

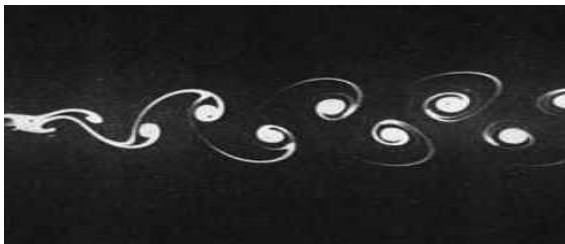
TURBULENCIA



Un Factor de Riesgo para las Operaciones Aéreas Introducción

Existen varias teorías sobre el origen de la turbulencia, siendo, la teoría de la estabilidad de los flujos laminares la más aceptada. El movimiento de un fluido puede satisfacer todas las ecuaciones del movimiento, pero las características del flujo experimentan cambios irreversibles cuando se introduce una perturbación y de esta manera, en el seno del mismo, se originan la formación de torbellinos, los que se propagan a todo el fluido dando lugar a la creación de un flujo turbulento. La turbulencia de un fluido puede visualizarse como un conjunto de torbellinos de diferente escala que se superponen al flujo medio.

Fig. 1 Vórtices originados en el seno de un flujo laminar por efecto de una perturbación.



Si al ejemplo de la figura 1, le sumamos el efecto producido por el calentamiento, puede observarse en la figura 2 como cambia el comportamiento del flujo de aire considerando el efecto de la mezcla.



La turbulencia meteorológica puede ser definida como la perturbación del comportamiento del flujo laminar del viento, originada por diferentes factores (físicos, termodinámicos, etc.), la cual da como resultado la formación de remolinos y cambios en las componentes horizontales y verticales del mismo. Estas perturbaciones no presentan un patrón único y definido, sino que varían de acuerdo a las causas que la producen.

Existen varias causas que originan la formación de zonas turbulentas y en ocasiones pueden ser producidas por una combinación de las mismas. A continuación serán descritas las causas más comunes para su formación las cuales son:

Turbulencia mecánica.

Turbulencia térmica.

Onda de montaña.

Estela turbulenta.

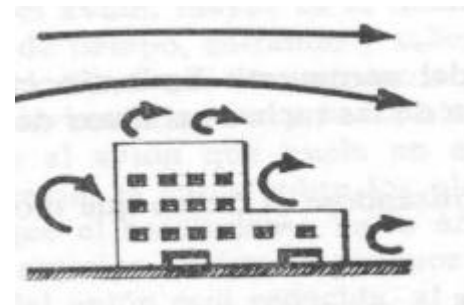


fig 3

Turbulencia mecánica

Es aquella que se produce por el rozamiento del aire con la superficie terrestre, estimulada por los obstáculos y la orografía, los cuales originan remolinos que afectan a una capa de aproximadamente unos 1.000 metros de espesor, la cual es denominada capa turbulenta.

Un ejemplo clásico de ella se puede observar en la figura 3, donde se esquematiza el comportamiento que se observa en el viento cuando el mismo atraviesa una edificación cualquiera. El viento que era laminar se hace turbulento a su alrededor, pues, aparte de actuar como obstáculo, el calentamiento sobre él no es uniforme.

La turbulencia producida por una montaña depende en gran medida de la forma de la misma y de la dirección y velocidad del viento, si se considera una montaña con una suave pendiente ascendente desde donde sopla el viento, y del lado opuesto presenta una abrupta depresión en su orografía (Fig. 5), se puede estimar con bastante certeza que a barlovento los remolinos deben ser suaves, mientras que a sotavento la perturbación puede ser muy intensa, dependiendo esto no solamente de componente orográfica, sino también, un factor de fundamental importancia es la intensidad del viento. Un ejemplo práctico puede observarse en nuestro

país en la Provincia de San Luis, específicamente en la llamada Sierra del Morro, una formación orográfica aislada situada al NNE de la Ciudad de Villa Mercedes, donde al registrarse vientos que soplan de los cuadrantes E y SE con

intensidades mayores de 10 nudos, del lado de sotavento (NW y W) se producen fuertes movimientos turbulentos que afectan en forma moderada el vuelo de aeronaves de pequeño porte hasta el nivel de vuelo 070 aproximadamente.

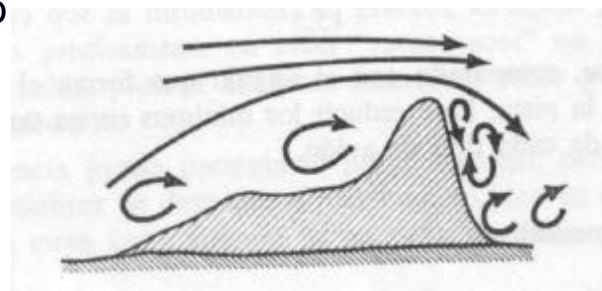


Fig. 4 Turbulencia generada por una montaña

Turbulencia orográfica.

Se define a la turbulencia orográfica u onda de montaña a aquel fenómeno ondulatorio que se produce en un flujo de aire, con ciertas condiciones, el cual se desplaza en forma perpendicular a una barrera montañosa siendo forzado (a barlovento) a ascender, mientras que a sotavento se produce un descenso y extiende su efecto sobre el valle formando una onda. Esto la distingue del caso anterior ya que se trata de un fenómeno que se propaga a cientos de kilómetros de la cadena montañosa que la originó.



Las condiciones meteorológicas optimas que deben estar presentes para la formación de este tipo de fenómeno son las siguientes:

La componente del viento perpendicular a la montaña debe ser superior a 15 nudos.

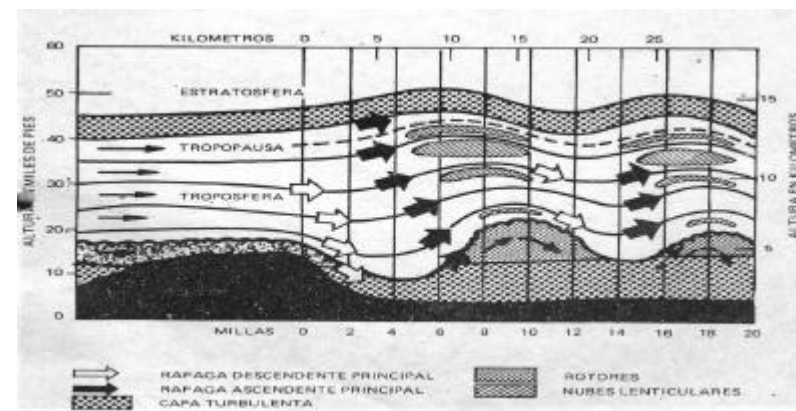
Fuerte cortante vertical (*wind shear*) del viento en la parte baja de la troposfera. (Esta condición tiene ciertos límites, pues un incremento del viento demasiado rápido impediría la formación de la onda).

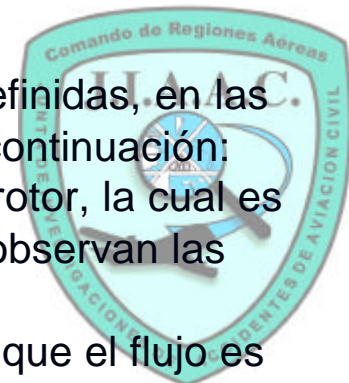
Fuerte inversión de temperatura, desde la cima de la montaña hasta una altura aproximada de 4.000 a 6.000 metros.

Al observarse estas condiciones, entonces se puede aseverar que en esa zona, la atmósfera reúne las características necesarias para que, por causa de cadena montañosa se produzca la onda de montaña.

Fig. 5 Corte vertical de una onda de montaña.

La onda de montaña tiene características muy especiales, una de las cuales es la de propagarse corriente abajo manteniendo por cientos de kilómetros la amplitud de su onda y otra que es la de poder llegar a ocasionar errores en la lectura del altímetro, que pueden sobrepasar los 300 metros en casos extremos.





Como puede deducirse, se generan en ella tres zonas de turbulencia bien definidas, en las que la misma se manifiesta con diferentes intensidades y que se detallan a continuación: Una zona baja, que corresponde al aire inestable con nubes de capuchón y rotor, la cual es muy turbulenta, sobre todo cerca de superficie bajo la nube rotor, donde se observan las máximas velocidades verticales.

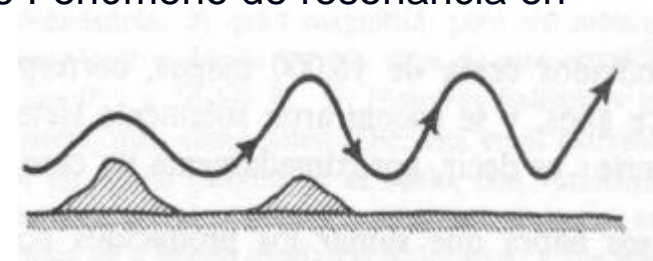
La zona intermedia, donde se forman las lenticulares, cuya característica es que el flujo es casi laminar y a pesar de que se observan corrientes ascendentes y descendentes suaves, la turbulencia que presenta es leve.

La zona alta, especialmente muy turbulenta cuando está asociada a un Jet Stream en capas altas.

Un factor a tener en cuenta es que bajo ciertas condiciones meteorológicas, la longitud de la onda generada por el viento (si bien como se dijo anteriormente es bastante estable) puede variar hasta un 30%. Al suceder esto y en el caso que a sotavento exista otra cadena montañosa, es posible que la onda se “ponga en fase”, con la misma y se produzca un efecto físico conocido como resonancia, el cual amplifica la intensidad de la perturbación, haciendo que del lado de barlovento de la segunda cadena, la turbulencia se vea incrementada notablemente.

En general puede decirse que la onda de montaña es un fenómeno frecuente en nuestro país en la zona adyacente a la cordillera de los Andes, pudiéndose observar a su vez la ocurrencia de fenómenos de resonancia en la Zona Central, a la altura de la Sierra de La Punta de los Venados

Fig. 6 Fenómeno de resonancia en



una onda de montaña

(San Luis) y en zona sur de las Sierras de Córdoba. Si bien la apariencia visual lejana de las nubes lenticulares no presenta un aspecto preocupante, debe evitarse ingresar en estas zonas, especialmente cuando haya que realizar un vuelo (del lado de sotavento) con rumbo paralelo a la cadena montañosa.



Turbulencia térmica

Recordando conceptos elementales de inestabilidad atmosférica debemos recordar que en general todo calentamiento del aire en capas bajas o enfriamiento en capas altas hace que la masa de aire se torne inestable y se produzcan movimientos convectivos de ascenso los que son compensados por otras corrientes descendentes en su entorno, lo cual da origen a lo que se conoce con el nombre de turbulencia térmica. Esta puede ser originada de dos maneras principales:

Por calentamiento en capas bajas. Esta condición es típica de los días de verano donde la superficie terrestre se va calentando por efecto del sol, este a su vez calienta el aire circundante se inestabiliza y se forma lo que se conoce como "efecto de gota caliente", comenzando los movimientos de ascenso. Al alcanzar el "nivel de libre convección" aire comienza a ascender libremente. Si el mismo contiene humedad suficiente se forman cúmulos (convección térmica húmeda), fácilmente identificables encontrándose por debajo de ellos las zonas más turbulentas. En el caso de insuficiente humedad (convección térmica seca) es más difícil identificar las zonas turbulentas, aunque en ocasiones, por ejemplo en el campo sobre superficies aradas, pueden ser observados remolinos de polvo que sirven como referencia visual de las zonas turbulentas.



Por enfriamiento en capas altas. Condiciones de irrupción de aire frío en altura hacen que la atmósfera en esas condiciones se inestabilice, originando movimientos de ascenso, y si el contenido de humedad de la masa de aire que asciende es suficiente estarán dadas las condiciones para la formación de actividad del tipo convectiva donde, a demás de otros fenómenos pueden encontrarse condiciones de turbulencia moderada a fuerte y en ocasiones extrema.

Estela turbulenta

Existe a su vez otro tipo de turbulencia que es producido por aeronaves de gran porte conocido como estela turbulenta, la cual es generada por los extremos de las superficies de los planos, y se localiza inmediatamente por detrás del paso de la misma. Esta representa un serio peligro para las aeronaves de menor porte que realizan su aterrizaje inmediatamente después del despegue de una de mayor tamaño. La particularidad que presenta es que su intensidad disminuye con la distancia y que el efecto del viento en superficie hace que su peligrosidad sea relativa, debiéndose tener en cuenta al momento de autorizar o realizar los despegues o aterrizajes, tomar un tiempo suficiente de separación entre estas operaciones, a los efectos de asegurar su dispersión y de ésta manera minimizar sus efectos.



Consideraciones finales

Hace relativamente pocos años, cuando los aviones volaban a menor velocidad, la turbulencia no era considerada como un riesgo para la aviación por parte de los pilotos. Al entrar el avión en la zona turbulenta generalmente experimentaba solamente movimientos bruscos, que se traducían sólo en incomodidad del vuelo y que no llegaban a poner en riesgo su estructura.

Actualmente al ser mayores las velocidades de navegación, mayor es el número de remolinos que encuentra por unidad de tiempo, entrando y saliendo de ascendencias y descendencias a tal velocidad, que los esfuerzos recibidos por esta causa en la estructura del avión pueden ser de gran importancia, ya que la carga que reciben los planos en estas condiciones de vuelo hacen que la misma se vea incrementada, casi instantáneamente, hasta compensar los movimientos exteriores.

La turbulencia puede presentarse en capas bajas o bien en el seno de la troposfera. En el primer caso interfieren notable y peligrosamente en las maniobras de despegue y aterrizaje durante las cuales la velocidad del avión está reducida, razón por lo cual el avión podría entrar en pérdida de sustentación.

El vuelo en condiciones turbulentas también puede ser peligroso como consecuencia de la propia turbulencia o de los intentos del piloto para no perder mando y mantener su altitud, actitudes que en ocasiones pueden inferir en la seguridad y no son aconsejables, dado que aumentan el riesgo de falla estructural, ante la existencia de algún defecto desconocido en la célula u ocasionalmente por fatiga de material, en el caso de que la aeronave hubiera estado sometida a cargas repetidas en otras ocasiones, a lo largo de mucho tiempo. Una consecuencia menos grave, pero no por ello de menor importancia, es el hecho de que los pasajeros pueden sufrir lesiones o padecer incomodidades durante un vuelo turbulento de larga duración.



En general en los manuales de operación, los fabricantes incluyen instrucciones para el piloto sobre las velocidades óptimas del avión en aire turbulento. La elección de estas velocidades se obtienen a través de ensayos de comportamiento en túneles de viento, complementados por comportamientos operativos de las aeronaves y dependen de las características del avión y de las condiciones meteorológicas (en este caso en particular, del tipo o grado de turbulencia), siendo obviamente aquellas que permitan brindar la máxima seguridad.

Es de destacar que se trata de un parámetro difícil de pronosticar utilizando para ello procedimientos indirectos y en ciertos casos se cuenta con informes o reportes de pilotos (AIREP) los cuales son de fundamental importancia para la ubicación precisa de zonas afectadas por este tipo de fenómenos. De aquí surge un aspecto muy importante, el cual es que todos los pilotos deberían tomar conciencia de la importancia de la confección y difusión de los AIREP, como así también de que, en caso de observar algún fenómeno de este tipo, lo comunique y de detalles del mismo al pronosticador de la Oficina Meteorológica de Aeródromo (OMA) correspondiente a los efectos de que este proceda a asesorar a otros pilotos, para que los mismos los tengan en cuenta para la planificación y/o desarrollo de sus vuelos y de esta manera contribuir a la eficiencia y seguridad de la actividad aérea en general.

Por el Capitán Gustavo Alberto FLORES

*Jefe Departamento Meteorología Aeronáutica
de la DGSMN*