

LA CIZALLADURA DEL VIENTO EN LA APROXIMACIÓN AL AEROPUERTO DE PALMA DE MALLORCA: CLIMATOLOGÍA DE LA MISMA E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO DE MONITORIZACIÓN

José A. Guijarro Pastor
Agustín Jansá Clar

CMT en Illes Balears. INM

RESUMEN

La cizalladura vertical del viento y su turbulencia asociada pueden afectar a las aeronaves durante las maniobras de despegue y aterrizaje, y por tanto son un elemento clave para la seguridad de las mismas, por lo que resulta deseable mejorar su conocimiento. En el caso del aeropuerto de Palma de Mallorca, con un elevado tráfico aéreo (sobre todo en verano), el estudio de los listados en alta resolución de los sondeos de Palma Portopí, distante sólo 7 km, ha permitido estudiar la climatología de la cizalladura vertical del viento en la capa baja (el primer kilómetro) próxima al aeropuerto. También se ha implementado un método automático de monitorización de la cizalladura basado en dichos sondeos. Aumentar la resolución temporal de 12 horas a 10 minutos no ha sido posible por la escasa relación hallada entre la cizalladura máxima en estratos delgados y la calculada con los datos de viento de dos Estaciones Meteorológicas Automáticas situadas a 3 y 1030 m de altitud.

1. Introducción

La circulación del aire en la capa límite es de una gran complejidad por sus complicadas interacciones con la superficie del suelo. Ello se traduce en cambios en la velocidad y dirección del viento en todas las escalas espaciales y temporales, dando lugar a turbulencia y cizalladura (tanto horizontal como vertical) del viento, que son especialmente notables con viento general fuerte cuando la orografía es accidentada, o cuando se producen fenómenos meteorológicos generadores de cambios en el viento: brisas, discontinuidades frontales, tormentas, tornados, etc.

Tanto la turbulencia como la cizalladura del viento resultan de particular importancia para la aviación, puesto que pueden ser críticas para la seguridad de las aeronaves durante las maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje (Linés, 2001). Resulta deseable, por tanto, mejorar el conocimiento de la climatología de la cizalladura del viento en el entorno de los aeropuertos. En el caso del aeropuerto de Palma de Mallorca, con un elevado tráfico aéreo (sobre todo en verano), se dispone del radiosondeo de Palma Portopí, situado a sólo 7 km de distancia (figura 1), por lo que su análisis nos puede ayudar a caracterizar el fenómeno desde el punto de vista climatológico.

Por otra parte, el cálculo de la cizalladura en tiempo real permitiría la activación de alarmas o la generación, automática o semiautomática, de boletines de aviso para mejorar su vigilancia meteorológica. Sin embargo, la resolución temporal de los radiosondeos (12 horas) resulta poco adecuada para esta tarea, por lo que también se estudiará la posibilidad de usar dos estaciones meteorológicas automáticas a distinto nivel (a 3 y 1030 m de altitud) para aumentar esta resolución temporal hasta los 10 minutos (aunque con actualizaciones horarias).

2. Metodología

Se han utilizado los listados de alta resolución (datos cada 10 segundos) de los sondeos de Palma desde enero de 1998 (cuando se empezaron a grabar) hasta septiembre de 2001. En total se han revisado 2456 sondeos, de los que, tras rechazar los que tenían lagunas de datos de viento o temperatura en el primer kilómetro, se han seleccionado 2028 para este trabajo (1027 diurnos y 1001 nocturnos).

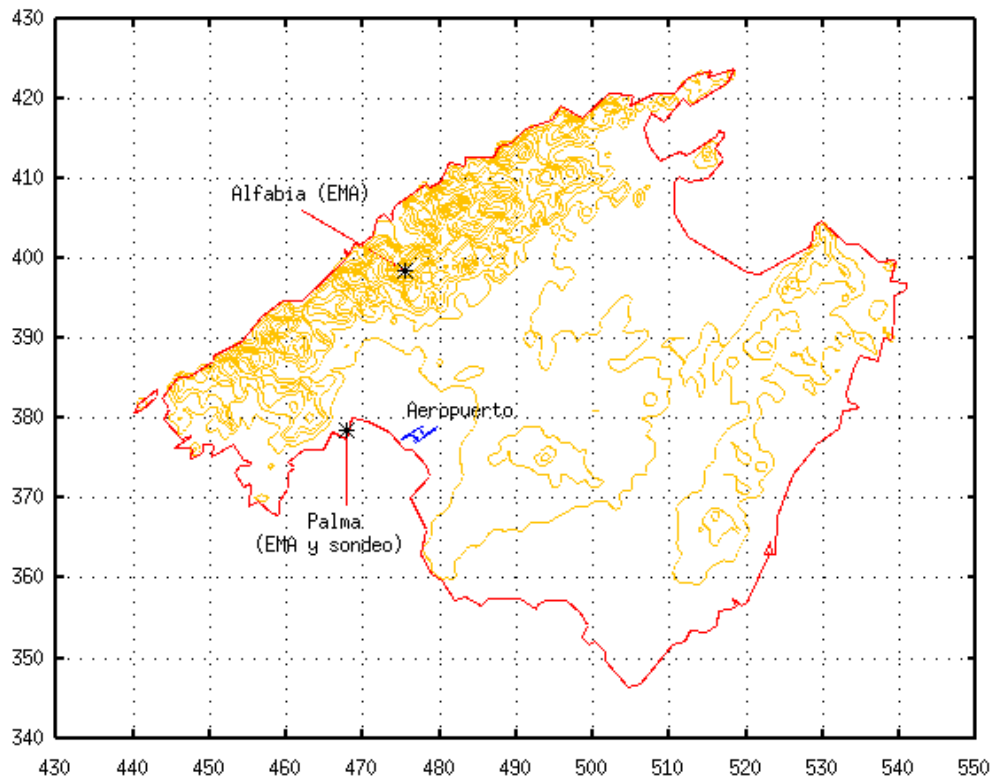


Figura 1: Situación del aeropuerto de Palma y de las estaciones de referencia.

Mediante un programa realizado al efecto se han calculado entonces, para cada sondeo, las componentes del viento en cada nivel de los primeros 1030 m, grabando los máximos gradientes verticales de viento y temperatura, junto con los espesores y alturas medias de los estratos en que se observan, así como las componentes del viento a 1030 m de altitud (por interpolación). Dado el interés aeronáutico del estudio, la cizalladura se ha expresado en nudos cada 100 pies.

A este listado se han añadido posteriormente los datos de viento de las EMAs de Alfabia y Palma. Aquí se presenta la dificultad de la sincronización temporal de los datos, puesto que existe una incertidumbre en la hora de inicio del sondeo superior a los 10 minutos de resolución de las EMAs. Lo que se hizo entonces fue tomar, de las cinco observaciones consecutivas a partir de las 11 o 23 horas UTC (según que el sondeo fuera diurno o nocturno), la que presentase mayor velocidad media, con objeto de evitar mínimos de viento que, presumiblemente, pudieran no corresponderse con los máximos de viento asociados a las máximas cizalladuras verticales.

Los datos adquiridos de cada una de las dos EMAs fueron las componentes del viento, las velocidades máxima y media en 10 minutos, y la rafagosidad, calculada como cociente entre la racha máxima y la velocidad media, aumentando ésta en una unidad para evitar valores absurdos con vientos en calma. Debido a falta de datos en alguna de las dos EMAs, el fichero con datos simultáneos de sondeo y EMAs incluía únicamente 1812 casos, pero para el estudio estadístico de la cizalladura se emplearon los 2028 del primer listado.

Estos datos se analizaron después mediante estadística básica y análisis de frecuencias, y mediante regresiones lineales simples y múltiples, inspeccionando también visualmente las nubes de puntos de las parejas de variables más interesantes.

3. Resultados y discusión

3.1 Climatología de la cizalladura máxima de la capa baja

Las cizalladuras máximas estudiadas presentan un valor medio de 2,3 kt/100ft, con valores mensuales que oscilan entre 1,6 y 2,9 kt/100ft. No se observan variaciones significativas entre los diferentes meses, y los valores nocturnos sólo son ligeramente mayores que los diurnos (2,4 y 2,2 kt/100ft de promedio, respectivamente). Los máximos valores mensuales oscilan entre 4,6 y 14,2 kt/100ft, que es el máximo absoluto de la muestra.

Si aplicamos la clasificación aprobada en la 5ª Conferencia de Navegación Aérea, celebrada en Montreal en 1967 (O.A.C.I., 1987), podemos calificar la cizalladura vertical del viento como moderada, fuerte o muy fuerte según supere los 4, 8 o 12 kt/100ft respectivamente. En la figura 2 se presentan las frecuencias relativas mensuales de cizalladura moderada o superior (acumulando las frecuencias desglosadas para el día y la noche y para las tres clases de intensidad), que suponen un 10,3 % del total. Se observa una mayor frecuencia en los sondeos nocturnos que en los diurnos, y por meses hay grandes diferencias, con las mayores frecuencias entre octubre a diciembre (20 % en noviembre) y febrero a mayo, y las mínimas entre julio y septiembre. Las frecuencias de cizalladuras fuertes o muy fuertes sólo contribuyen con un 0,7 % en el conjunto anual.

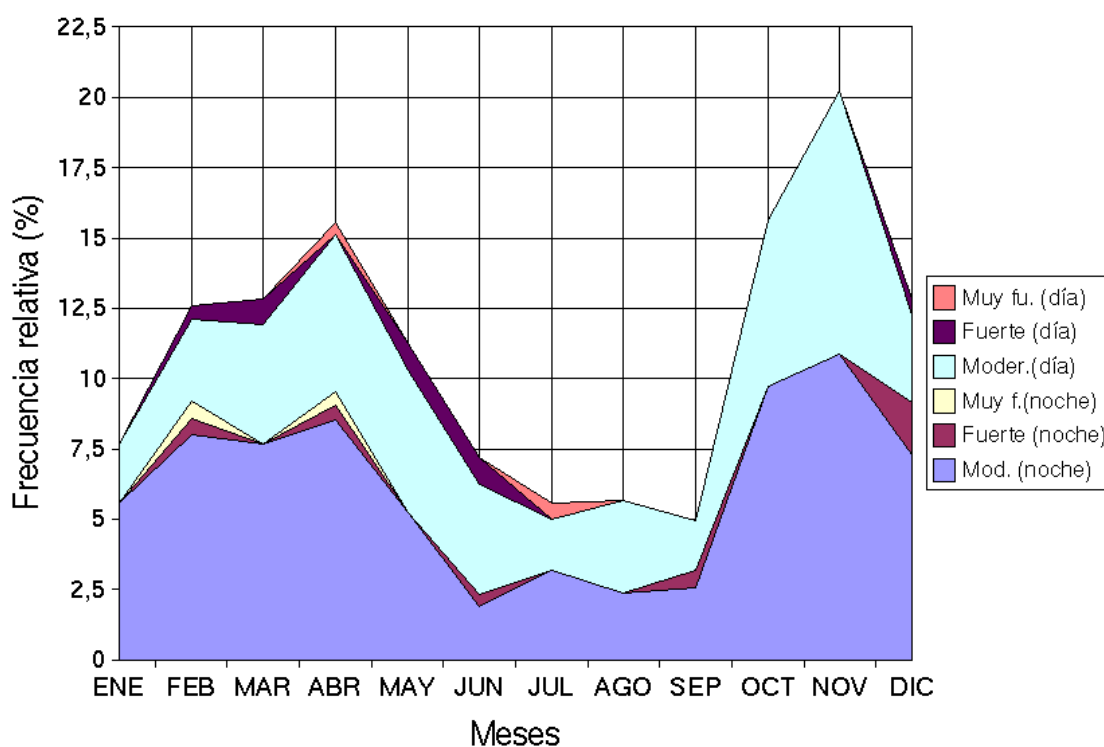


Figura 2: Frecuencias relativas mensuales de cizalladuras máximas moderadas, fuertes o muy fuertes.

Si estudiamos la relación entre la cizalladura máxima y la altura del estrato donde se halla, se observa una clara preferencia por la primera capa junto al suelo (un 47 % de casos en los primeros 100 m), siendo después la distribución en la vertical bastante uniforme, con frecuencias del 4 al 6 % en los siguientes hectómetros, para aumentar al 7 % entre 900 y 1000 m. (Esta preferencia por la capa junto al suelo es todavía mayor en el caso de las cizalladuras fuertes o muy fuertes). Una parte significativa de estos máximos de cizalladura junto al suelo son debidos al fenómeno de la brisa (diurna) durante la mitad más cálida del año.

La velocidad del viento en la atmósfera libre (se ha elegido la altitud de 1030 m) presenta una relación muy pobre con los valores de cizalladura máxima ($r^2 = 0,14$). Si representamos distintas clases de cizalladura en el plano de las componentes u y v de este viento (figura 3), se observa que las cizalladuras más fuertes se dan preferentemente con vientos de componente oeste, pero las débiles o moderadas son bastante independientes de la dirección del viento.

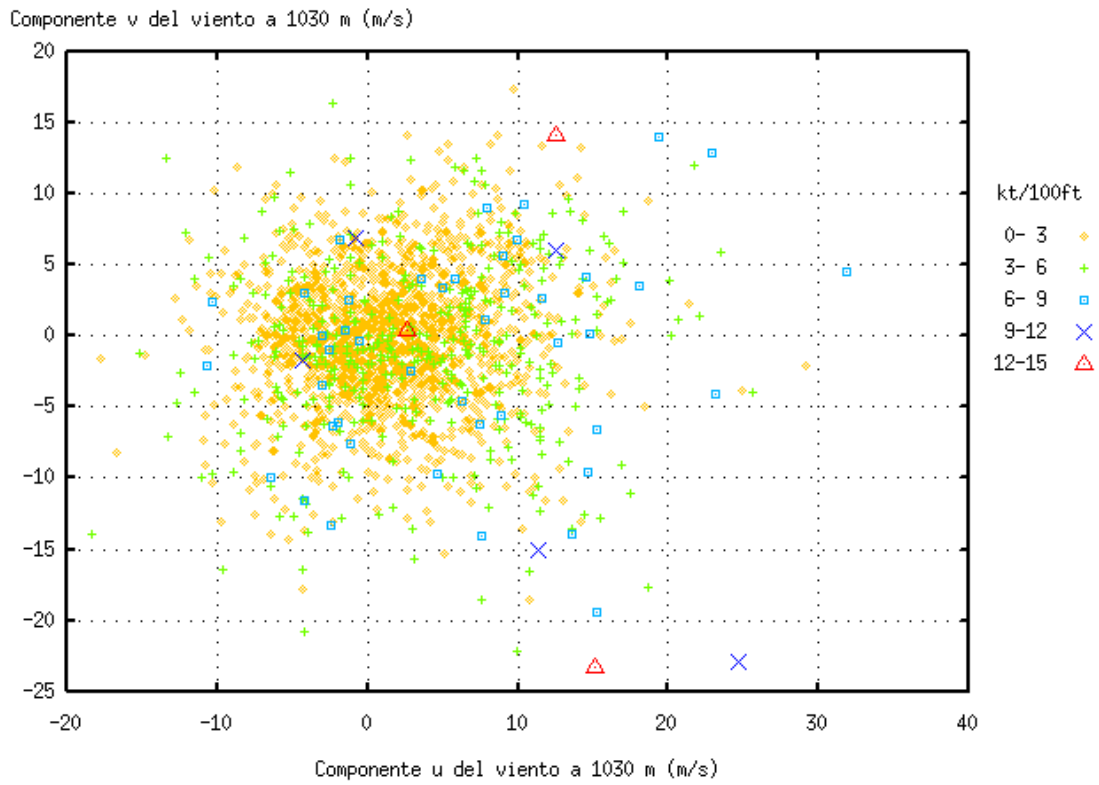


Figura 3: Clases de cizalladura máxima en el plano de las componentes u y v del viento a 1030 m.

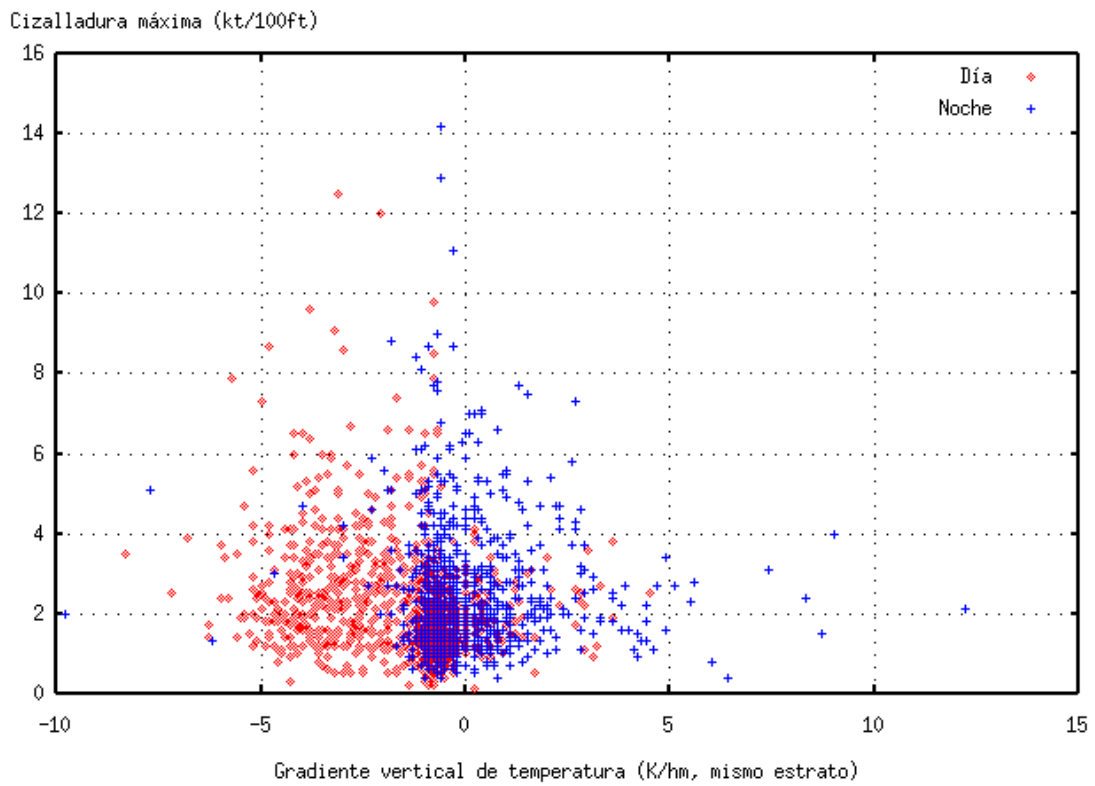


Figura 4: Relación entre la cizalladura máxima y el gradiente vertical de temperatura en el mismo estrato.

Los valores más altos de cizalladura máxima también podrían estar relacionados con la existencia de inversiones térmicas. Sin embargo, tal como se aprecia en la figura 4, esta dependencia no se da en la muestra estudiada.

3.2 Relación de la cizalladura con el viento en las EMAs de referencia

La regresión simple entre la cizalladura máxima del sondeo y la calculada entre las EMAs de Palma y Alfabia muestra una nula dependencia entre ambas variables ($r^2 = 0,04$), como se puede comprobar en la figura 5. Añadir como variables potencialmente predictoras las componentes del viento, velocidades medias y máximas, y rafagosidades de ambas EMAs sólo permite obtener un $R^2 = 0,14$, carente de valor predictivo alguno.

Estos resultados pueden atribuirse a la gran suavización del valor de la cizalladura obtenido en un espesor de algo más de 1 km, que resulta no estar relacionado con el máximo medido por el sondeo en espesores de poco más de 50 m. También se probó a suavizar las cizalladuras máximas del sondeo, por si los errores de medida del viento producían demasiado ruido estadístico en las cizalladuras de estratos tan delgados. Se llegó a calcular la cizalladura máxima para espesores de entre 400 y 500 m, lo que hizo mejorar el coeficiente de determinación, pero sin llegar a ser útil, y a costa unos valores de cizalladura demasiado suavizados. Eliminar la cizalladura junto al suelo, que también puede considerarse ruidosa, tampoco mejoró apreciablemente los resultados.

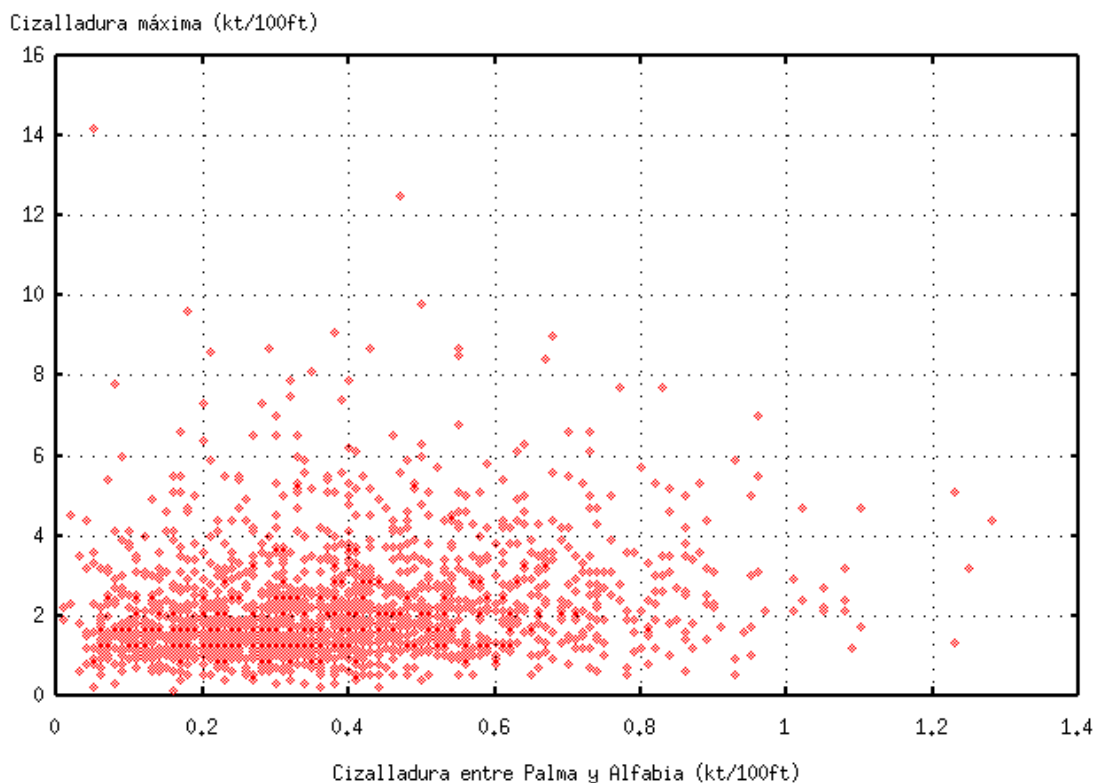


Figura 5: Relación entre la cizalladura máxima del sondeo y la calculada entre Palma y Alfabia.

3.3 Implementación de un método de monitorización de la cizalladura

En vista de la independencia existente entre los datos de cizalladura en capas delgadas y la calculada entre las EMAs situadas a 3 y 1030 m, la monitorización ha de restringirse a la información facilitada por el radiosondeo.

Entonces lo que se ha hecho ha sido incorporar las rutinas de cálculo de los gradientes verticales de viento y temperatura para la capa baja al programa que operativamente realiza el análisis del sondeo de alta resolución. Esto enriquece la salida del programa, enviada a una página de la intranet, con información

sobre cizalladura e inversión. También facilita la obtención automática de un boletín sobre estas dos variables que hasta ahora se venía confeccionando de forma manual. Este boletín se puede editar para añadir las notas aclaratorias que se venían incorporando en lenguaje claro en caso necesario.

4. Conclusiones

El estudio de 2028 sondeos de alta resolución de Palma de Mallorca ha permitido una primera aproximación a la climatología de la cizalladura máxima en el primer kilómetro de la aproximación al aeropuerto de Palma. En un 10,3 % de los casos la cizalladura superaba los 4 kt/100ft.

Los máximos de cizalladura vertical se dan preferentemente junto al suelo (un 47 % en el primer hectómetro), sobre todo cuando sus valores son altos. Una parte significativa de estos casos corresponden a las brisas diurnas, típicas de la época más cálida del año.

Los valores de cizalladura calculados han resultado ser bastante independientes de la época del año, de la hora del sondeo, de la presencia o no de inversión térmica en el estrato, de la dirección y velocidad del viento en la atmósfera libre a 1030 m, y de la cizalladura calculada entre dos EMAs situadas a 3 y 1030 m de altitud.

Por tanto la resolución temporal del sistema de monitorización establecido se ve limitada a las 12 horas de intervalo entre sondeos. Para aumentar la resolución, cosa del todo deseable, habría que disponer de otra instrumentación, como un perfilador de viento o un radar Doppler. De instalarse el radar meteorológico en el lugar previsto, la capa más baja quedaría fuera de su alcance, pero ésta podría controlarse instalando un anemómetro en lo alto de la torre de control del aeropuerto.

Referencias

Linés, A., 2001: Aspectos climáticos en operaciones de vuelo en la capa límite. *El Tiempo del Clima*. (A. J. Pérez-Cueva y otros, Eds.), Asociación Española de Climatología, A-2, 127-136.

O.A.C.I., 1987: *Gradiente del viento*. Circular 186-AN/122, 171 pp.