niebla (en parches).
- VCTS: tormenta en las vecindades (5–10 NM, sin afectar el aeródromo directamente).
- RE (precedido): tiempo reciente (en los 60 min anteriores). Ej: RETSRA = tormenta con lluvia reciente.

## Capítulo 15. TAF (Terminal Aerodrome Forecast)

### 15.1 Generalidades

TAF es el pronóstico meteorológico para un aeródromo, válido por un período definido. Su estructura es similar al METAR pero con sintaxis específica para evolución temporal.

- TAF cortos: válidos 9 horas, emitidos cada 3 horas. Usados en aeródromos secundarios.
- TAF largos: válidos 24 o 30 horas, emitidos cada 6 horas. Usados en aeropuertos principales.
- En Argentina, el SMN emite TAF para los aeropuertos importantes (SABE, SAEZ, SACO, SAAR, SAME, SAZS, SAWH, etc.).

## TAF: Guía de Interpretación del Pronóstico de Aeródromo

### 1. Estructura y Validez del Reporte



### 2. Cambios Temporales (BECMG y TEMPO)

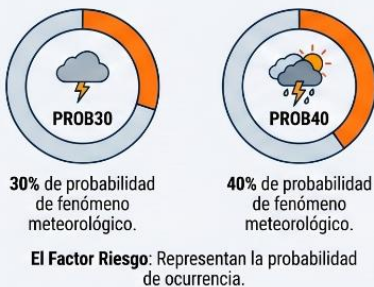


### 3. Probabilidad y Riesgo (PROB)



El Factor Riesgo: Representan la probabilidad de ocurrencia.

### 4. Planificación y Decisión GO/NO-GO



**Estrategia de Planificación Prevuelo:** Verifique siempre los TAF de todos los puntos.



**Criterio Operacional de Seguridad:** Si un grupo TEMPO está bajo sus mínimos personales, postergue o desvíe el vuelo. **NO GO.**

### 5. Ejemplo Práctico: TAF SACO (Córdoba)

Elemento	Código de Ejemplo	Significado Operacional
Identificación	TAF SACO 121100Z	Pronóstico para Córdoba emitido el día 12 a las 11:00 UTC.
Cambio Gradual	BECMG 1216/1218	Entre las 16h y 18h el viento rotará al 220° con ráfagas.
Transitorio	TEMPO 1218/1222	Tormentas fuertes con lluvia y nubes de tormenta (CB) temporales.

## 15.2 Estructura del TAF

18. Tipo: TAF.
19. Aeródromo OACI.
20. Hora de emisión: HHMMZ del momento en que se generó (día y hora UTC).
21. Período de validez: DDHH/DDHH (día y hora inicial / día y hora final UTC).
22. Condiciones predominantes: viento, visibilidad, tiempo, nubes — para el INICIO del período.
23. Grupos de cambio: BECMG, TEMPO, FM, PROB — que detallan evolución.

## 15.3 Códigos de cambio

- FM (FROM): cambio rápido a una nueva condición predominante. Ej: FM1500 = nueva condición desde las 15:00 UTC. Todo lo descrito tras FM reemplaza completamente lo anterior.
- BECMG (BECOMING): cambio GRADUAL durante una ventana, con duración no mayor a 2 horas. Ej: BECMG 1416/1418 = cambio gradual entre las 16:00 y 18:00 del día 14.
- TEMPO (TEMPORARY): condiciones TRANSITORIAS, esperadas en menos del 50 % del período, durando menos de una hora cada vez. Ej: TEMPO 1620/1624 +TSRA = tormenta con lluvia fuerte temporalmente entre 20:00 y 24:00 del día 16.
- PROB30 / PROB40: probabilidad del 30 % o 40 % de ocurrencia. Si > 50 %, se usa BECMG o TEMPO. Ej: PROB30 1818/1822 -SHRA = 30 % de probabilidad de lluvia débil en chubascos entre las 18:00 y 22:00 del día 18.

## 15.4 Ejemplo completo de TAF descompuesto

«TAF SACO 121100Z 1212/1312 19010KT 9999 SCT030 BECMG 1216/1218 22015G25KT TEMPO 1218/1222 4000 +TSRA BKN015CB BKN030 FM131000 28012KT CAVOK»

- TAF SACO: pronóstico para Córdoba.
- 121100Z: emitido día 12 a las 11:00 UTC.
- 1212/1312: válido desde día 12 a las 12:00 UTC hasta día 13 a las 12:00 UTC (24 horas).
- Condiciones predominantes inicial: 19010KT 9999 SCT030 = viento 190° a 10 kt, visibilidad ≥ 10 km, dispersas a 3.000 ft.
- BECMG 1216/1218 22015G25KT: cambio gradual entre 16:00 y 18:00 UTC del día 12, viento pasa a 220° a 15 con ráfagas a 25.
- TEMPO 1218/1222 4000 +TSRA BKN015CB BKN030: entre 18:00 y 22:00 UTC del día 12, temporalmente visibilidad 4 km, tormenta con lluvia fuerte, fragmentadas a 1.500 ft con cumulonimbos y a 3.000 ft.
- FM131000 28012KT CAVOK: desde las 10:00 UTC del día 13, viento del 280° a 12, condiciones CAVOK.

Esta secuencia indica: día 12 al mediodía buen tiempo; por la tarde aumento de viento; por la noche tormentas en chubascos; el día 13 por la mañana mejora completa.

## 15.5 Interpretación operacional del TAF

El TAF es la base de las decisiones de planificación. Recomendaciones para PPA argentino:

- LEER COMPLETO. No quedarse con la condición predominante: los TEMPO y BECMG son los que arruinan los vuelos.
- Cruzar TAF de ORIGEN, RUTA y DESTINO. Y de ALTERNATIVO.
- Si hay TEMPO con visibilidad o techo inferiores a sus mínimos personales o legales en la ventana de llegada, considere alternativo o postergación.
- Si hay PROB30 +TSRA en la ventana de llegada, considere riesgo de tormentas: replanificar para llegar antes o después.
- Vigile la fecha de emisión del TAF: si lo emitieron hace muchas horas y va a salir ahora, busque la última emisión.
- Compare el TAF con el METAR actual: si el TAF predijo lluvia para esta hora y el METAR dice lluvia, el TAF está acertando. Si el TAF predijo buen tiempo y el METAR muestra deterioro, el TAF puede estar fallando: aumentar conservadurismo.

## Capítulo 16. SIGMET, AIRMET y GAMET

### 16.1 SIGMET

SIGMET (Significant Meteorological information) es un aviso emitido por la oficina meteorológica de vigilancia de una FIR sobre fenómenos meteorológicos significativos para la operación aeronáutica.

Fenómenos que disparan un SIGMET (para PPA, los relevantes):

- Tormentas oscurecidas, embebidas, frecuentes o líneas de tormenta.
- Turbulencia severa.
- Englamamiento severo.
- Ondas de montaña severas.
- Tormenta de polvo o de arena extensa.
- Cenizas volcánicas.
- Ciclones tropicales (no aplica directamente a Argentina continental, sí a vuelos internacionales).

Estructura típica de SIGMET:

24. FIR de emisión y secuencia (ej: SAEF SIGMET 3).
25. Hora de validez (desde y hasta, UTC).
26. Fenómeno y descripción.

- 27. Área afectada (definida por coordenadas o puntos conocidos).
- 28. Nivel afectado (FL o ft AMSL).
- 29. Movimiento y evolución.

Ejemplo de SIGMET argentino:

«SAEF SIGMET 3 VALID 121800/122200 SAEZ-FIR EZEIZA SEV TURB FCST WI N3030 W06200 - N3500 W06200 - N3500 W05900 - N3030 W05900 BTN FL080 AND FL250 STNR INTSF»

- FIR Ezeiza, SIGMET número 3 del día.
- Validez 18:00 a 22:00 UTC del día 12.
- Fenómeno: turbulencia severa pronosticada.
- Área: rectángulo entre 30°30'S, 62°W y 35°S, 59°W.
- Niveles: entre FL080 y FL250.
- Estacionario, intensificándose.

## GUÍA TÉCNICA: REPORTES SIGMET Y AIRMET EN ARGENTINA

### DIFERENCIAS, CONTENIDO TÍPICO, COBERTURA DE ÁREA Y VIGENCIA

#### 1. PROPÓSITO Y DIFERENCIAS CLAVE

##### SIGMET:

- Avisa fenómenos **SIGNIFICATIVOS**
- Afectan la navegación aérea



##### AIRMET:

- Avisa fenómenos de **INTENSIDAD MEDIA/MODERADA**
- Principalmente para aviación general/ baja altitud



#### 2. CONTENIDO TÍPICO Y SÍMBOLOS

##### CB

(Cumulonimbus) y Tormentas

##### HIELO

Hielo Intenso (SIGMET) / Moderado (AIRMET)

##### TURBULENCIA

Turbulencia Severa (SIGMET) / Moderada (AIRMET)

##### CENIZA

Ceniza Volcánica (SIGMET)

#### 3. COBERTURA DE ÁREA (FIRs)

COBERTURA EN UN **ÁREA AMPLIA** (varias FIRs)



SIGMET, AIRMET (coven FIRs)

COBERTURA EN UN **ÁREA AMPLIA** (Una o varias FIRs)

#### 4. VIGENCIA Y EMISIÓN

SIGMET → 4 Horas máx. →

- Ceniza/Ciclón Trop.: hasta 6 Horas

AIRMET → 4 Horas máx. →

- Válido para fenómenos a menos de 4 Horas

#### 5. FUENTES DE CONSULTA EN ARGENTINA



SMN: Servicio Meteorológico Nacional (SMN)



EANA: Empresa Argentina de Navegación Aérea (EANA)



ANAC: Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC)

OTROS: Aplicaciones y sitios web autorizados

## 16.2 AIRMET

AIRMET es un aviso similar al SIGMET pero para fenómenos de menor intensidad, dirigido específicamente a aeronaves volando a baja altura (por debajo de FL100, típicamente). Fenómenos:

- Vientos en superficie sostenidos sobre cierto umbral (típicamente > 30 kt).
- Visibilidad reducida en zona extensa.
- Cobertura BKN o OVC con base bajo cierto umbral.
- Turbulencia moderada.
- Englamamiento moderado.
- Ondas de montaña moderadas.

Para PPA argentino, los AIRMET son tanto o más relevantes que los SIGMET, porque cubren los fenómenos que afectan al vuelo bajo VFR.

## 16.3 GAMET

GAMET (Area Forecast for Low-Level Flights) es un pronóstico de área para vuelos a baja altura (por debajo de FL100). Cubre la zona de una FIR y se emite cada 6 horas. Incluye viento, temperatura, fenómenos significativos. En Argentina, el SMN emite GAMET para las FIR principales.

## 16.4 Diferencia entre SIGMET/AIRMET y NOTAM

- SIGMET y AIRMET son meteorológicos, emitidos por el SMN, distribuidos a través de canales meteorológicos.
- NOTAM son aeronáuticos (pistas cerradas, radioayudas inoperativas, etc.), emitidos por EANA-AIS.
- Ambos deben consultarse SIEMPRE antes del vuelo.

# Capítulo 17. Cartas SIGWX y de viento/temperatura

## 17.1 Carta SIGWX (Significant Weather Chart)

La carta SIGWX representa gráficamente el tiempo significativo pronosticado para un horario de validez determinado. Se emite a distintos niveles (bajo, medio, alto) según la altitud cubierta. Para PPA argentino, la SIGWX de bajo nivel (hasta FL100 o FL150) es la más relevante.

Elementos que muestra:

- Frentes con simbología estándar.
- Centros de presión: H, L.
- Áreas de tormentas, turbulencia, englamamiento, niebla, montaña.
- Vientos significativos.

- Tropopausa y sus altitudes.
- Líneas de inestabilidad.
- Visibilidad reducida en áreas extensas.

La simbología es estándar OACI. Para interpretarla bien, el alumno debe familiarizarse con la leyenda de la carta (publicada con la carta o en el AIP-SMN).

## CARTAS SIGWX Y DE VIENTO/TEMPERATURA

Herramientas esenciales para la planificación y la toma de decisiones en vuelo.



Permiten anticipar condiciones meteorológicas significativas.



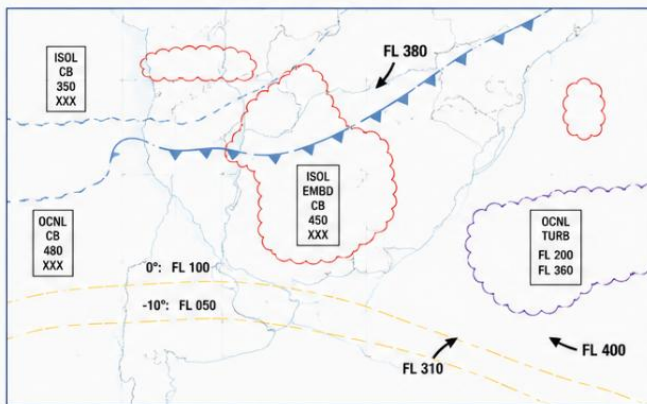
Se complementan para evaluar seguridad y performance.



Siempre consultá los últimos reportes y actualizaciones antes de volar.

### CARTA SIGWX

Muestra fenómenos meteorológicos significativos en rutas de vuelo y áreas oceánicas o continentales extensas.



#### INFORMACIÓN CLAVE

- Áreas de tormentas (CB), turbulencia, hielo, niveles de vuelo afectados.
- Frentes, sistemas de baja y alta presión, líneas de inestabilidad.
- Niveles de vuelo sugeridos o restringidos.

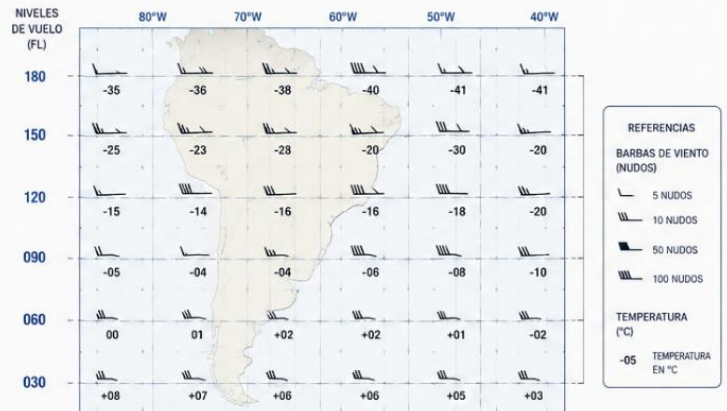


#### TENÉ EN CUENTA

- No es específica para un aeropuerto.
- Orientada a la navegación en ruta.
- Validez generalmente: 6 o 12 horas.

### CARTA DE VIENTO/TEMPERATURA

Muestra el viento y la temperatura pronosticados a distintos niveles de vuelo.



#### INFORMACIÓN CLAVE

- Dirección e intensidad del viento por nivel de vuelo.
- Temperatura del aire pronosticada (°C).
- Permite calcular performance y consumo.



#### TENÉ EN CUENTA

- Verificá el nivel de referencia de la carta.
- Considerá variaciones por hora y zona.
- Validez generalmente: 6 horas.



#### BUENA PRÁCTICA

Usá ambas cartas en conjunto con los TAF, METAR y AIRMET/SIGMET para una evaluación completa del vuelo.



## 17.2 Carta de viento y temperatura en altura

Muestra el viento y la temperatura pronosticados para distintos niveles de vuelo. Se publica para FL050, FL100, FL180, FL240 y superiores. Útil para:

- Estimar viento real en el nivel de crucero (recordar que el TAF de superficie no aplica en altura).
- Estimar el desvío ISA y por tanto la DA en crucero.
- Planificar combustible (TAS depende de temperatura; GS depende del viento).

La carta muestra «flechas con barbas» convencionales: la dirección de la flecha indica desde donde viene el viento; las barbas indican velocidad (cada barba completa = 10 kt; media barba = 5 kt; bandera = 50 kt). La temperatura se indica numéricamente.

## Capítulo 18. ATIS y VOLMET

### 18.1 ATIS

Automatic Terminal Information Service: emisión continua y automática en una frecuencia VHF del aeropuerto, con la información actual del aeródromo. Se actualiza cada hora o cuando hay cambio significativo. Cada actualización lleva una letra de identificación (Alpha, Bravo, Charlie...).

Contenido típico:

- Aeródromo y código de información.
- Hora de emisión.
- Pista en uso.
- Viento.
- Visibilidad.
- Nubes (techo).
- Temperatura y TD.
- QNH.
- Información operacional adicional (calles cerradas, NOTAM, etc.).

El piloto debe escuchar el ATIS ANTES de su primera llamada a torre y comunicar el código de información recibido: «Aeroparque superficie, LV-ABC, listo para rodaje, información Whiskey».

# ATIS Y VOLMET

Información meteorológica y operacional esencial para el vuelo seguro.



Brindan información actualizada antes y durante el vuelo.



Escuchá, anotá y verificá la información relevante.



La información puede cambiar; actualizate frecuentemente.

## ATIS

### Servicio Automático de Información Terminal

Provee información meteorológica y operacional de un aeródromo y su área de influencia, actualizada frecuentemente.

#### ¿QUÉ INCLUYE?

- Condiciones meteorológicas actuales.
- Pronóstico de corto plazo.
- Información operacional del aeródromo (pistas, servicios, procedimientos).
- Alertas y avisos importantes.



#### ¿CÓMO SE ACCEDE?



Por frecuencia de radio designada para el ATIS del aeródromo.

#### EJEMPLO DE MENSAJE ATIS

"Aeroparque Jorge Newbery, información Alfa, 121.1, viento 120 grados 10 nudos, visibilidad 10 kilómetros, cielo despejado, temperatura 18, punto de rocío 12, QNH 1015, pistas en uso 13 y 31."



#### TENÉ EN CUENTA

- Escuchá el ATIS antes de contactar al aeródromo.
- Verificá la hora de la información al inicio del mensaje.
- Si la información es antigua, solicitá actualización.

## VOLMET

### Información Meteorológica en Vuelo

Provee información meteorológica en vuelo para enrutamiento y toma de decisiones.

#### ¿QUÉ INCLUYE?

- Condiciones meteorológicas en ruta.
- Observaciones de aeródromos.
- Pronósticos y tendencias.
- Información de fenómenos significativos.



#### ¿CÓMO SE ACCEDE?



Por frecuencia VOLMET en la región de información de vuelo correspondiente.

#### EJEMPLO DE MENSAJE VOLMET

"VOLMET Buenos Aires, 121.5, información actualizada a las 14:30 UTC. Se pronostican tormentas aisladas en el sur de la región, visibilidad reducida en zonas de precipitación, isoterma 0 grados a FL100."



#### TENÉ EN CUENTA

- Ideal para actualización en vuelo y cambios de ruta.
- No reemplaza la información previa al vuelo: complementa.
- Escuchá en los horarios establecidos en tu región.



#### BUENA PRÁCTICA

Integrá ATIS y VOLMET con otras fuentes (cartas, informes, apps y briefing) para una evaluación completa y decisiones seguras.



## 18.2 VOLMET

VOLMET es la emisión radial continua de METAR y TAF de varios aeropuertos, transmitida en frecuencias específicas. Útil para pilotos en vuelo que quieren consultar el tiempo de un destino o alternativo sin tener que llamar a alguien. En Argentina, los VOLMET principales emiten en frecuencias HF y se publican en el AIP.

## Capítulo 19. Productos digitales y aplicaciones modernas

Hoy el piloto PPA tiene acceso a múltiples canales digitales para obtener información meteorológica:

- SMN sitio web (<https://www.smn.gob.ar>): METAR, TAF, SIGMET, cartas SIGWX y de viento/temperatura, imágenes satelitales, radar.
- EANA AIS (<https://eana.com.ar>): plan de vuelo, NOTAM, productos meteorológicos vinculados.
- Imágenes satelitales: GOES, infrarrojo, visible, vapor de agua. Identificación visual de sistemas convectivos.

- Radar meteorológico: el SMN opera red SINARAME (Sistema Nacional de Radares Meteorológicos), con radares en Bernardo de Irigoyen, Anguil, Ezeiza, Las Lomitas, Pergamino, Resistencia, Córdoba, Mendoza y otros sitios. Imágenes de eco, intensidad y movimiento de precipitación en tiempo casi real.
- Modelos numéricos: ECMWF, GFS, ETA, WRF, accesibles via web. Pronósticos a corto y mediano plazo.
- Aplicaciones móviles: «Skybrary», «AeroMet», apps de SMN, ForeFlight (con cobertura limitada en Argentina), Windy.com, etc.

**NOTA:** Las aplicaciones móviles son cómodas pero **NO sustituyen** los productos oficiales. La fuente legal y operacional es el SMN-EANA. Las apps a menudo muestran datos derivados de modelos globales que pueden diferir de los productos locales. Use las apps como complemento, no como reemplazo del briefing oficial.

## Capítulo 20. El briefing meteorológico previo al vuelo

### 20.1 Estructura del briefing

Un briefing meteorológico bien hecho responde a 5 preguntas:

1. ¿Cuál es el cuadro sinóptico general? (cartas, posición de altas, bajas, frentes)
2. ¿Cómo está la meteorología en ORIGEN ahora y para el momento del despegue? (METAR + TAF + ATIS)
3. ¿Cómo está y cómo va a estar en RUTA durante el vuelo? (METAR de aeródromos de la ruta, SIGWX, viento/temperatura en altura, SIGMET/AIRMET)
4. ¿Cómo está y cómo va a estar en DESTINO en la ventana estimada de llegada? (TAF de destino, METAR actual)
5. ¿Cuál es el ALTERNATIVO y cómo está? (TAF y METAR de al menos un aeródromo razonablemente cercano al destino con buen tiempo)

### 20.2 Decisión GO / NO-GO

Tras el briefing, el piloto decide. Criterios:

- Origen: condiciones VMC, viento en pista dentro de mínimos, sin tendencia significativa adversa para despegue.
- Ruta: techo y visibilidad VMC en la altitud planeada en TODA la ruta; sin SIGMET de tormenta, turbulencia severa, engelamiento severo en el corredor; sin AIRMET de fenómenos por sobre los mínimos personales.
- Destino: condiciones VMC en la ventana de llegada (con margen, no «justo en el límite»); viento dentro de mínimos.
- Alternativo accesible y con condiciones definitivamente mejores que destino.

Si CUALQUIERA de los cuatro contextos (origen, ruta, destino, alternativo) presenta un problema, el piloto debe:

- Postergar el vuelo y reevaluar más tarde, O
- Cambiar destino, O
- Cambiar ruta para evitar el problema, O
- Cancelar.

## GUÍA TÉCNICA: PLANIFICACIÓN METEOROLÓGICA DEL VUELO

### FUENTES DE INFORMACIÓN, CRITERIOS DE DECISIÓN Y CÁLCULOS CLAVE

#### 1. PLANIFICACIÓN METEOROLÓGICA INTEGRAL (INTEGRACIÓN DE DATOS)



**INTEGRACIÓN DE DATOS:**

- METAR (Observación)
- TAF (Pronóstico de Terminal)
- SIGMET (Fenómenos Significativos)
- CARTAS SINÓPTICAS (Visión General)

**OBJETIVO:**

- Decisión go/no-go INFORMADA y DOCUMENTADA

#### 2. FUENTES DE INFORMACIÓN EN ARGENTINA



**SMNA (Servicio Meteorológico Nacional):**

- Pronósticos Oficiales, Radar
- Cartas Sinópticas
- METAR/TAF/SIGMET

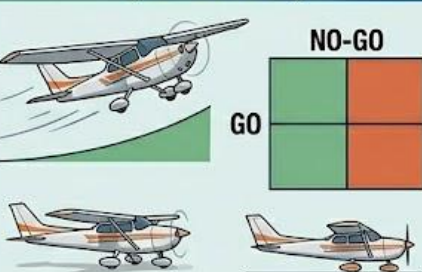
**AEROPUERTOS ARGENTINA:**

- METAR/TAF por Aeropuerto
- NOTAMs Relacionados

**WINDY.COM**

- Mapas de Viento (Niveles)
- Lluvia, Nubosidad, Turbulencia (Visualización)
- Visualización de Modelos

#### 3. CRITERIOS DE DECISIÓN GO/NO-GO (DOCUMENTADA)



**NO-GO**

**GO**

**CRITERIOS CLAVE:**

- Visibilidad y Techos (Mínimos)
- Turbulencia, Hielo, Tormentas
- Wind Shear (Cizalladura)
- Estado de Pistas

**DOCUMENTAR DECISIÓN**

#### 4. ALTERNOS METEOROLÓGICOS Y REGLA DE LOS TERCIOS (CÁLCULO CLAVE)



**ALTERNOS:**

**REGLA DE LOS TERCIOS:**

**DEFINICIÓN ALTERNOS:**

- Aeropuerto alternativo con buen clima (según TAF)
- Considerar METAR actual al llegar

**REGLA DE LOS TERCIOS:**

- 1/3 Combustible para vuelo
- 1/3 Combustible para alternos y reserva
- 1/3 Reserva final (p. ej., 45 min)

#### 5. RESUMEN POST-EVENTO Y RECURSOS (MISMAS ENTIDADES)



**SMN:** Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

**EANA:** Empresa Argentina Nacional Navegación Aérea (EANA)

**PASOS SIGUIENTES:**

- Monitoreo en Vuelo
- Ajuste de Plan de Vuelo
- Informar a EANA/ANAC

**OTROS:**

**ADVERTENCIA:** La decisión NO-GO es signo de PROFESIONALISMO, no de cobardía. La aviación general argentina pierde aviones cada año por pilotos que dijeron «vamos a ver, total volvemos si está feo». Volver desde el aire es mucho más complicado que no salir.

### 20.3 Mínimos personales meteorológicos para PPA novato

Una propuesta razonable de mínimos PERSONALES (más estrictos que los legales) para PPA con menos de 100 horas:

- Visibilidad en ruta:  $\geq 10$  km.
- Techo de nubes en ruta:  $\geq 3.000$  ft AGL (configuración limpia, fuera de zona montañosa).
- Viento en superficie en aeródromo:  $\leq 20$  kt (cualquier componente).
- Viento cruzado:  $\leq 10$  kt.

- Ráfagas: diferencia entre velocidad media y ráfaga  $\leq 10$  kt.
- Spread T–TD en origen/destino:  $\geq 4$  °C (para evitar formación de niebla).
- Sin SIGMET o AIRMET de turbulencia, engelamiento o tormenta en la ruta o el destino.
- Sin pronóstico TEMPO de tormenta o de visibilidad  $< 5$  km en la ventana de llegada.
- Día con horario de pasaje frontal definido: NO salir en las 3 horas antes y después del pasaje.

Estos mínimos pueden relajarse con experiencia ganada, instrucción específica, y conocimiento del terreno. Pero relajarse «por presión del momento» es exactamente el error que mata pilotos.

## 20.4 Reevaluación en vuelo

La meteorología cambia. El piloto debe reevaluar en vuelo:

- Pidiendo el METAR actualizado del destino y alternativos a FIS o por VOLMET.
- Observando el horizonte: nubes que crecen, líneas oscuras al frente.
- Mirando el termómetro y comparando con la temperatura pronosticada (un descenso súbito puede anticipar un frente).
- Vigilando la presión (caída rápida = depresión, atención).
- Notando cambios de viento (ráfagas crecientes, rotación de dirección).
- Pidiendo PIREP (Pilot Reports) si está disponible: otros aviones en frecuencia pueden reportar lo que ven.

Si la situación se degrada por debajo de los mínimos personales: VOLVER, DESVIAR o ATERRIZAR PRECAUTORIAMENTE. NUNCA continuar con la esperanza de que «mejore más adelante».

**NOTA:** *Los mejores pilotos privados comparten un rasgo: vuelven cuando hay duda. Pierden algunos vuelos pero llegan a viejos volando.*

## PARTE 3 — Altimetría y condiciones meteorológicas peligrosas

La tercera parte cierra el manual con dos bloques fuertemente operacionales: cómo se traduce la meteorología en la lectura del altímetro (altimetría) y cuáles son los fenómenos meteorológicos peligrosos que un piloto debe saber identificar, evitar o, si se encuentra ante ellos, gestionar.

### Capítulo 21. Altimetría

#### 21.1 Principio físico del altímetro

El altímetro de un avión liviano es un barómetro aneroide calibrado en pies (o metros), no en hPa. Mide la presión estática que recibe por la línea estática y la traduce a altitud usando la atmósfera estándar ISA como modelo. Esa traducción depende de un valor de referencia (la subescala de Kollsman, perilla inferior izquierda) que el piloto ajusta.

Internamente, una pila de cápsulas aneroides selladas se expande al disminuir la presión externa (ascenso) o se contrae al aumentar (descenso). El movimiento se transmite a las agujas o a un display digital.

#### 21.2 Los tres reglajes

QNH, QFE y QNE/STD ya fueron introducidos. Profundización:

## Altimetría Aeronáutica: Reglajes y el Riesgo del Aire Frío

### QNH: Altitud sobre el Nivel del Mar



Altitud (AMSL)

Nivel Medio del Mar (MSL)

Ajuste para leer la elevación real AMSL; es el reglaje operativo estándar bajo la altitud de transición.

Comparativa de los planos de referencia para cada reglaje.

### QFE: Altura sobre el Aeródromo



Altura (AGL)

Elevación del Aeródromo (0)

Ajuste que indica cero sobre la pista; mide la altura física respecto a la elevación de la estación.

Reglaje	Referencia de Presión	Lectura del Altimetro
QNH	Nivel Medio del Mar (MSL)	Altitud (AMSL)
QFE	Elevación del Aeródromo	Altura (AGL)
QNE	1013,2 hPa (29,92 inHg)	Nivel de Vuelo (FL)

### QNE: Nivel de Vuelo (Estándar)



Nivel de Vuelo (FL)

1013,2 hPa (29,92 inHg)

Ajuste fijo de 1013,2 hPa usado sobre el nivel de transición para expresar la posición como Flight Level.

Reglaje	Referencia de Presión	Lectura del Altimetro
QNH	Nivel Medio del Mar (MSL)	Altitud (AMSL)
QFE	Elevación del Aeródromo	Altura (AGL)
QNE	1013,2 hPa (29,92 inHg)	Nivel de Vuelo (FL)

### Aire Frío: El Altimetro Lee de Más

Altitud Indicada

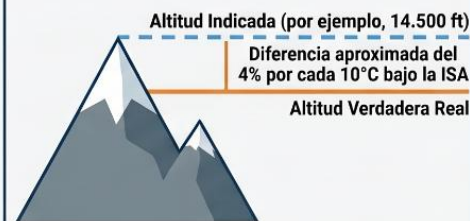


Aire más frío que la ISA

Altitud Verdadera Real

En aire más frío que la ISA, el avión está más bajo de lo que indica el instrumento.

### La Regla del 4% por Seguridad



Por cada 10°C bajo la ISA, la altitud verdadera es aproximadamente un 4% menor a la indicada.

### Peligro de Colisión en Montaña



La combinación de baja presión y frío extremo puede reducir drásticamente el margen de seguridad sobre picos.

Ejemplo de error acumulado en condiciones de frío extremo (invierno cordillerano)		
Altitud Indicada	Temperatura (Desvío ISA)	Altitud Verdadera Real
14.500 ft	ISA (Estándar)	13.920 ft
14.500 ft	-10°C bajo ISA	



### **QNH**

- Definición: presión al nivel medio del mar calculada a partir de la presión real medida en la estación, asumiendo gradiente vertical ISA hasta el mar.
- Con QNH ajustado, el altímetro indica la elevación AMSL del avión, con tolerancia de  $\pm 60-75$  ft.
- Sobre la pista, el altímetro debería leer la elevación oficial publicada del aeródromo.
- Es el reglaje OPERATIVO en superficie y por debajo del nivel de transición.
- Se obtiene de ATIS, torre, FIS, METAR, o de otra estación cercana.
- En Argentina se reporta en hectopascales: «QNH 1014».

### **QFE**

- Definición: presión REAL medida en el aeródromo de referencia.
- Con QFE ajustado, altímetro indica la altura sobre la elevación del aeródromo.
- Sobre la pista, altímetro indica cero.
- Operacionalmente raro en aviación civil argentina actual; persiste en algunas operaciones militares y ex-bloque soviético.
- Útil conceptualmente: la diferencia QNH – QFE equivale a la presión perdida entre la elevación del aeródromo y el nivel medio del mar; en aeródromos altos puede ser de varios cientos de hPa.

### **QNE / STD**

- Reglaje fijo: 1013,25 hPa / 29,92 inHg.
- Con QNE ajustado, altímetro indica la ALTITUD PRESIÓN — la altitud equivalente en atmósfera estándar.
- Esa lectura, dividida por 100, es el NIVEL DE VUELO (FL). Ej: altímetro 8.500 con QNE → FL085.
- Es el reglaje OPERATIVO sobre el nivel de transición (TL).
- Asegura separación VERTICAL entre aviones independientemente del QNH del día.

## **21.3 Altitud de transición, nivel de transición y capa de transición — Argentina**

Conceptos ya tratados en el manual de Performance, repaso integrado:

- Altitud de transición (TA): altitud bajo la cual la posición vertical se expresa en ALTITUDES (con QNH). En Argentina, generalmente 6.000 ft, con variaciones por aeropuerto. Verificar AIP.
- Nivel de transición (TL): primer FL utilizable por encima de la TA. Su valor depende del QNH del día y de la TA local.
- Capa de transición: espacio entre TA y TL en que NO debe volarse nivelado (es de paso).

Procedimiento al cruzar la TA en ascenso: cambiar el reglaje de QNH a 1013,2 y reportar FL en lugar de altitud.

Procedimiento al cruzar el TL en descenso: cambiar 1013,2 a QNH del destino y reportar altitud en lugar de FL.

## 21.4 Errores del altímetro

### *Error de presión (QNH incorrecto)*

Si el QNH ajustado no es el real:

- 1 hPa de error en QNH = aproximadamente 28 ft de error en altitud.
- Si el QNH real es 1003 y el piloto vuela con 1013: la subescala indica 10 hPa MÁS de lo real → el altímetro indica 280 ft MÁS de altitud → el avión está 280 ft MÁS BAJO de lo que cree.
- Regla mnemotécnica: «High to low, look out below». Yendo de alta presión a baja presión sin actualizar QNH: el altímetro indica DE MÁS, el avión está MÁS BAJO.

### *Error de temperatura*

El altímetro está calibrado en ISA. La atmósfera real puede no serlo:

- Atmósfera más cálida que ISA: el aire es menos denso y la presión cae más lento con la altitud → el altímetro indica MENOS altitud → el avión está MÁS ALTO de lo indicado. Es la situación segura (al revés).
- Atmósfera más fría que ISA: el aire es más denso y la presión cae más rápido con la altitud → el altímetro indica MÁS altitud → el avión está MÁS BAJO de lo indicado. Es la situación PELIGROSA, especialmente en montaña en invierno.

Regla práctica de corrección por aire frío:

- Por cada 10 °C bajo ISA, la altitud verdadera es aproximadamente 4 % MENOR que la indicada.
- Volando MEA de 12.000 ft con OAT 15 °C bajo ISA: la altitud real es ~ 11.300 ft. Si la MEA fue diseñada con margen de libramiento de 1.000 ft sobre terreno, el margen real puede ser solo 300 ft.

**ADVERTENCIA:** La regla «high to low, look out below» se aplica tanto a presión como a temperatura. La combinación de baja presión + baja temperatura en invierno cordillerano produce errores acumulados. En Patagonia, cordillera y Sierras del NOA, considerar SIEMPRE sumar margen sobre MEA/MOCA publicadas para compensar.

### *Error mecánico / instrumental*

- Tolerancia de fábrica: ±75 ft en altitudes bajas.
- Lag instrumental: pequeño retardo en altímetros mecánicos al cambiar de altitud.
- Verificación prevuelo: con QNH local ajustado, sobre la pista, el altímetro debe leer la elevación del aeródromo con tolerancia ±75 ft. Si no, considerar el altímetro defectuoso.

### *Error de instalación / posición*

- Pequeño error debido a la ubicación de las tomas estáticas. Suele ser despreciable en altimetría VFR pero puede aparecer en velocidades muy altas o configuraciones inusuales.

## 21.5 Reglas argentinas de nivel de crucero VFR

En vuelo VFR sobre 3.000 ft AGL en territorio argentino, los niveles a utilizar son (recordatorio):

- Rumbo magnético 000–179°: 3.500, 5.500, 7.500, 9.500, 11.500 ft (impares + 500 ft), o FL035, FL055... sobre TL.
- Rumbo magnético 180–359°: 4.500, 6.500, 8.500, 10.500, 12.500 ft (pares + 500 ft), o FL045, FL065... sobre TL.
- Bajo 3.000 ft AGL: sin regla impuesta, el piloto elige por seguridad respecto a obstáculos y al tráfico.

## 21.6 Aplicación práctica — caso PPA en cordillera

Ejemplo: travesía SAME (Mendoza) → cruce hacia Chile por paso Cristo Redentor en invierno.

- Elevación de SAME: 2.310 ft. Elevación del paso: ~ 12.500 ft.
- MEA del corredor: 14.500 ft.
- Día: QNH 1003, OAT en superficie  $-5^{\circ}\text{C}$ , OAT a 14.500 ft estimada  $-25^{\circ}\text{C}$  (ISA en 14.500 sería  $-14^{\circ}\text{C}$ , así que desvío =  $-11^{\circ}\text{C}$ ).
- Error por QNH: bajo respecto a 1013, alti indica  $10\text{ hPa} \times 30 = 300\text{ ft M\u00c1S}$  → avión 300 ft más bajo de lo indicado.
- Error por frío:  $11^{\circ}\text{C}$  bajo ISA → corrección 4–5 %. A 14.500 ft, ~ 600 ft M\u00c1S bajo de lo indicado.
- Total: el avión puede estar ~900 ft M\u00c1S BAJO de lo que el alt\u00edmetro indica. La MEA de 14.500 ft puede dar margen real de solo 100 ft sobre el terreno, en lugar del previsto de 1.000 ft.
- Decisi\u00f3n segura: volar al menos 15.500 ft INDICADOS para tener margen real adecuado.

**ADVERTENCIA:** M\u00faltiples accidentes de PPA en cordillera argentina y chilena tienen este factor en su cadena causal: error altim\u00e9trico combinado por presi\u00f3n baja y aire fr\u00edo, sin correcci\u00f3n, sobre terreno irregular. La correcci\u00f3n manual debe ser parte del briefing previo a todo vuelo cordillerano en invierno.

## Cap\u00edtulo 22. Turbulencia

### 22.1 Naturaleza y origen

La turbulencia es el movimiento irregular del aire que produce sacudidas en la aeronave. F\u00edsicamente: v\u00f3rtices y remolinos a distintas escalas que el avi\u00f3n atraviesa. Tipos por origen:

- Turbulencia convectiva: por convecci\u00f3n t\u00e9rmica en aire inestable. Cumulus, cumulonimbus.

- Turbulencia mecánica: por roce del viento con obstáculos (terreno, sierras, edificios). En sotavento de obstáculos.
- Turbulencia por cizalladura: cambio brusco de velocidad o dirección del viento entre dos capas (cortantes verticales del viento).
- Ondas de montaña: turbulencia asociada a vientos cruzando cadenas montañosas. Crítica en cordillera y Patagonia argentina.
- Estela de aviones: turbulencia generada por los vórtices de punta de ala. Peligro especial detrás de aviones grandes (no PPA, pero importante saber que existe al compartir espacio con tráfico comercial).

## Guía Técnica de Turbulencia Aeronáutica

La turbulencia es un factor contribuyente crítico en accidentes de aviación general. Esta guía desglosa los mecanismos físicos que la generan, su clasificación por intensidad y el procedimiento esencial de reporte (PIREP) para mantener la seguridad operacional.

### 1. ORIGEN CONVECTIVO Y MECÁNICO

Generada por el calentamiento solar (térmicas) o por el roce del viento con obstáculos.

### 2. ONDAS DE MONTAÑA Y ROTOR

Flujo oscilatorio en sotavento con rotos de turbulencia extrema bajo las nubes lenticulares.

### 3. CIZALLADURA Y AIRE CLARO (CAT)

Cambios bruscos de viento en distancias cortas o turbulencia en aire despejado (CAT).

### 4. ESCALA DE INTENSIDADES AERONÁUTICAS

LEVE	MODERADA	SEVERA
Cambios momentáneos.	Cambios marcados de actitud; los objetos sueltos se mueven dentro de la cabina.	Cambios bruscos de altitud; el avión puede salir de control momentáneamente.

Extrema: El avión es violentamente lanzado; riesgo inminente de daño estructural.

### 5. PROCEDIMIENTO DE REPORTE (PIREP)

**PIREP INMEDIATO A DEPENDENCIA ATS**

- UBICACIÓN (Ej. 10NM NE VOR)
- ALTITUD (Ej. 3500 FT)
- TIPO DE AERONAVE (Ej. C172)
- INTENSIDAD (Ej. MODERADA)

Comunicar de inmediato a la dependencia ATS la ubicación, altitud, tipo de aeronave e intensidad.

### 6. CRITERIO DE SEGURIDAD OPERACIONAL

Ante turbulencia severa o cumulonimbos, mantener una separación mínima de 20 millas náuticas.

Nota: Clasificación de la turbulencia según su efecto en una aeronave monomotor de instrucción.

Flightpath

## 22.2 Intensidad — clasificación operacional

Intensidad	Efecto en la aeronave	Efecto sobre ocupantes	Reporte
Ligera	Cambios leves de actitud o altitud	Levemente notable	TURB LGT
Moderada	Cambios marcados pero el avión permanece controlable	Objetos sueltos se mueven; los ocupantes sienten golpes	TURB MOD
Severa	Cambios bruscos, momentáneamente el avión puede salirse de control	Ocupantes lanzados contra los cinturones	TURB SEV
Extrema	El avión está prácticamente fuera de control; daño estructural posible	Ocupantes lanzados violentamente	TURB EXTM

## 22.3 Turbulencia en cumulonimbos

La más violenta y la única «extrema» que se encuentra rutinariamente. Dentro de un Cb hay:

- Corrientes ascendentes (updrafts) de 30–60 m/s en la fase madura.



*Los cumulonimbos representan la amenaza meteorológica más severa para la aviación general.*

- Corrientes descendentes (downdrafts) de magnitud similar.
- Vortices laterales en los bordes.
- Granizo proyectado al exterior.

- Microbursts en la base.

**ADVERTENCIA:** NUNCA volar a través de un cumulonimbo. La separación mínima recomendada es 10 NM, prudencialmente 20 NM. Ni siquiera bajo la base (microburst y rayos); ni sobre la cima (turbulencia, hielo); ni entre dos Cb cercanos (cizalladura).

## 22.4 Ondas de montaña y rotor

Cuando el viento sopla perpendicular a una cadena montañosa con velocidad suficiente (típicamente > 25 kt en la cima) y estabilidad atmosférica adecuada, se forman ondas estacionarias en sotavento.

Características:



*Las nubes lenticulares sobre los Andes indican ondas de montaña con turbulencia severa asociada.*

- Las ondas se extienden hasta cientos de millas a sotavento.
- Pueden alcanzar altitudes muy superiores a la montaña que las origina (hasta la tropopausa).
- Las longitudes de onda son típicamente 5–30 km.
- Las velocidades ascendentes y descendentes en las ondas pueden ser de 1.000 a 3.000 ft/min en aviones livianos.

Indicadores visibles:

- *Altostratus lenticularis* (lentejones): nubes lisas, en forma de lente, estacionarias sobre la cima de las crestas de onda. Su presencia INDICA ondas activas.
- Nubes en forma de rotor (*rotor cloud*): cumulus que parecen rotar bajo el primer lentejón, en sotavento del relieve. Indican un rotor turbulento debajo.

- Nubes cap (cap cloud) sobre la cima de la montaña.

El ROTOR (vortice horizontal de eje horizontal paralelo a la cresta) bajo las ondas es la zona de TURBULENCIA EXTREMA. Volar en el rotor puede destruir un avión liviano.

Para PPA, las zonas críticas:

- Cordillera de los Andes en Mendoza, San Juan, La Rioja: vientos del oeste persistentes.
- Cordillera austral en Neuquén, Río Negro, Chubut: vientos del oeste muy fuertes, hasta 80 kt en la cima.
- Sierras Pampeanas (Córdoba, San Luis, Catamarca): con vientos del oeste-noroeste, generan ondas menores pero significativas.
- Sierras Australes Bonaerenses (Sierra de la Ventana, Tornquist): pueden generar ondas en su sotavento.

**ADVERTENCIA:** Aproximarse a una cadena montañosa con viento perpendicular fuerte y nubes lenticulares visibles es una señal de PELIGRO. Para PPA: ALEJARSE de la zona, ascender muy por encima del nivel de la onda o esperar a otro día con viento más débil. Nunca volar en sotavento por debajo del nivel de los lentejones.

## 22.5 Cizalladura del viento (wind shear)

Cizalladura es el cambio rápido de velocidad o dirección del viento sobre una distancia corta. Tipos:

- Vertical: cambio entre dos altitudes próximas. Crítica en aproximación y despegue.
- Horizontal: cambio entre dos puntos próximos en el mismo nivel.
- Frontal: en la zona de un frente, vientos muy distintos a ambos lados.

Origen típico de cizalladura para PPA:

- Microburst de tormenta: corriente descendente violenta que choca contra el suelo y se expande radialmente. Un avión que la atraviesa primero recibe viento en cara (subida), luego viento descendente (caída repentina) y finalmente viento en cola (pérdida de IAS). Causa accidentes graves en aproximación.
- Cambio de viento en aterrizaje con frente: el viento cambia repentinamente en el final corto.
- Cizalladura por inversión nocturna: vientos del suelo casi calmos, vientos en altura fuertes. Al subir, ganancia abrupta de velocidad relativa al aire.
- Cizalladura por edificios o terreno cerca de la pista.
- Brisa marítima entrando: cizalladura visible al cruzar el frente de brisa.

Reconocimiento y defensa:

- Reportes en METAR: WS RWY (cizalladura en la pista).
- Variaciones bruscas en velocidad indicada en aproximación: 10–20 kt en pocos segundos.

- Mantener velocidad de aproximación con margen («+5 kt por viento gusty»).
- Ante variación severa: GO-AROUND inmediato, no aterrizaje.
- En tormentas cercanas: NO aterrizar/despegar durante el pasaje.

## Capítulo 23. Englamiento (icing)

### 23.1 Naturaleza del englamiento estructural

Englamiento es la formación de hielo sobre las superficies del avión. Se produce cuando el avión vuela a través de gotas de agua superenfriada (líquidas a temperatura bajo 0 °C) o nubes con gotas de agua y cristales de hielo. Las gotas se congelan al impactar la estructura.



*El englamiento en vuelo puede degradar rápidamente el rendimiento aerodinámico de la aeronave.*

Tipos:

- Hielo claro (clear ice): formación a temperaturas entre 0 °C y -10 °C, con gotas grandes. Hielo transparente, denso, adherente. Difícil de remover.
- Hielo rugoso (rime ice): formación a temperaturas entre -10 °C y -20 °C, con gotas pequeñas. Hielo blanco, opaco, frágil. Más fácil de remover pero modifica el perfil aerodinámico.
- Hielo mixto: a temperaturas intermedias, mezcla de ambos.

- Escarcha (frost): formación en superficie por sublimación inversa cuando un avión expuesto al cielo claro nocturno enfría su estructura bajo la temperatura del aire. Aparece sobre alas y horizontales en mañanas frescas. Aunque sea fina, MODIFICA seriamente la aerodinámica.

## 23.2 Consecuencias del engelamiento

- Aumento del peso del avión.
- Deformación del perfil alar → pérdida de sustentación, aumento de resistencia, aumento de VS.
- Acumulación sobre superficies de control → mandos pesados o trabados.
- Acumulación sobre el tubo de Pitot → falla del anemómetro.
- Acumulación sobre el parabrisas → pérdida de visibilidad.
- Acumulación sobre antenas y hélice → vibración, desbalanceo.
- Acumulación sobre la admisión de aire del motor → reducción de potencia o paro.

# ENGELAMIENTO ESTRUCTURAL EN VUELO

Formación de hielo en vuelo: condiciones, tipos, efectos y sistemas de protección.



El engelamiento en vuelo aumenta el peso y degrada la sustentación.



Ocurre entre 0 °C y -20 °C con presencia de humedad.



Puede formarse como escarcha, hielo claro o hielo mezclado.

### NATURALEZA DEL ENGELAMIENTO ESTRUCTURAL

El hielo se forma al impactar gotas de agua superenfriadas con las superficies del avión. Se acumula principalmente en las zonas expuestas al flujo de aire.



#### ZONAS CRÍTICAS

Bordes de ataque, hélice, toma de aire, parabrisas y superficies de cola.

### FORMACIÓN: CONDICIONES Y TIPOS

#### CONDICIONES FAVORABLES



Temperatura del aire  
0 °C a -20 °C



Humedad visible  
(nubes, niebla, lluvia, llovizna o nieve húmeda)

#### TIPOS DE HIELO



#### ESCARCHA

Hielo opaco, blanco y poroso. Se forma con gotas pequeñas y temperaturas más frías.



#### HIELO CLARO

Hielo transparente, liso y denso. Se forma con gotas grandes y temperaturas cercanas a 0 °C.



#### HIELO MEZCLADO

Combinación de escarcha y claro. Superficie irregular y rugosa, muy común.



#### HIELO GRANULAR

Hielo blanco, opaco y con forma de granos o pellets. Menos adherente.

### EFFECTOS EN EL VUELO

- ↑ Aumento del peso y de la resistencia.
- ↑ Disminución de la sustentación y del rendimiento.
- ↓ Alteración del equilibrio y del control.
- ↓ Mayor velocidad de pérdida.

### SISTEMAS ANTI / DEICING

#### SISTEMAS ANTIHIELO (ANTI-ICING)

Evitan la formación de hielo.

- Eléctricos (bordes de ataque, hélice).
- Neumáticos (botas en bordes de ataque).
- Químicos (líquido antihielo en superficies críticas).



#### SISTEMAS DE DESHIELO (DEICING)

Eliminan el hielo ya formado.

- Deice boots (inflado periódico).
- Calor eléctrico.
- Líquidos de deshielo en tierra.



#### TENÉ EN CUENTA

• Evitá volar en condiciones propicias para engelamiento.

• Consultá pronósticos, SIGWX, tendencias y asesoramiento.

• Si hay engelamiento: activá los sistemas y considerá cambio de nivel o rumbo si es posible.

• En tierra, remové el hielo completamente antes del despegue.



#### BUENA PRÁCTICA

La prevención, la detección temprana y el uso correcto de los sistemas son clave para mantener el control y la seguridad del vuelo.



**ADVERTENCIA:** Los aviones de instrucción PPA típicos **NO ESTÁN CERTIFICADOS** para vuelo en condiciones de engelamiento conocido (FIKI – Flight Into Known Icing). Operacionalmente: si los SIGMET indican engelamiento moderado o severo en la ruta, o el TAF de destino tiene precipitación con  $T < 5\text{ °C}$ , **NO SALIR**. Si encuentra engelamiento inesperado en vuelo: **CAMBIAR** de altitud (descender a aire cálido si hay garantía de mantener altitud sobre terreno; ascender a aire seco/frío que sublime; salir del frente o de la nube) **Y aterrizar lo antes posible**.

### 23.3 Engelamiento del carburador

Caso ESPECIAL del engelamiento que afecta a motores con carburador (la mayoría de los aviones PPA argentinos: Cessna 150/152, 172N/P, Piper PA-28-140/161, Tecnam si carburado). Tratado en detalle en el manual de Conocimiento General de las Aeronaves. Síntesis:

- La caída de presión y la vaporización del combustible en el Venturi del carburador enfrían el aire 20–30 °C bajo la OAT.
- Si la humedad relativa es alta y la OAT está aproximadamente entre  $-5\text{ °C}$  y  $+25\text{ °C}$ , se forma hielo dentro del carburador.
- Síntomas en hélice fija: pérdida progresiva de RPM con palanca de potencia fija.
- Condiciones más propensas: vuelo a potencia parcial (crucero), descenso a motor reducido, vuelo bajo lluvia o llovizna con OAT cálida.
- Defensa: calefacción del carburador (CARB HEAT) aplicada **ANTICIPADAMENTE** en descensos y crucero en condiciones favorables a formación, y **CURATIVAMENTE** ante primer síntoma.

**NOTA:** *El engelamiento del carburador es responsable de un número significativo de pérdidas de potencia en vuelo. Su prevención es fácil; su detección tardía cuesta el motor.*

### 23.4 Engelamiento por lluvia engelante (FZRA)

Caso extremo: la lluvia cae líquida pero a temperatura bajo  $0\text{ °C}$ ; al impactar el avión se congela **INSTANTÁNEAMENTE** en capas gruesas. Velocidad de acumulación masiva, varios mm/min.

- Originado en frentes cálidos sobre aire frío en superficie.
- Casi imposible de combatir con sistemas antihielo simples.
- Operación PPA con FZRA: **NO VOLAR**. Aterrizar inmediatamente si se encuentra en ruta.
- En METAR/TAF: FZRA, FZDZ.

## Capítulo 24. Tormentas (Cumulonimbos, TS)

### 24.1 Ciclo de vida de una tormenta

Una tormenta cumuliforme (cumulonimbus aislado o sistema) pasa por tres fases:

- Cumulus (desarrollo): corriente ascendente dominante, gotas crecen, no hay precipitación al suelo aún. Duración 10–20 minutos. Ya hay turbulencia.

- Madurez: convivencia de updrafts y downdrafts. Precipitación, granizo, descargas eléctricas. Turbulencia extrema. Microburst posible. Duración 15–30 minutos.
- Disipación: predomina el downdraft, la corriente ascendente se debilita, la precipitación cesa, el yunque persiste un tiempo. Duración 30 minutos a varias horas.

## 24.2 Peligros de las tormentas

- Turbulencia extrema (puede romper el avión).
- Granizo grande (daño estructural, parabrisas roto).
- Descargas eléctricas (daño eléctrico, parálisis temporal del piloto).
- Microbursts (cizalladura severa en aproximación / despegue).
- Englamamiento severo.
- Lluvia torrencial (visibilidad nula, hidroplaneo en pista).
- Vientos de tornado (raros pero ocurren en Argentina, especialmente en zona pampeana).

## 24.3 Sistemas convectivos de mesoescala (SCM)

Cuando varias células tormentosas se organizan en una estructura mayor, persistente y cubriendo cientos de kilómetros: SCM. Frecuentes en primavera-verano en el centro-este de Argentina, Litoral y NEA. Producen:

- Lluvia muy intensa y prolongada.
- Vientos lineales severos («derechos» — straight-line winds).
- Granizo extenso.
- Tormentas eléctricas continuas.

Identificables en imagen satelital como masas circulares u ovaladas de tope frío, con extensión > 50.000 km<sup>2</sup>.

## 24.4 Defensa operacional

- Briefing meteorológico riguroso: SIGMET, TAF, imagen satelital, radar.
- Distancia mínima 10 NM a cualquier Cb, prudencial 20 NM para PPA.
- No volar bajo el yunque de un Cb (granizo desde arriba, microburst desde la base).
- No volar entre dos Cb cercanos.
- No intentar pasar «por arriba» de Cb en ascenso (turbulencia y englamamiento).
- En presencia de tormentas en destino: divergir a alternativo o postergar.
- Si la tormenta se acerca al aeródromo: aterrizar antes o desviarse, NUNCA en medio del pasaje.
- Si está en vuelo y aparece una línea de Cb adelante: virar 90° o 180° para alejarse PERPENDICULARMENTE a la línea, no paralelamente (la línea puede ser larguísima).

## Capítulo 25. Visibilidad reducida

### 25.1 Niebla (FG) y neblina (BR)

Niebla: visibilidad < 1.000 m. Neblina: 1.000–5.000 m. Formación: aire saturado en superficie. Tipos:

- Niebla de radiación: formación nocturna por enfriamiento radiativo del suelo. Cielo despejado, viento calmo, alta humedad inicial. Disipación al amanecer cuando el sol calienta. Típica en pampa argentina y delta del Paraná en otoño-invierno.
- Niebla de advección: aire cálido y húmedo pasa sobre superficie fría (mar frío, suelo nevado). Persistente. Frecuente en costa atlántica argentina en otoño-invierno.
- Niebla orográfica: aire húmedo asciende por una ladera y se enfría. Típica en sierras y cordillera con humedad.
- Niebla de vapor (steam fog): aire frío sobre agua relativamente cálida. Visible sobre ríos en invierno.
- Niebla frontal: en el lado frío de un frente cálido, con precipitación sobre aire frío en superficie.

### 25.2 Anticipación de la niebla

- Vigilar el spread T – TD en METAR vespertino y nocturno. Si T cae y se acerca al TD, la condensación es inminente.
- Vientos calmos + cielo despejado nocturno + humedad alta = riesgo de niebla radiativa.
- Pronóstico TAF con BR, FG, BCFG en la madrugada de aeródromo.
- En zonas conocidas por niebla matinal (delta, valle del Río de la Plata, costa atlántica): planificar despegues tras 09:00 local.

### 25.3 Otros oscurecimientos

- Calima (HZ): partículas suspendidas (polvo, polen). Reduce visibilidad horizontal. Frecuente en periodos secos. La visibilidad puede ser de 5–8 km en calima fuerte.
- Humo (FU): de incendios forestales. En la pampa argentina, frecuente en años secos por quemas. Reduce visibilidad y puede afectar la respiración.
- Polvo en suspensión (DU): partículas elevadas por viento. Cuyo y NOA en periodos secos.
- Tormentas de polvo / arena (DS, SS): en Cuyo y Patagonia con vientos fuertes en suelo seco.
- Cenizas volcánicas (VA): irregulares pero reales. Volcanes del Pacífico cuyas emisiones cruzan a Argentina (Puyehue-Cordón Caulle 2011, Calbuco, otros).

Polvo del Zonda: el Zonda en Cuyo, al levantar polvo de los suelos secos, reduce drásticamente la visibilidad. Combinado con turbulencia, transforma el aire en zona muy peligrosa.

## Capítulo 26. Otros fenómenos peligrosos

### 26.1 Tornados

En la pampa argentina, especialmente en el corredor de tormentas severas del litoral oeste-pampa (Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, norte de Buenos Aires), se registran tornados ocasionalmente. Asociados a supercélulas. Para PPA: si hay reporte/aviso de tornado en zona, NO VOLAR.

### 26.2 Sudestadas

Vientos persistentes del SE en el estuario del Río de la Plata, asociados a sistemas de baja presión costeros. Duración 2–5 días. Lluvia persistente, mala visibilidad, oleaje en el río, niebla. Pueden inundar zonas costeras. Operación VFR en Buenos Aires muy limitada durante sudestada.

### 26.3 Zonda

Ya tratado. Combina aire cálido y seco, vientos rachados muy fuertes, turbulencia severa, polvo. Aeropuertos de Cuyo (SAME, SAMR) pueden cerrar. Si el Zonda está pronosticado y activo, NO VOLAR en la zona.

### 26.4 Pampero

Viento del SO post-frontal en pampa. Aire frío y seco. El pasaje del Pampero produce vientos racheados temporales seguidos de tiempo estable y limpio. Duración del transitorio: varias horas. Tras el pasaje, vuelo posible pero atento a vientos cruzados en aeródromos.

### 26.5 Olas de calor y de frío

- Olas de calor en pampa: 35–42 °C, varios días. DA elevadísima en aeródromos. Performance muy degradada.
- Olas de frío: aire polar antártico ingresa hacia el norte. Heladas extensas, formación de hielo en superficies. Aeropuertos con riesgo de pista helada.
- Vientos polares fuertes acompañantes.

## Capítulo 27. Síntesis operacional y mínimos meteorológicos personales

### 27.1 La filosofía

La meteorología en aviación se opera desde tres principios:

6. Anticipar: leer todo, todos los días. La meteorología es predecible en plazos cortos; la sorpresa proviene del que no lee.
7. Respetar mínimos personales: por encima de lo legal, definir lo que uno mismo puede manejar y no transigir.
8. Reaccionar pronto: si la situación se degrada, virar 180° antes que insistir. Volver es siempre mejor que insistir.

### 27.2 Tabla resumen de fenómenos y respuesta operacional

Fenómeno	Indicador	Respuesta PPA
Niebla matinal	T – TD < 2 °C, viento calmo nocturno, TAF con BR/FG	Postergar despegue hasta disipación tras salida del sol
Tormenta convectiva (Cb)	SIGMET TS, METAR TS, imagen satelital, radar	Mínimo 10 NM, prudencial 20 NM. Si en ruta, virar 90° o 180° para alejarse.
Engelamiento estructural	TAF/METAR con +RA o nubes con T < 0 °C, SIGMET ICE	NO VOLAR si moderado o severo pronosticado. Cambiar altitud si encontrado.
Hielo en carburador	OAT 0–25 °C + humedad + potencia parcial	CARB HEAT preventivo en descensos y crucero; curativo ante primer síntoma.
Ondas de montaña / rotor	Nubes lenticulares + viento perpendicular a sierra > 25 kt	NO entrar al rotor. Subir muy sobre el lentejón o evitar el área.
Cizalladura del viento	WS en METAR/PIREP, microburst de tormenta cercana, ráfagas extremas	GO-AROUND inmediato si en aproximación. Margen +5 kt en viento gusty.
Sudestada	Patrón sinóptico, baja costera persistente	NO VFR en Buenos Aires. Postergar.
Zonda	Pronóstico SMN específico, vientos del oeste fuertes	NO VFR en Cuyo. Postergar.
Viento patagónico fuerte	METAR con > 30 kt o ráfagas > 40 kt	Aterrizar en aeródromo con orientación de pista alineada al viento. Reconsiderar la misión.
Visibilidad reducida (BR, HZ, FU, DU)	METAR con visibilidad < mínimo personal	Postergar. Si encontrado en vuelo: 180° o aterrizar precautorio.

### 27.3 Ejercicio integrador final

Para que el estudio rinda, el alumno PPA debe poder hacer este ejercicio:

9. Tomar un METAR + TAF actual del aeropuerto de instrucción y otro de un destino plausible.
10. Identificar viento, visibilidad, nubes, tiempo, T, TD, QNH, tendencia.
11. Calcular spread, evaluar riesgo de niebla.
12. Identificar fenómenos significativos en TAF (BECMG, TEMPO, FM, PROB).
13. Decidir: GO / NO-GO / POSTERGAR según mínimos personales.
14. Si GO: calcular combustible, identificar alternativo, planear ruta.
15. Si NO-GO: redactar las razones y la condición que debería cambiar para revertir la decisión.

Este ejercicio, practicado todas las semanas durante el curso, construye el criterio meteorológico que ningún manual puede transmitir solo con palabras.

## Bibliografía y fuentes consultadas

Este manual integra información de las siguientes fuentes, vigentes y aplicables a la formación PPA en Argentina. Se invita al alumno a consultarlas para profundizar puntos específicos.

### Normativa argentina

- ANAC — Reglamentos Argentinos de Aviación Civil (RAAC). Parte 91 (Reglas generales de operación), Parte 61 (Licencias), Parte 71 (Espacios aéreos). Edición vigente en <https://www.argentina.gob.ar/anac>.
- Ley Nº 17.285 — Código Aeronáutico Argentino.

### Publicaciones aeronáuticas y meteorológicas argentinas

- SMN — Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.smn.gob.ar>. Productos METAR, TAF, SIGMET, AIRMET, GAMET, cartas SIGWX, viento/temperatura en altura, imágenes satelitales, radar SINARAME, pronósticos sinópticos.
- ANAC— AIP Argentina, Sección GEN 3.5 (Servicios Meteorológicos). <https://ais.anac.gob.ar/aip>
- EANA — AIC y NOTAM relacionados con servicios meteorológicos.
- SMN — Información Aeronáutica, productos específicos para aviación general.
- JST — Informes de accidentes con factores meteorológicos. <https://www.argentina.gob.ar/jst>

### Normativa internacional

- OACI — Anexo 3 al Convenio de Chicago: Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional.
- OACI Doc. 8896 — Manual de prácticas meteorológicas aeronáuticas.
- OACI Doc. 9817 — Manual on Low-Level Wind Shear.
- OACI Doc. 9691 — Manual on Volcanic Ash, Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds.
- OACI Doc. 9974 — Flight Safety and Volcanic Ash.
- OACI — Anexo 6: Operación de aeronaves.
- OMM — Manual de códigos (FM-15 METAR, FM-51 TAF, FM-53 ARFOR, FM-54 ROFOR).
- OMM Publicación 49 — Reglamento Técnico, Volumen II (Meteorología Aeronáutica).

### Textos clásicos y manuales académicos

- Lester, Peter F. — Aviation Weather. Jeppesen, ediciones varias. Texto estándar internacional.
- FAA — Aviation Weather (FAA-H-8083-28). Manual oficial FAA, ampliamente usado mundialmente.

- FAA — Aviation Weather Services (FAA-H-8083-3).
- FAA — Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge (FAA-H-8083-25C), capítulos meteorológicos.
- Air Pilot's Manual, Volume 4 — Aviation Meteorology. Pooley's.
- Underdown, R. B.; Standen, B. — Aviation Meteorology for Pilots. Blackwell.
- Wallace, J. M.; Hobbs, P. V. — Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press.
- Holton, J. R. — An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press.
- Ahrens, C. D. — Meteorology Today. Cengage Learning. Texto introductorio universitario clásico.

## Meteorología regional sudamericana y argentina

- Servicio Meteorológico Nacional Argentino — Boletines y publicaciones técnicas sobre clima nacional.
- Garreaud, R. D. — The Andes climate and weather. Advances in Geosciences, 2009.
- Vera, C.; Higgins, W.; et al. — Toward a unified view of the American monsoon systems. Journal of Climate.
- Salio, P.; Nicolini, M.; Zipser, E. — Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America. Monthly Weather Review.
- Norte, F. A. — Características del viento Zonda en la región de Cuyo. Geoacta, Buenos Aires.
- Publicaciones del CIMA (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA).
- Atlas climáticos del SMN: temperatura, precipitación, viento por región.

## Recursos didácticos y digitales

- AOPA Air Safety Institute — Cursos online de Aviation Weather, VFR into IMC, Thunderstorm Avoidance. <https://www.aopa.org/training-and-safety/air-safety-institute>
- FAA Aviation Safety Reporting System (ASRS) — Casos didácticos sobre encuentros meteorológicos.
- Skybrary — <https://www.skybrary.aero>. Base internacional con artículos sobre microburst, wind shear, icing, low visibility.
- NOAA Aviation Weather Center (EE.UU., con cobertura global) — Modelos, prognosis, productos. <https://www.aviationweather.gov>
- ECMWF — Centro Europeo de Pronósticos a Plazo Medio. Modelos numéricos disponibles públicamente.
- Windy.com — Visualización meteorológica global, útil para visualizar viento y nubes.
- FAA Advisory Circulars relevantes: AC 00-6B (Aviation Weather), AC 00-24 (Thunderstorms), AC 00-45 (Aviation Weather Services), AC 91-74 (Pilot Guide: Flight in Icing Conditions).

## Recursos digitales argentinos esenciales

- Servicio Meteorológico Nacional: <https://www.smn.gob.ar>
- SMN aeronáutica: <https://www.smn.gob.ar/meteorologia-aeronautica>
- EANA: <https://eana.com.ar>
- ANAC: <https://www.argentina.gob.ar/anac>
- JST: <https://www.argentina.gob.ar/jst>
- CONAE (imágenes satelitales): <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae>
- Radar SINARAME: en sitio del SMN.

Esta bibliografía es indicativa y no exhaustiva. La meteorología aeronáutica evoluciona con nuevos productos, modelos y conocimientos. El alumno PPA debe acostumbrarse a leer DIARIAMENTE los productos del SMN durante su formación, no solo el día del vuelo. Las cifras numéricas, ejemplos de METAR/TAF y patrones meteorológicos descritos en este manual son representativos y pedagógicos; el producto oficial para cada vuelo es el reporte y pronóstico vigente del SMN al momento de la operación, complementado con SIGMET, AIRMET, GAMET y la observación directa del cielo por parte del piloto. La meteorología no se «sabe»: se observa, se interpreta y se respeta.