

CIZALLADURA Y TURBULENCIA



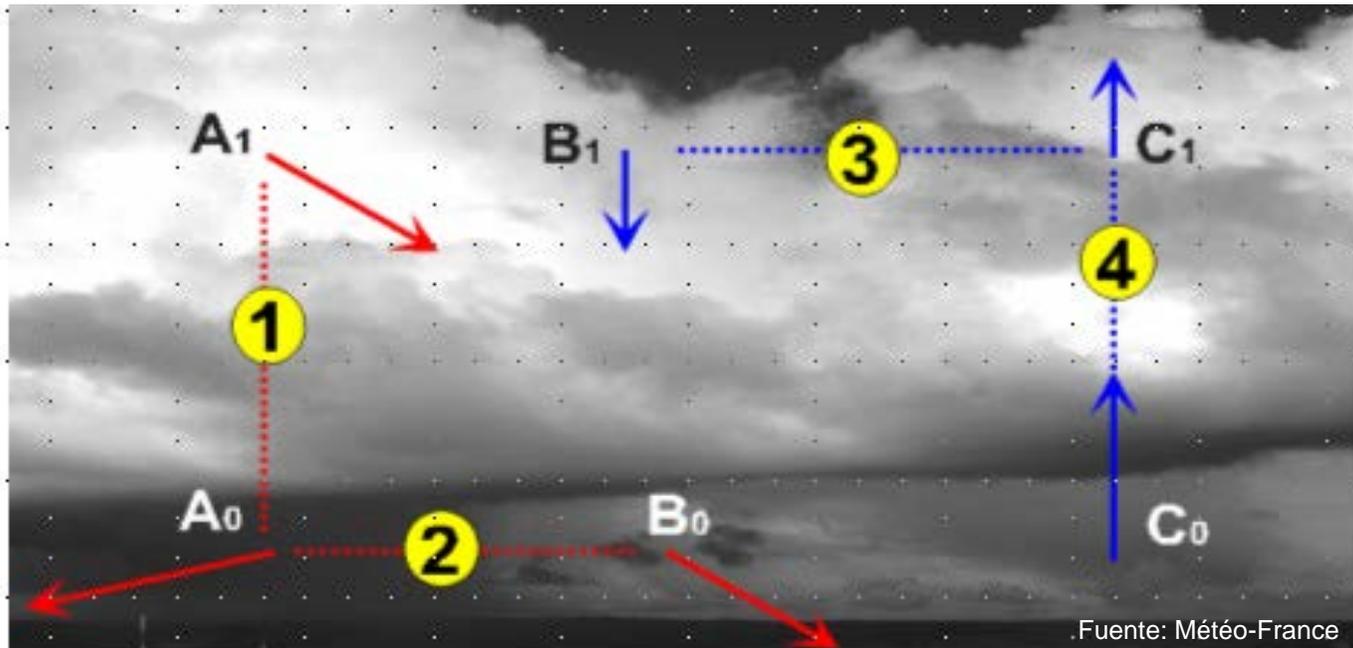
COPYRIGHT PAULO SANTOS - PORTUGAL SPOTTERS

AIRLINERS.NET

DEFINICIÓN DE CIZALLADURA

Cizalladura (WS) es el cambio en la dirección y/o la intensidad del viento en un plano, y en una distancia corta. Se produce cuando capas de aire adyacentes tienen una acusada diferencia entre sus velocidades respectivas. La cizalladura es la causa fundamental de la turbulencia. Aunque puede presentarse cizalladura sin que haya turbulencia, nunca sucede lo contrario.

La cizalladura puede ser vertical, horizontal, o ambas, o ser debida a cambios en la componente vertical del viento (corrientes ascendentes o descendentes).



Fuente: Météo-France

1 Vertical wind shear of horizontal wind

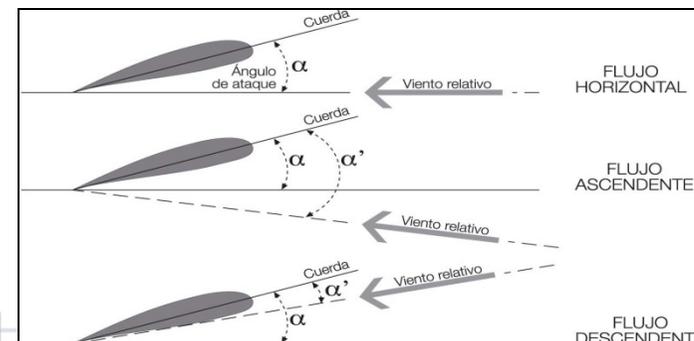
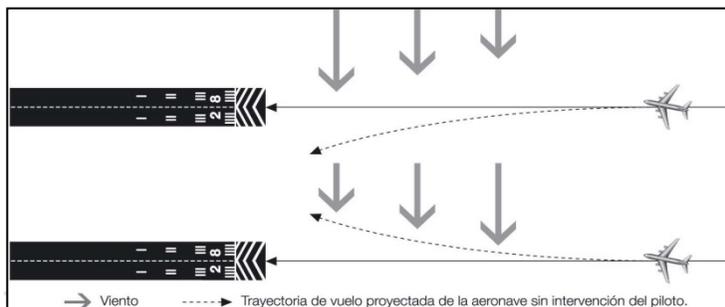
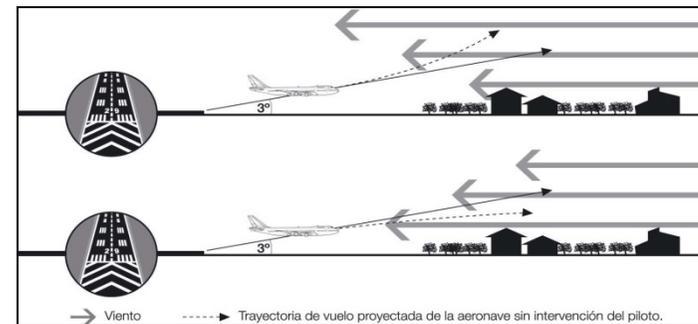
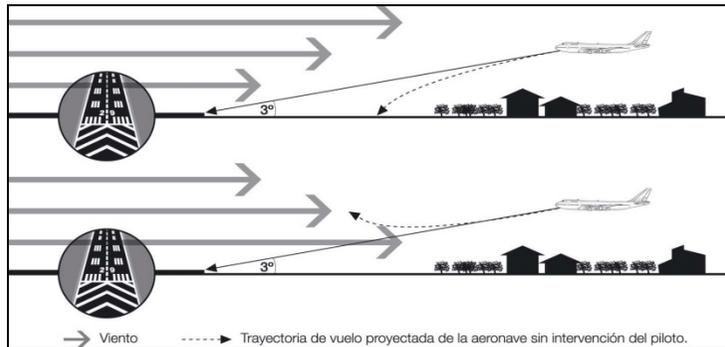
2 Horizontal wind wind shear

3 and 4 Vertical wind wind shear

CIZALLADURA CRITICA PARA LA AVIACIÓN: LLWS

La cizalladura puede presentarse en todos los niveles de la atmósfera pero se considera que **es un peligro para la aviación por debajo de 2000ft**, es lo que se conoce como LLWS.

La cizalladura crítica se presenta en distancias horizontales de 1 a 2 km, distancias verticales desde el suelo hasta 2000ft AGL, con intensidad suficiente para afectar a las operaciones de manera significativa.



Fuente: B. González. Meteorología Aeronáutica

INTENSIDAD DE LA CIZALLADURA

Aunque existen lagunas en los criterios para cuantificar la intensidad de la cizalladura, OACI y OMM consideran los siguientes umbrales de intensidad para 100 ft de trayectoria vertical (despegue y aterrizaje):

| Intensidad de LLWS | Variación por cada 100 ft de trayectoria vertical |
|--------------------|---|
| Ligera | < 4 kt |
| Moderada | de 5 a 8 kt |
| Fuerte | de 9 a 12 kt |
| Muy fuerte | > 12 kt |

Fuente: Météo-France

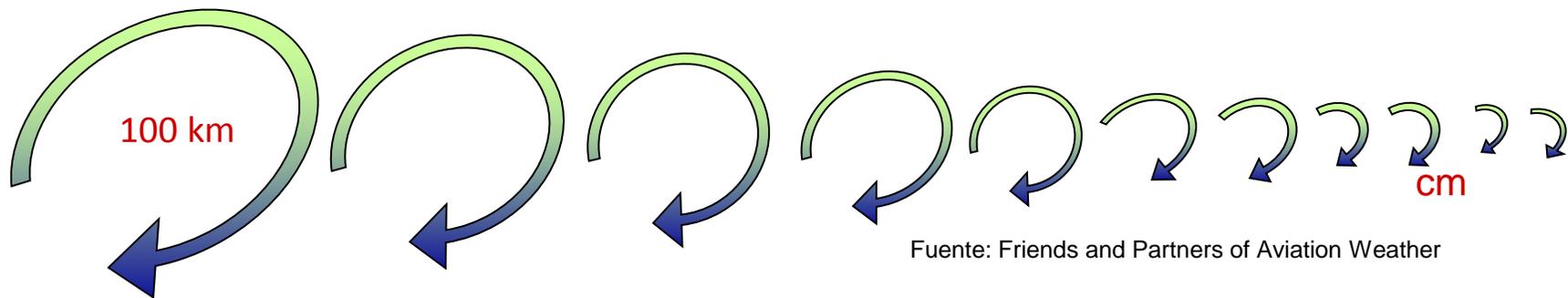
LLWS es un peligro potencial cuando las variaciones en la intensidad de viento causan un cambio súbito de la sustentación de las aeronaves haciendo difícil su gobernabilidad (no se tiene en cuenta la compresión que pueda producirse en el espacio aéreo por causa de WS).

DEFINICIÓN DE TURBULENCIA

La **turbulencia en la atmósfera** se produce cuando hay movimientos aleatorios del aire que se superponen al viento medio, dando lugar a remolinos que viajan en el flujo.

Los remolinos turbulentos tienen dimensiones que van desde centenares de kilómetros hasta centímetros.

El flujo turbulento evoluciona desde grandes remolinos con mucha energía turbulenta hasta pequeños remolinos, donde finalmente la turbulencia se disipa.



Fuente: Friends and Partners of Aviation Weather

La **turbulencia aeronáutica** se define como toda variación de la intensidad y/o dirección del viento que genera aceleraciones verticales u horizontales que pueden modificar los parámetros de vuelo. Las aeronaves son afectadas por remolinos cuya escala es del orden de la envergadura del avión, es decir, del orden de 100m, escala no resuelta por los modelos numéricos de predicción.

INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA

En su Anexo 3, OACI estableció a partir del año 2001 una clasificación estándar de turbulencia en función del valor de la raíz cúbica de la razón de disipación del remolino turbulento (EDR- Eddy Dissipation Rate) medida en unidades de energía por unidad de tiempo ($m^{2/3} s^{-1}$).

| Intensidad de la turb potencial | clasificación | Raíz cúbica del EDR $\sqrt[3]{EDR}$ |
|---|---------------|--|
|  | Moderada | Entre 0.4 y 0.7 |
|  | Fuerte | > 0.7 |

Conviene distinguir:

- turbulencia potencial de la atmósfera, indicada por el índice EDR que se estima mediante un algoritmo basado en parámetros físicos y que es un valor objetivo de la turbulencia, independiente del tipo de avión.
- turbulencia efectiva, que es la consecuencia de la turbulencia atmosférica sobre el avión, lo que se traduce en velocidades verticales que dan lugar a importantes y repentinas variaciones del factor de carga.

| Intensidad de la turbulencia efectiva | Fluctuaciones en la velocidad del avión | Variación del factor de carga n |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Moderada | 15 a 25 kt | Entre 0.5 y 1.5 g |
| Fuerte | > 25 kt | Entre 0 y 2 g |

En turbulencia moderada el avión sufre cambios de altitud y actitud, pero en todo momento se puede mantener su control.

En turbulencia fuerte se puede perder momentáneamente el control del avión y éste puede sufrir daños estructurales.

La sensibilidad a la turbulencia varía en función del peso, superficie alar, actitud y velocidad de la aeronave.

La turbulencia es **significativa para la aviación en todos los niveles de la atmósfera cuando su intensidad es moderada a fuerte, principalmente en crucero.**

En los pronósticos de turbulencia emitidos por AEMET se cuantifica la intensidad y se concretan la extensión y los niveles afectados en base a una serie de índices de turbulencia (proyecto desarrollado por Feliciano Jiménez. ATAP, AEMET).

DIFICULTADES CON LLWS Y TURB

Meteorólogos:

- Fenómenos de pequeña escala no resueltos por los modelos numéricos
- No hay medidas instrumentales
- Información de retorno escasa

Pilotos:

- No se ve (salvo la asociada a nubes convectivas que son detectadas por el radar)
- Se presenta inesperada y repentinamente

Una mejor comprensión de cizalladura y turbulencia requiere conocer cuáles son las situaciones meteorológicas donde se dan condiciones favorables a su formación, según lo cual se consideran diferentes tipos.

TIPOS DE LLWS Y TURBULENCIA

CONVECTIVO

Térmicas
Cumulonimbos

NO CONVECTIVO

En niveles bajos:

Inversiones de suelo, valle y LLJ asociados

Frontal,

Brisas,

Variaciones en el flujo regular del aire por los obstáculos y la orografía

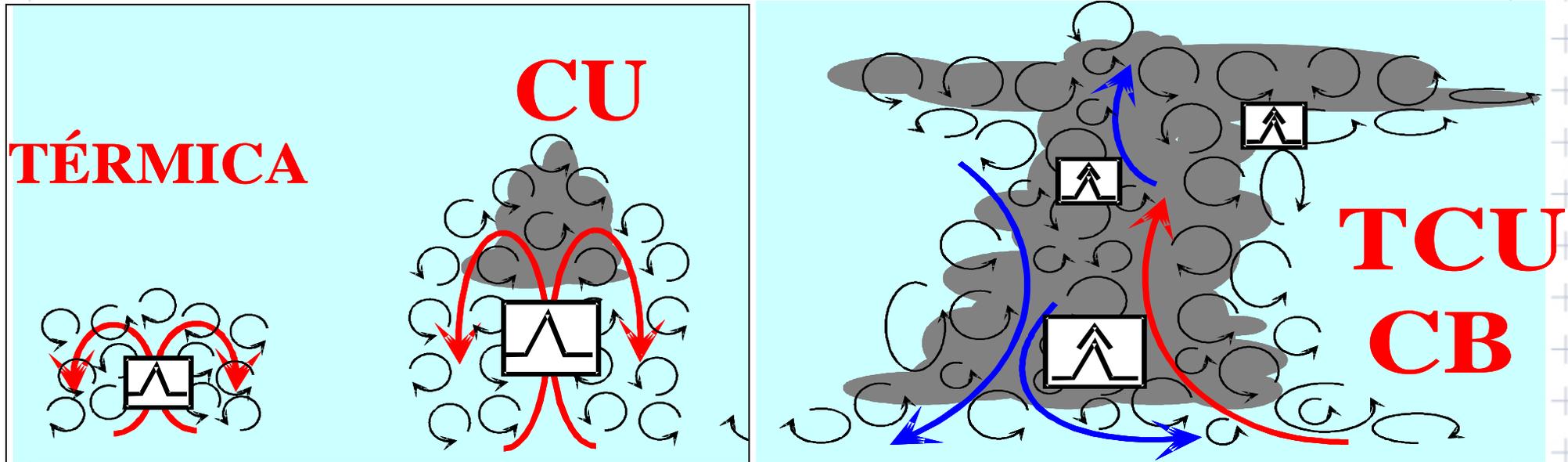
En niveles altos:

Turbulencia en aire claro (CAT)

Onda de montaña

TIPO CONVECTIVO

La turbulencia convectiva se genera debido a las fuertes ascensiones y descendencias que se producen en las nubes convectivas. Se manifiesta dentro de la nube convectiva, debajo de ella y en su entorno. Cuanto mayor es la actividad convectiva más fuerte es la turbulencia. Las ascensiones pueden alcanzar los 35 m/s y las descendencias los 15 m/s.



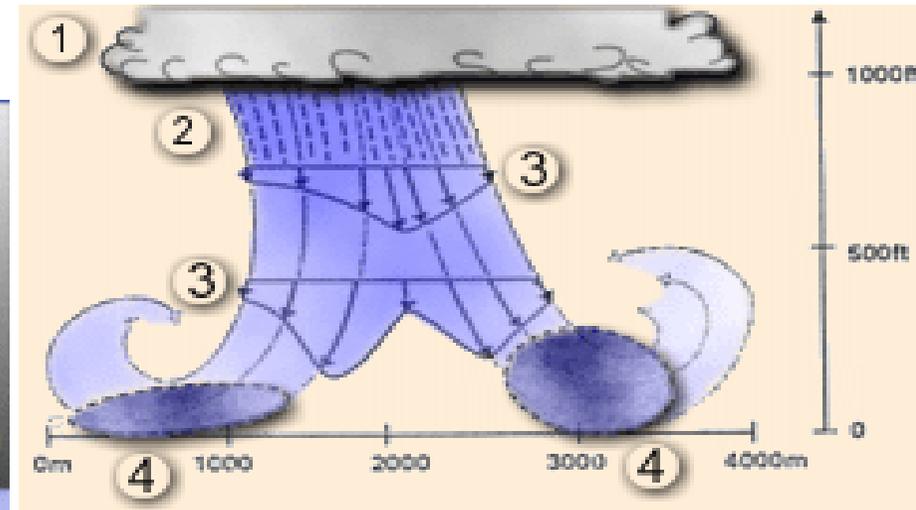
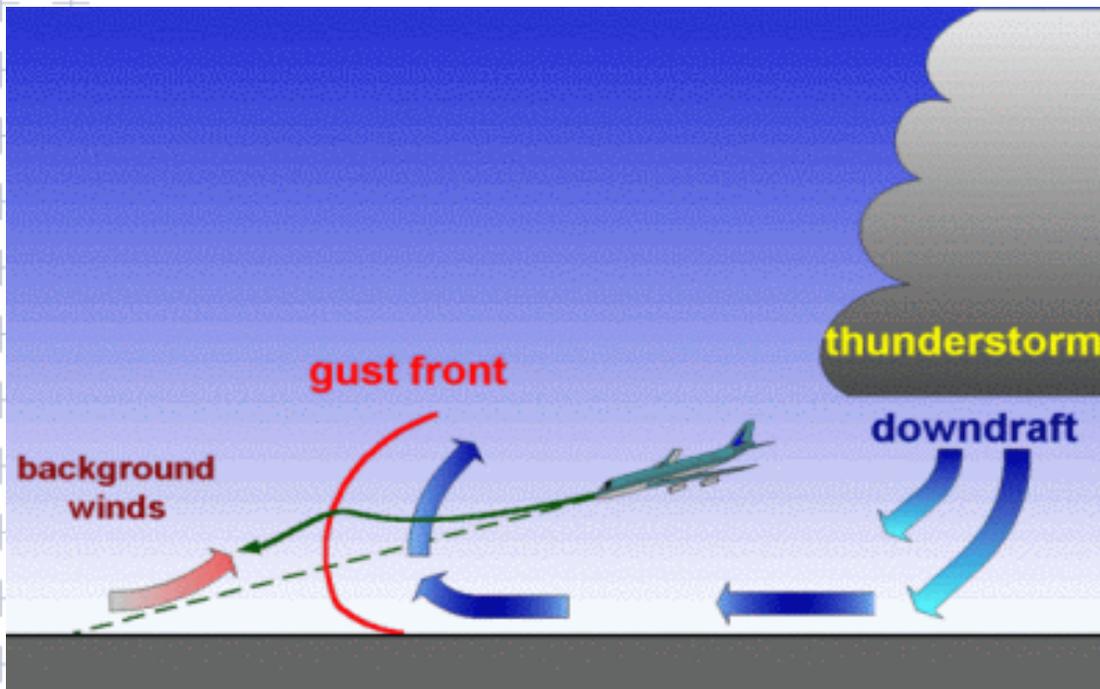
Fuente: Météo-France

La turbulencia convectiva tiene mayor intensidad en el inicio de la fase de madurez de la tormenta y en el tercio central del espesor nuboso.

TIPO CONVECTIVO

Frente de racha

En la fase de madurez de la tormenta, una enorme columna de aire frío y denso desciende rápidamente al suelo, expandiéndose en todas direcciones y desplazando el aire cálido del entorno. La mezcla turbulenta produce vórtices que provocan vientos muy fuertes en direcciones opuestas. Esta primera descendencia de la tormenta se conoce como frente de racha y lleva asociadas fuerte cizalladura y turbulencia.



1. base de la nube
2. precipitación o virga
3. corriente descendente
4. vientos fuertes

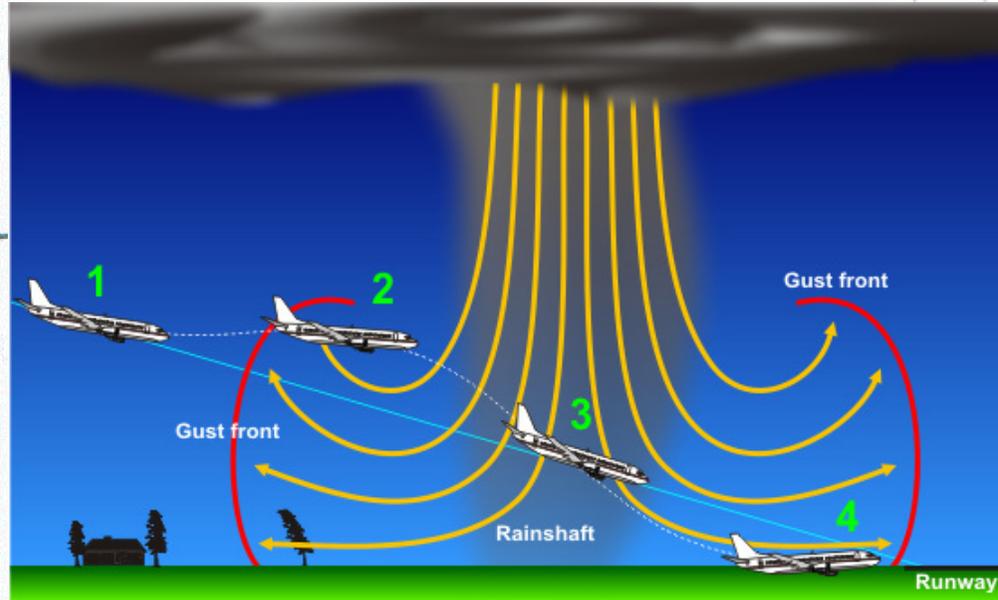
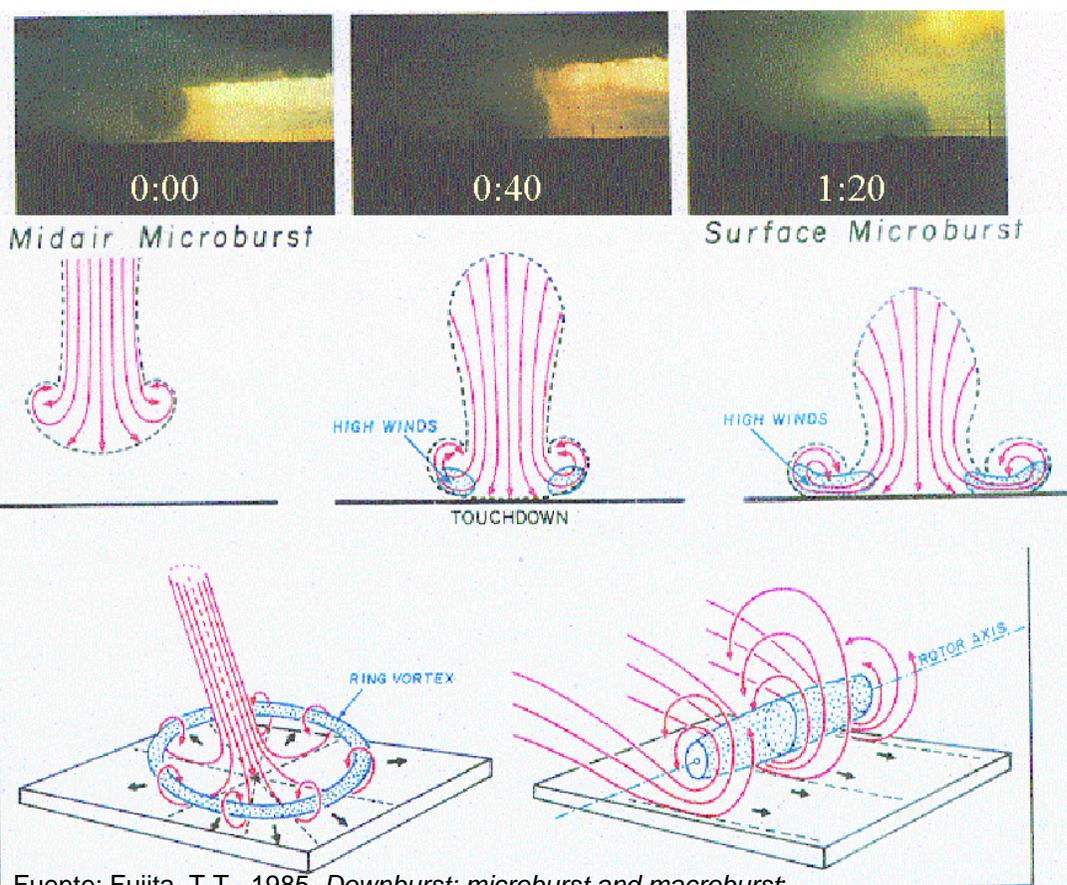
Fuente: Météo-France

TIPO CONVECTIVO

Microburst

Se produce cuando la primera descendencia de la tormenta o frente de racha es muy violenta. Es un fenómeno de pequeña escala, en torno a los 4 km, con velocidades verticales del orden de 4000 ft/min y genera rachas de unos 100 kt.

El microburst lleva asociada la WS vertical y horizontal más peligrosa. En esta situación las aeronaves son muy vulnerables a una pérdida repentina de altitud y velocidad.



Fuente: Fujita, T.T., 1985. Downburst: microburst and macroburst.

Fuente: NOAA

TIPO CONVECTIVO

Tornado

Con vientos que llegan a alcanzar 200 kt, el tornado es la antítesis del microburst. Este sistema de baja presión se forma en las ascendencias de tormentas severas. Con una presión un 10% menor que su entorno, succiona el aire que lo rodea. Representan el caso extremo de adversidad.

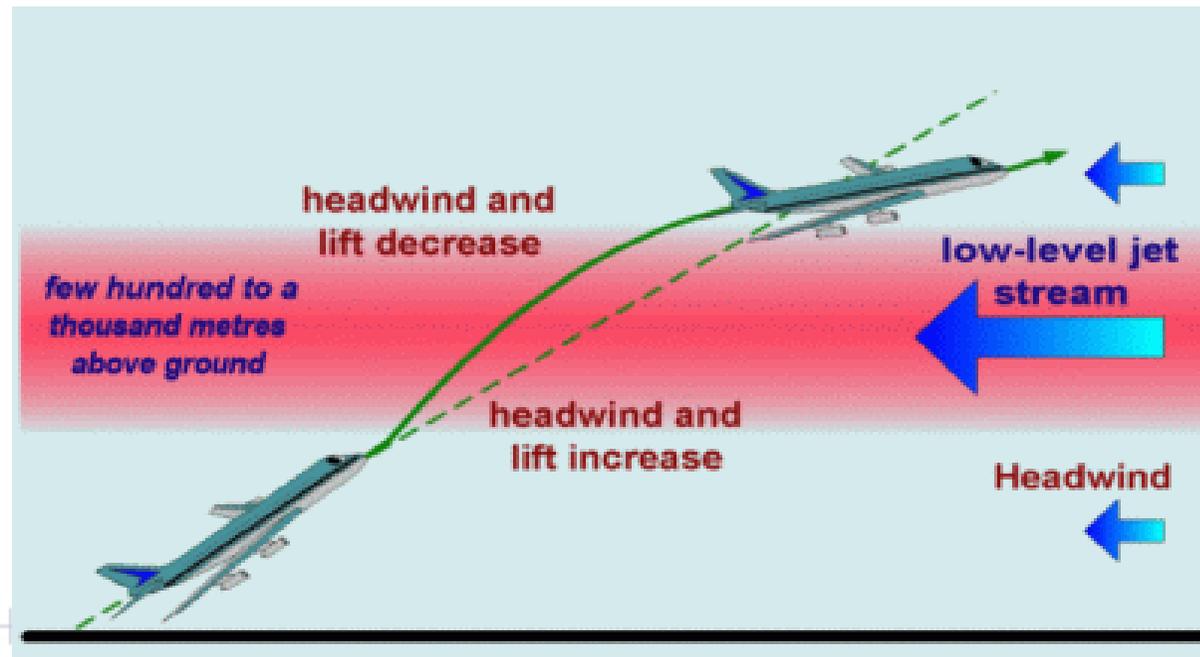


Photograph by Arlene Laing

TIPO NO CONVECTIVO_Niveles bajos

Inversión y chorro en niveles bajos

Cuando se forma una fuerte inversión de suelo debido a la radiación nocturna, la mezcla turbulenta y la transferencia de energía desde las capas superiores no se produce. Los vientos junto a la superficie se encalman y el flujo superior no percibe el efecto de la fricción, aumentando su velocidad en el tope de la inversión hasta valores superiores a 60 kt, es el llamado chorro de niveles bajos. El nivel de viento máximo suele situarse en torno a 1000ft sobre el suelo. La LLWS es siempre significativa y en algunos casos, puede aparecer turbulencia.

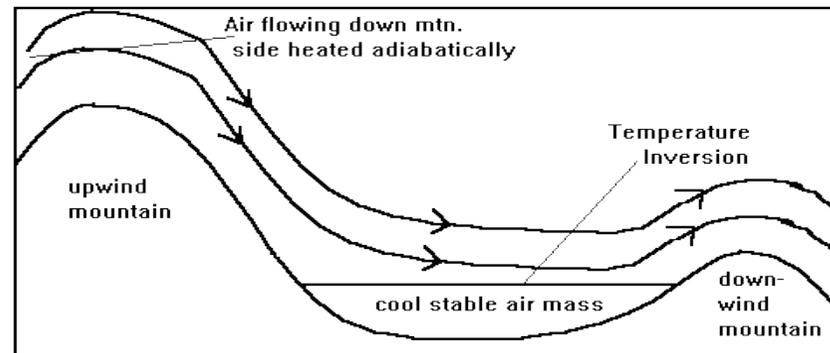


Fuente: Météo-France

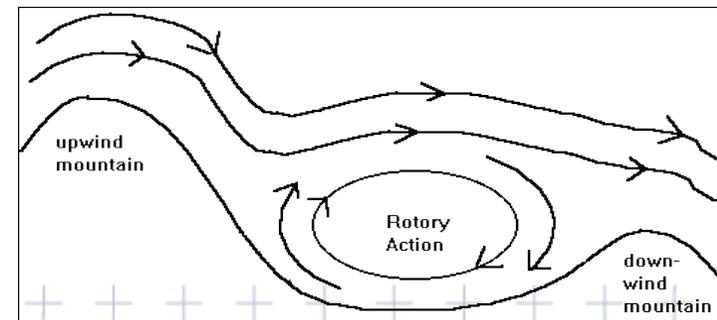
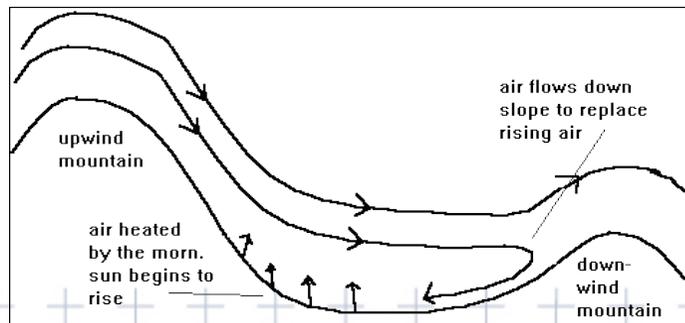
TIPO NO CONVECTIVO_Niveles bajos

Inversión de valle

Debido al enfriamiento nocturno en el valle se estanca una masa fría y estable. El flujo que desciende desde la montaña hacia el valle, se calienta adiabáticamente y al encontrarse con la masa fría no la penetra, sino que fluye sobre ella y se acelera.



Durante el día el aire frío del valle se calienta y comienza a elevarse, siendo sustituido por el flujo descendente, hasta que se genera un rotor.

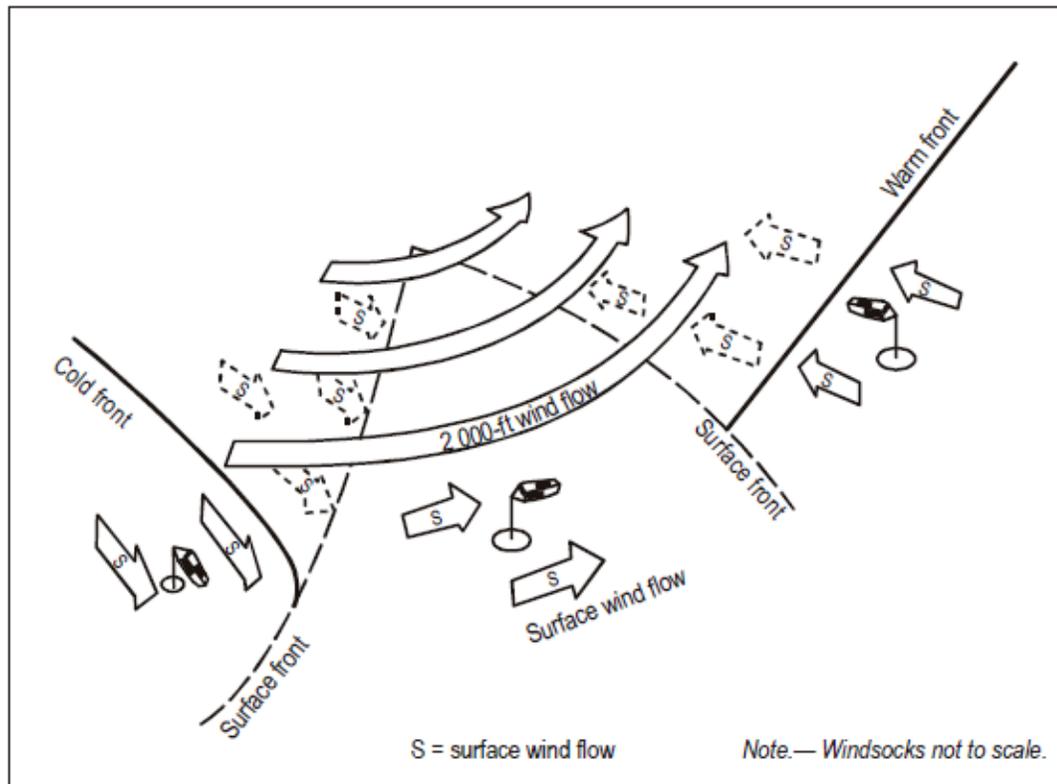


Fuente: Manual on Low Level Wind Shear. OACI. Doc 9817

TIPO NO CONVECTIVO_Niveles bajos

Frentes

La presencia de cizalladura y turbulencia cerca de zonas frontales se debe al contraste térmico de las masas de aire. Es significativa la cizalladura vertical, delante del frente cálido que se aproxima y detrás del frente frío que se aleja.



En presencia de frentes, los fuertes gradientes de viento en niveles bajos dan lugar a turbulencia. En el caso de frentes activos pueden venir acompañados de LLJ, por lo que la turbulencia se intensifica.

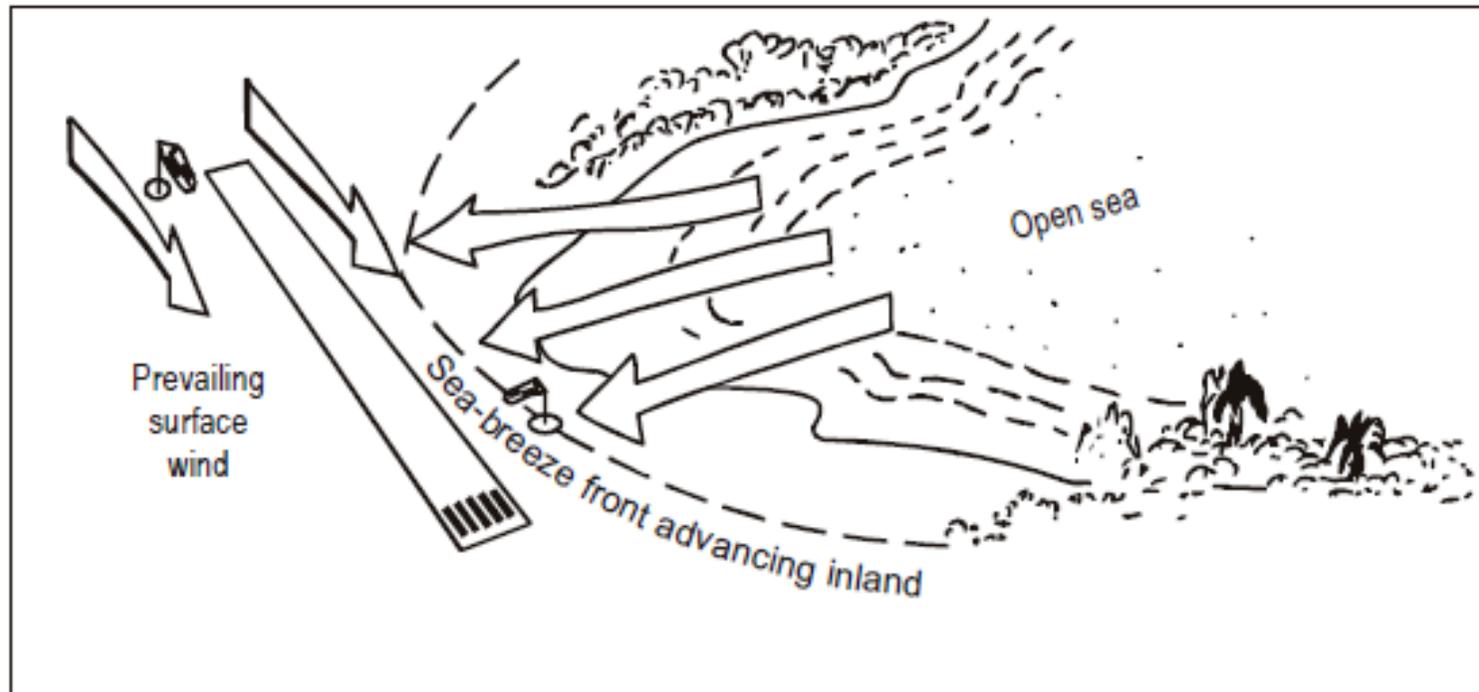
Fuente: Manual on Low Level Wind Shear. OACI. Doc 9817

TIPO NO CONVECTIVO_Niveles bajos

Brisas de mar y tierra

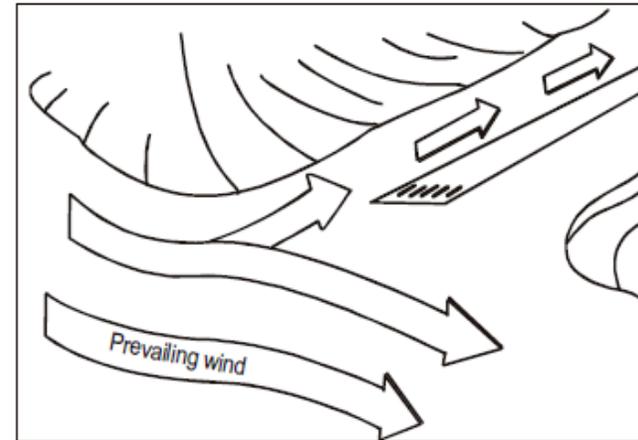
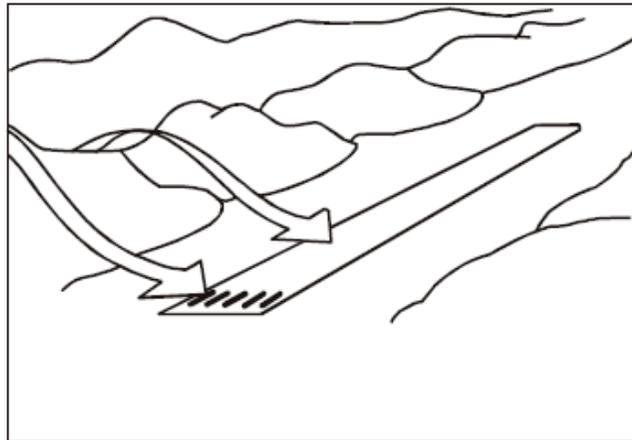
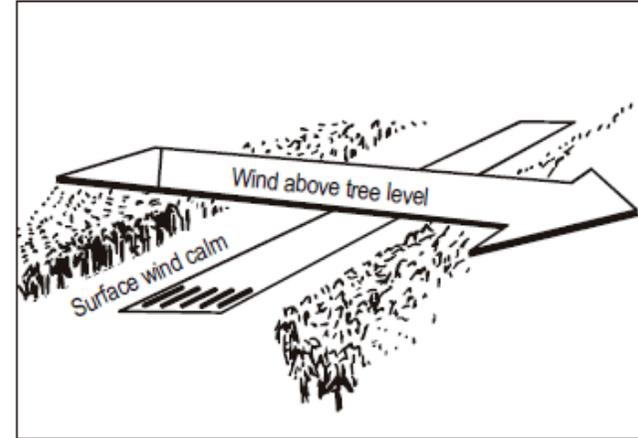
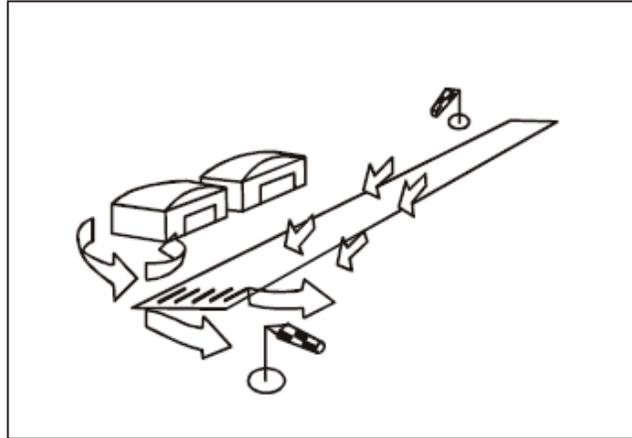
El calentamiento diferencial da lugar a las brisas, con direcciones del viento casi opuestas entre el suelo y la cima de la circulación de brisa, que se sitúa a unos 1000 ft.

Cuando las brisas alcanzan velocidades de 10 a 15kt, la brisa actúa como un frente poco profundo, cuyos efectos se ven reforzados por la topografía local.



Fuente: Manual on Low Level Wind Shear. OACI. Doc 9817

TIPO NO CONVECTIVO_Niveles bajos

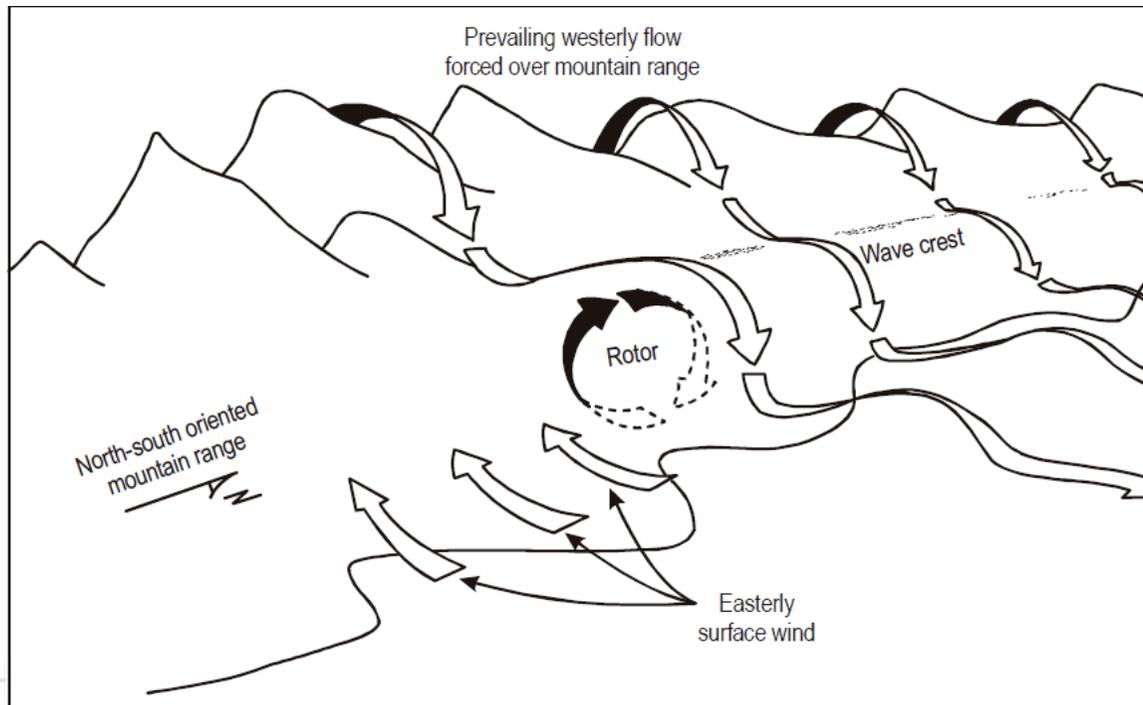


Fuente: Manual on Low Level Wind Shear. OACI. Doc 9817

TIPO NO CONVECTIVO_Onda de montaña

En una escala mayor, cuando el viento medio es forzado a superar una cadena montañosa, dependiendo de las condiciones de velocidad y estabilidad, se formarán ondas estacionarias a sotavento de la cadena montañosa llamadas ondas de montaña.

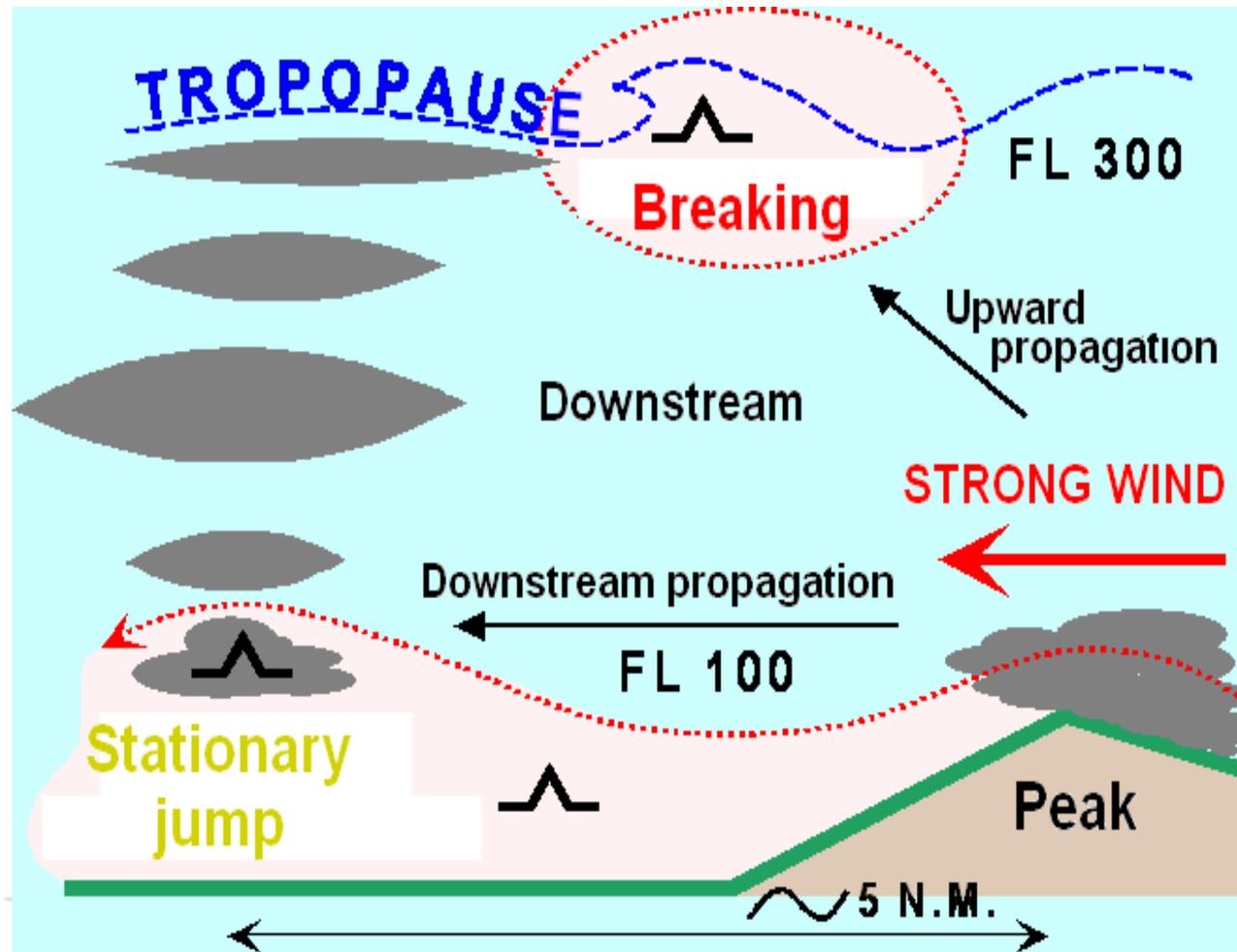
Si las ondas tienen suficiente amplitud se forma un rotor bajo la cresta de las ondas, el primero de los cuales es el más peligroso. Cuando las corrientes verticales del rotor alcanzan el suelo dan lugar a un viento bajo el rotor que puede superar los 100 kt y que va en sentido contrario al del viento que desciende la ladera.



Fuente: Manual on Low Level Wind Shear. OACI. Doc 9817

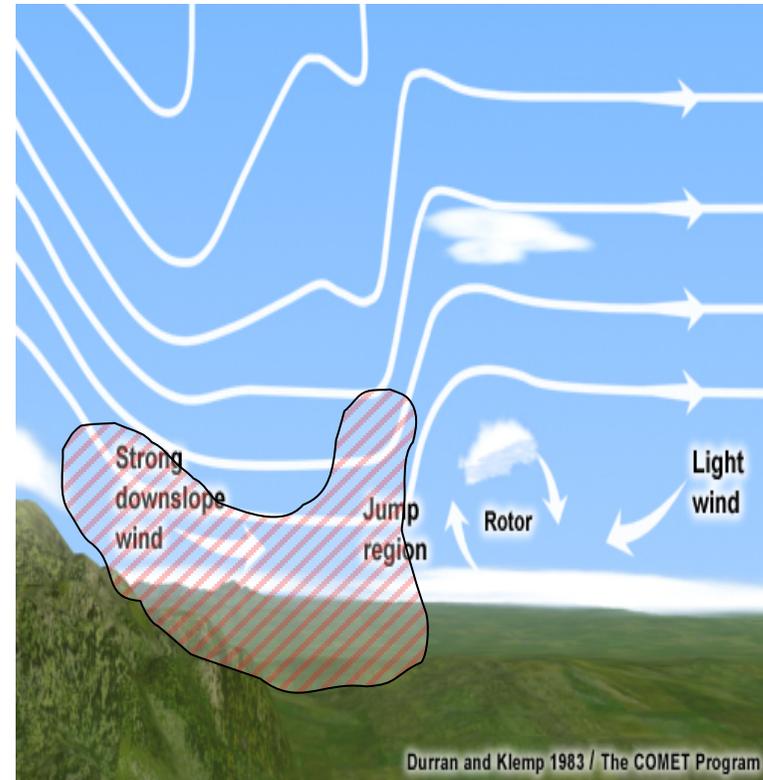
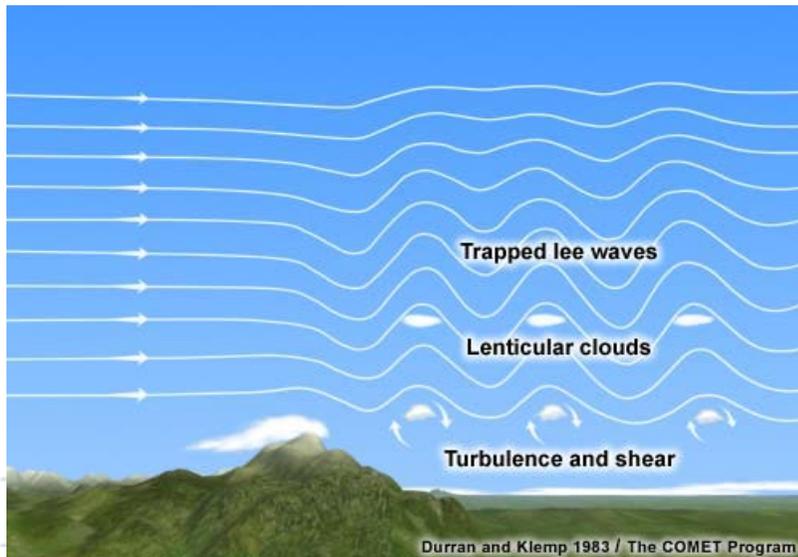
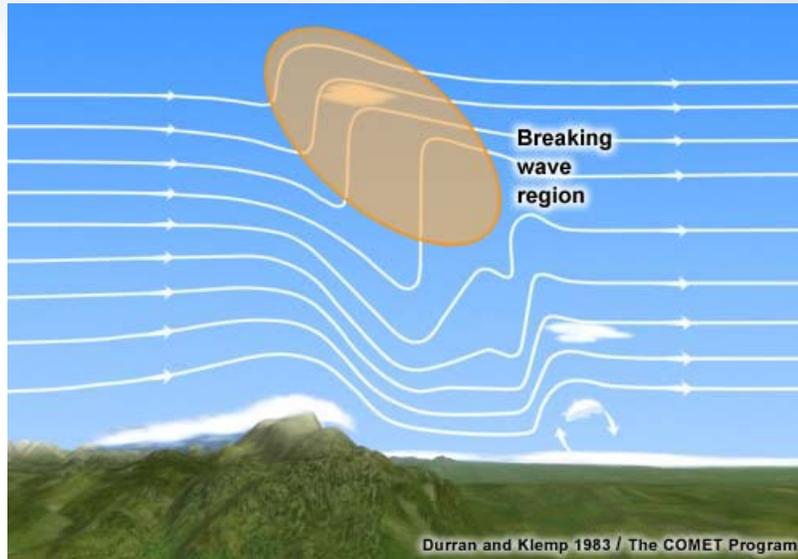
TIPO NO CONVECTIVO_Onda de montaña

Cizalladura y Turbulencia se generan en las fuertes descendencias de sotavento (especialmente en las proximidades del rotor) y en niveles altos o medios cuando la onda rompe formando remolinos turbulentos.



Fuente: Météo-France

TIPO NO CONVECTIVO_Onda de montaña



TIPO NO CONVECTIVO_CAT

Cuando capas de aire adyacentes se mueven a distintas velocidades, se produce fuerte cizalladura. Si las ondas que se forman en el flujo rompen se forman remolinos que viajan en el viento medio generando CAT.



Fuente: Denver Post 1992

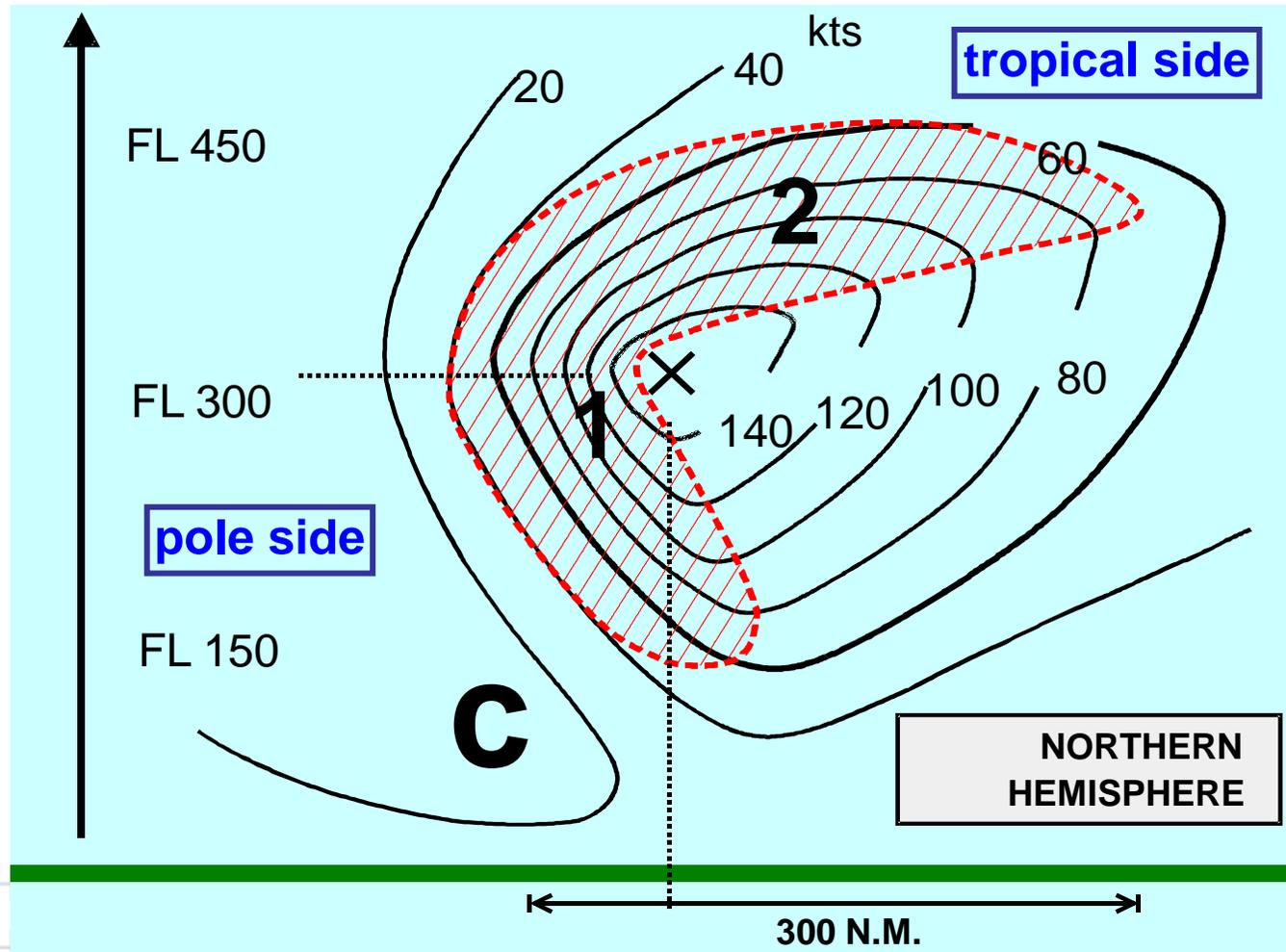


Fuente: Terry Robinson

El mayor número de casos de CAT están relacionados con las variaciones en dirección y velocidad del viento en las proximidades de la corriente en chorro.

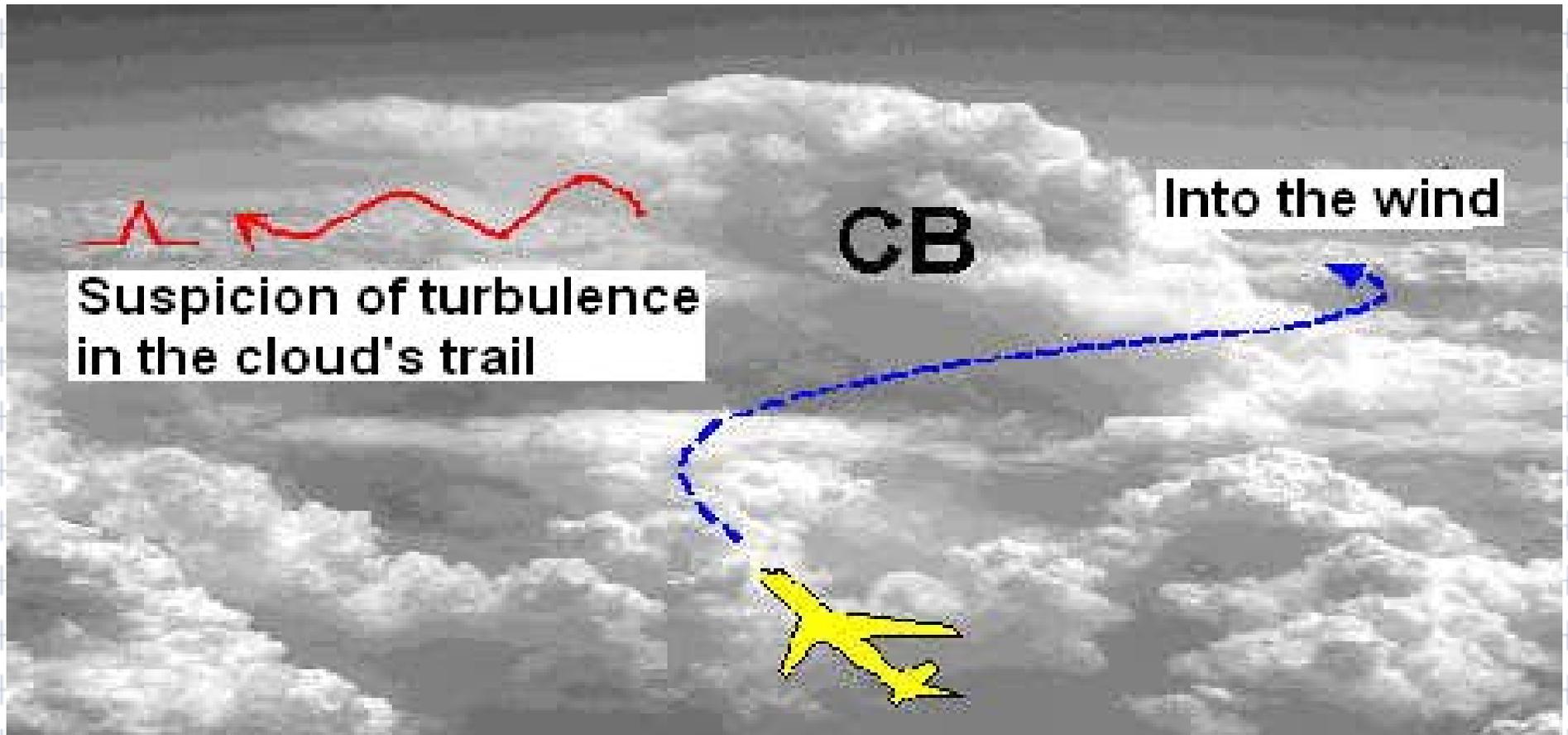
TIPO NO CONVECTIVO_CAT

En las proximidades del chorro las zonas más favorables a CAT se encuentran en el lado frío del chorro, señaladas en el gráfico con 1 y 2



TIPO NO CONVECTIVO_CAT

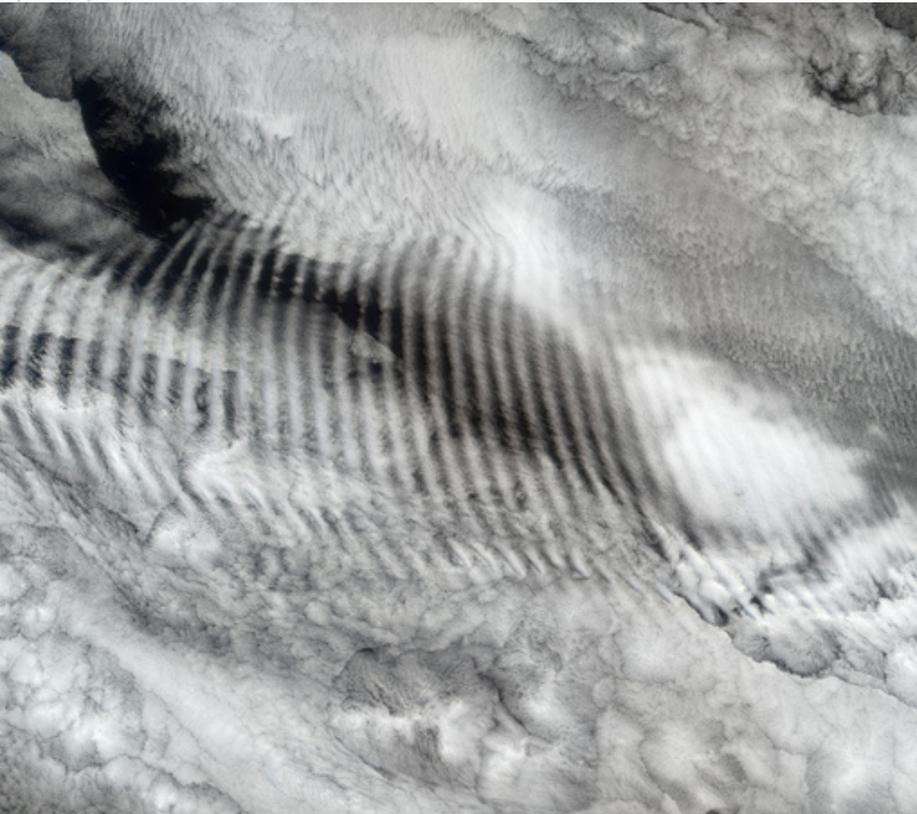
También se produce CAT a niveles de crucero (entre FL350 y 450) a sotavento de tormentas severas. Se considera que dicha CAT es causada por la interacción de los topes en desarrollo con el jet stream o con la inversión de la tropopausa.



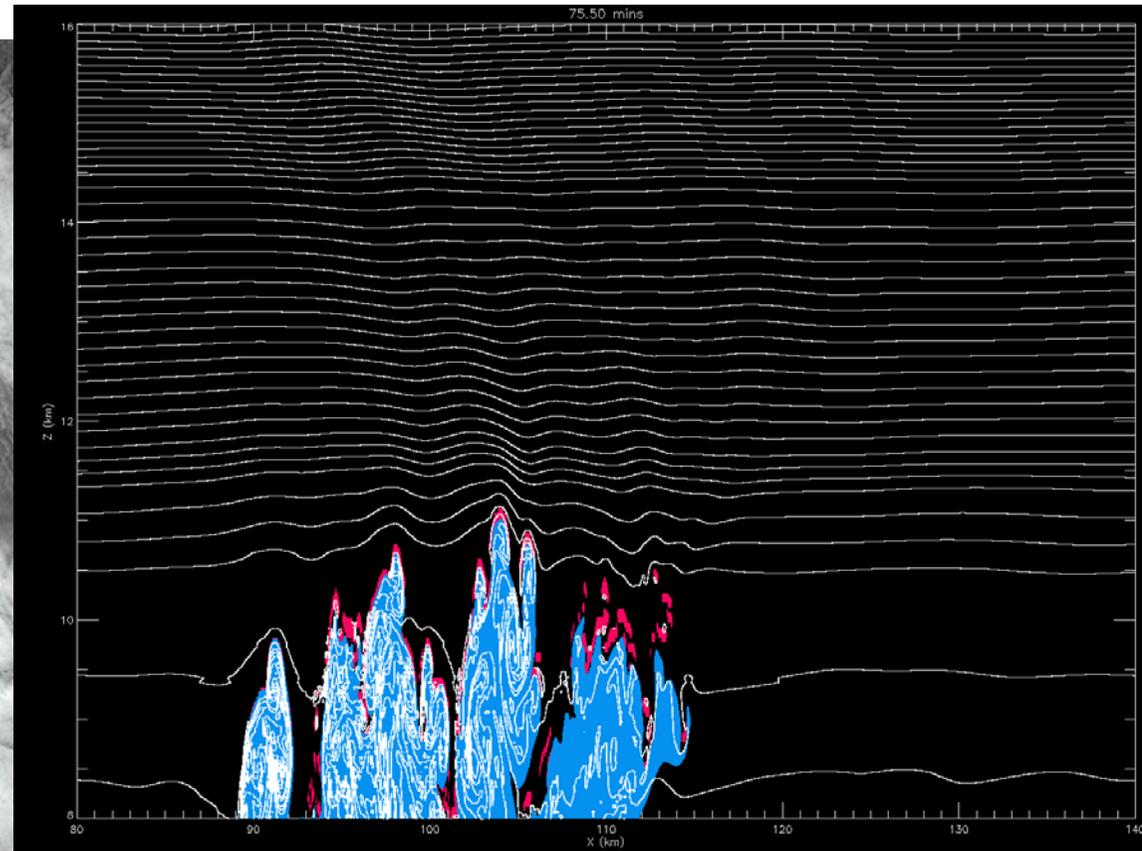
Fuente: Météo-France

TIPO NO CONVECTIVO_CAT

Cuando el viento sopla sobre un gran obstáculo como una montaña o una isla se forman las llamadas ondas de gravedad (onda de montaña). Lo mismo ocurre cuando en niveles altos la convección profunda perturba el flujo. Las ondas de gravedad dan lugar a turbulencia aeronáutica.



Fuente: NASA



Fuente: Friends and Partners of Aviation Weather

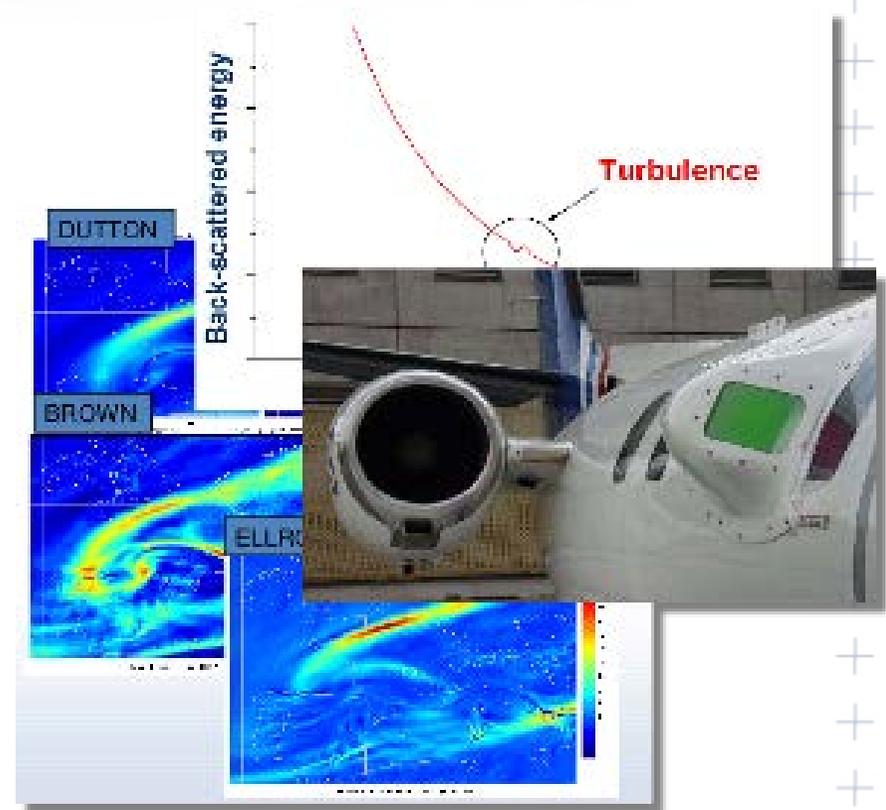
Noticias -CAT-

La revista Nature Climate Change publicó el 8 de Abril de 2013, el artículo **Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change** de los investigadores Paul Williams y Manoj M. Joshi de Reading University.

Dichos investigadores concluyen que está aumentando la intensidad y frecuencia de CAT asociada con el Jet Stream en los vuelos transatlánticos. Relacionan dicho fenómeno con el aumento de intensidad del chorro debido al calentamiento global.

El proyecto europeo **DELICAT (DEMONSTRATION of LIDAR BASED CLEAR AIR TURBULENCE DETECTION)** está desarrollando un método para detectar la turbulencia midiendo las fluctuaciones de densidad en el movimiento del aire (marzo 2014).

El objetivo es desarrollar un sistema integrado de detección de turbulencia, de modo que los pilotos puedan, no solo comunicarlo al pasaje, sino rodear la zona afectada.



Fuente: DELICAT



COPYRIGHT STEVE MORRIS

AIRLINERS.NET