

estos productos diseñados al gusto del cliente se muestra en la figura 1.

Como con los servicios para la aviación, nuestro éxito con los clientes satisfechos de los periódicos nos ha animado a buscar en el extranjero la provisión de un servicio similar de paquetes con valor añadido. Aunque preferiríamos mucho más hacer esto en colaboración con los Servicios Meteorológicos o Hidrometeorológicos Nacionales (SMN) nuestra situación peculiar de ser una empresa comercial que dirige también, bajo contrato, un Servicio Meteorológico Nacional, requiere alguna explicación, pero gradualmente se está comprendiendo mejor.

Un negocio de calidad

Antes de la creación del MetService en 1992³ muchos expresaban sus temores de que el resultado de una comercialización completa de la meteorología serían predicciones de poca calidad. Lo que estas personas no previeron era que, en un mercado competitivo, la calidad tiene que satisfacer a los clientes o decidirán gastar su dinero en otro sitio.

La realidad ha sido que la calidad de los productos de MetService ha mejorado. Por ejemplo, la exactitud de los avisos de precipitaciones intensas ha aumentado. Esto se demuestra en la figura 2 donde se representan la probabilidad de detección, (POD), la

³ Véase el Boletín de la OMM 41 (4), 487 y 496 (Ed.)

proporción de falsas alarmas, (FAR) y el índice de acierto crítico, (CSI), para los avisos de precipitaciones superiores a 100 mm en 24 horas ó 50 mm en seis horas. Cada año se emiten en Nueva Zelanda unos 200 de estos avisos.

Tales avances se han producido porque se ha concentrado nuestra investigación, el desarrollo y las operaciones de formación y de predicciones en beneficio de los clientes en vez de únicamente en el de la meteorología. Además, hemos iniciado un programa de calidad de gestión de acuerdo con la norma internacional ISO 9001. En mayo de 1944 nuestra división de servicios a la aviación fue certificada según la ISO 9001. A esto siguió la certificación de la totalidad de la compañía en noviembre de 1995. Creemos que esto es una primicia mundial para una operación de un SMN⁴.

Cada país tiene su propia política pública respecto al suministro de sus servicios meteorológicos y respecto hasta qué extremo deben suministrarse comercialmente. Nuestra experiencia en Nueva Zelanda ha sido que el costo para el gobierno se ha reducido considerablemente, que la exactitud, el período de validez y la disponibilidad de las predicciones han aumentado y que nuestros clientes las compran en mayor cantidad.

Es una fuente de entusiasmo y un reto para el personal de nuestra compañía el poder participar en una empresa que está cimentada en la meteorología.

⁴ Véase el Boletín de la OMM 44 (1), 94-95 (Ed.)

LA METEOROLOGÍA AERONÁUTICA EN TERRENO MONTAÑOSO

Por Herbert PÜMPEL*

Generalidades

La meteorología aeronáutica en las zonas montañosas ha supuesto un reto desde que las primeras personas se aventuraron en las comarcas altas con sus máquinas voladoras. Siempre ha sido muy atractivo volar en lugares en los que las carreteras y los ferrocarriles son muy caros y difíciles de construir, la densidad de población es pequeña y la duración de los viajes por superficie es necesariamente larga. Por otra parte, estas zonas han sido siempre campo de prueba tanto para los pilotos como para la tecnología: es un hecho triste que los mapas en los que se marcan los lugares de los accidentes de aviación desde que se comenzó a volar, parecen en muchos casos mapas topográficos. Las regiones montañosas del mundo tienen una

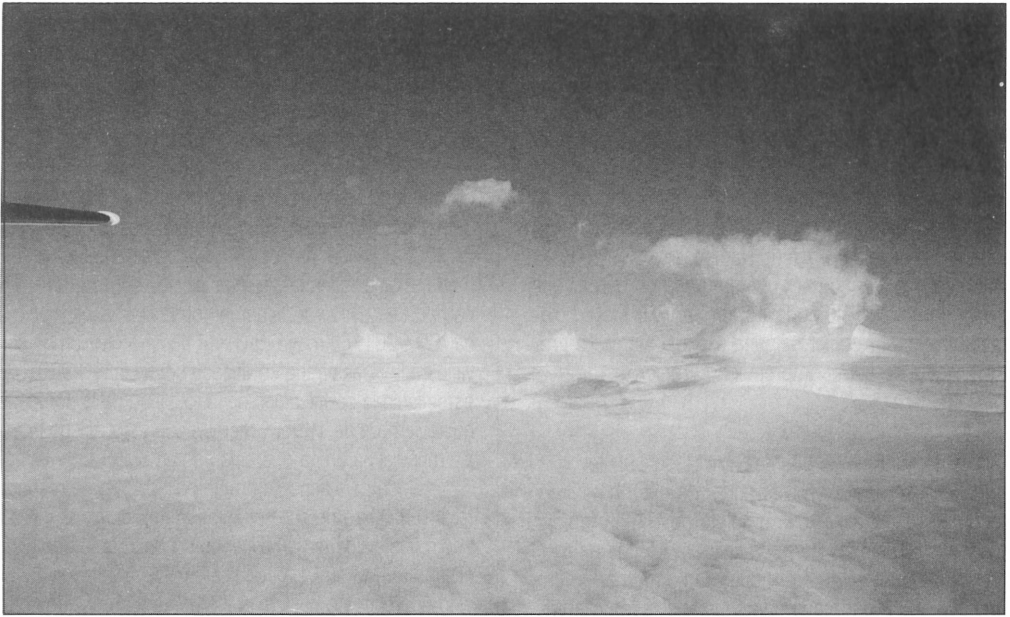
* Del aeropuerto de Innsbruck, Austria

historia de accidentes de todo tipo de aeronaves, desde planeadores a aviones de pasajeros.

Aunque muchos informes de accidentes hablan de un error del piloto como la razón principal de estos accidentes, en la mayoría de los casos el tiempo es un factor que contribuyó a ellos. Para el piloto medio suponen un reto las situaciones en las que las rutas de escape están bloqueadas por picos altos y donde a menudo tormentas repentinas y una capa de nubes descendentes velan las abruptas paredes rocosas y los vientos de ladera crean fuertes cizalladuras del viento.

¿Cuáles son los riesgos principales para los vuelos en las montañas?

En los vuelos visuales, la combinación de una capa de nubes descendente y unas curvas de nivel del terreno que asciende, es una trampa clásica para



Fotografía de las ondas de gravedad rompientes tomada cerca de Wasserkuppe, Alemania, a las 13 h 00 del 13 de noviembre de 1994, desde un avión Havilland DASH/500 a 7 300 m de altura.

pilotos desprevenidos. Los valles que se estrechan hacen a menudo muy difíciles los giros de 180° y las nubes de ladera reducen aún más el espacio aéreo utilizable cuando se trata de abortar un vuelo en terreno elevado. Los efectos de ascenso de ladera de la nubosidad y la precipitación, el descenso del límite de la nieve o la lluvia y la convección que hay a menudo por encima de las montañas, pueden agravar una situación de vuelo ya difícil. Incluso en ausencia de esos problemas, los efectos de la poca densidad y de la potencia limitada de muchos aviones de un solo motor, junto con los efectos a sotavento y las corrientes convectivas descendentes, se perciben muy directamente en los terrenos difíciles, donde la capacidad para sobrepasar los obstáculos depende del gradiente del terreno más que de la voluntad del piloto. El flujo por encima de los obstáculos y a su alrededor crea una multitud de fenómenos de cizalladura fuertes y localizados que requieren del piloto un gran conocimiento. No son infrecuentes cizalladuras del viento de 25 a 40 kt/1 000 ft y se pueden encontrar justo hasta la superficie. Se ha observado que los remolinos de sotavento producen corrientes descendentes que superan los 10 m s⁻¹, y como ocurren cerca de las cumbres, dejan poco sitio para que los pilotos maniobren intentando cruzar las montañas desde el lado de sotavento.

En los vuelos instrumentales se deben señalar varios problemas adicionales, a saber:

- en las latitudes medias hay poca distancia vertical entre la altitud de las montañas y la altitud

media del nivel de congelación. ¡El evitar las capas de engelamiento puede ser espinoso si el espacio aéreo por debajo está erizado de rocas y sobrepasarlo es efectivamente imposible debido al efecto negativo del hielo sobre las prestaciones del avión!;

- los procedimientos de aproximación a los aeropuertos en terrenos escarpados pueden ser implacables en condiciones de vuelo instrumental.

Cuando lo despejado del terreno, tanto vertical como horizontalmente, está limitado por la topografía, la turbulencia en las nubes debida a los cumulonimbus o la turbulencia creada orográficamente son, en condiciones de vuelo instrumental, retos formidables para los pilotos.

Por otra parte, los efectos orográficos, como las ondas de montaña o las térmicas intensificadas, los deben tener en cuenta una cantidad creciente de circulación aérea nueva y no convencional, como los planeadores, las alas delta y los parapentes, que en algunas zonas alpinas llenan hoy el espacio aéreo hasta rebosar. Su gran número, su gusto por la aventura y un equipo y una formación más bien básicos, contribuye todo ello a que ocupen un lugar destacado en la estadística de accidentes.

Las operaciones de los helicópteros son una componente crucial de cualquier sistema de transporte en terreno montañoso. Como los enlaces por carretera o ferrocarril con lugares remotos son en

muchos casos imposibles o prohibitivamente caros, la construcción de presas hidroeléctricas y de teleféricos y otras formas de infraestructura para el esquí o el montañismo requieren durante todo el año el transporte por helicóptero de los materiales de construcción, de los alimentos y del personal. El rescate en estos terrenos de las personas heridas por los aludes o en los accidentes de alpinismo o esquí, precisa también del transporte por helicóptero. La naturaleza del terreno y los peligros adicionales, como los cables antiguos que no aparecen en ningún mapa de la OACI, pueden hacer estas operaciones muy sensibles al tiempo. Si la visibilidad se reduce bruscamente o desciende una capa de nubes, los helicópteros pueden encontrarse en peligro.

Problemas intrínsecos de la meteorología de montaña

Consideraciones teóricas

Junto con los océanos, las montañas representan algunos de los elementos más fuertes de forzamiento de los procesos atmosféricos. La respuesta dinámica de la atmósfera al forzamiento mecánico en el caso de flujo forzado sobre el terreno, así como los efectos termodinámicos, como los manantiales elevados de calor y de humedad, se tienen que encontrar en todas las escalas de la atmósfera, pero son más difíciles de predecir en las escalas inferiores a 50 km.

Los efectos de montaña típicos, como las ondas gravitatorias, los sistemas de viento dirigidos localmente y los sistemas convectivos, tienden a ser intensos y claramente no lineales, ageostróficos y a veces no hidrostáticos. En muchas circunstancias están influidos, pero no totalmente determinados, por regímenes de flujo a escala sinóptica en los que el fuerte flujo a través de la cordillera tiende a ser mejor comprendido que una interacción más compleja de flujos en escala que van desde los 2 a 15 km (escala de valle), pasando por la mesoescala frontal (15 a 100 km), hasta la escala de las ondas de Rossby. Se han dedicado varios programas de investigación a los efectos de montaña. El proyecto de la Onda de Sierra en los años 70, proyectos europeos como el ALPEX (1982-1990) y el PYREX, y experimentos como el Experimento del Monzón MONEX, han contribuido en gran medida a nuestra comprensión del papel de las montañas en la atmósfera. Un nuevo proyecto llamado PAM (Proyecto Alpino a Mesoescala) se centrará en las escalas más pequeñas, en un experimento de campo previsto para 1997/1998.

Redes y sistemas de observación

Entre los problemas que se encontraron en todos estos experimentos, estaban la densidad de las observaciones meteorológicas y su representatividad. Mientras que la lectura de una presión, una tempera-

tura o una humedad en un terreno homogéneo es posible que represente las condiciones atmosféricas existentes en un volumen de unos 100 x 100 x 1 km, la presencia de escalones orográficos limita la validez de las medidas y de las observaciones a un volumen mucho menor, determinado habitualmente por las cumbres que rodean al valle.

Una consideración adicional es el coste de las observaciones con fines aeroáuticos. Para obtener una imagen completa de las condiciones atmosféricas en un terreno complicado, es necesario que el número de estaciones de observación sea mayor, y cada una de ellas requiere que se observe un conjunto exhaustivo de parámetros, incluyendo la visibilidad y la altura de nubes. Los observatorios de montaña dotados de personal 24 horas al día resultan prohibitivamente caros y difíciles de mantener. Mientras que los sistemas automáticos actuales parece que funcionan bastante bien en terreno llano, en zonas de nubosidad predominantemente orográfica se pueden cuestionar los algoritmos empleados para traducir la distribución cronológica en espacial. Algunos de los parámetros que se requieren, como la actividad de las ondas gravitatorias, sólo se pueden medir mediante una red de estaciones de observación muy sofisticadas o con aviones equipados especialmente. La dificultad de medir la precipitación en esos terrenos ha sido el tema de todo un sector bibliográfico, sobre todo cuando se pretende determinar la cantidad de nieve.

Asimilación de los datos

Los métodos actuales de asimilación de los datos en terreno complejo tienden a sufrir también por la naturaleza localista de la atmósfera por debajo de las alturas de las cumbres. Las funciones de estructura que se emplean en la mayoría de los esquemas de interpolación óptima y los métodos de inicialización del modo normal dan por supuesta la geostroficidad y, como mínimo, la organización a escala sinóptica de los incrementos de los análisis. Esas suposiciones son necesariamente imperfectas en la topografía escabrosa y escarpada. Los métodos variacionales que están probando hoy día varios centros de predicción numérica del tiempo mantienen algunas promesas a este respecto, al menos en teoría. Se necesitarán más trabajos de investigación para confeccionar esquemas regionales de asimilación de datos, y será importante emplear nuevas fuentes de datos para representar los fuertes gradientes verticales.

Modelización

Los actuales modelos mundiales, la mayoría de los cuales emplea alguna forma de coordenadas Sigma ajustadas al terreno, no simulan bien los fenómenos forzados

orográficamente, en especial los procesos a escala menor que la de la rejilla, como el flujo cizallado, las ondas gravitatorias y la convección. Sin embargo, estos procesos tienen un papel vital para predecir las llamadas variables de impacto en la aviación, como el engelamiento y la turbulencia. Los modelos regionales experimentales y operativos con resoluciones entre 15 y 40 km y 20 a 40 niveles horizontales, muestran su potencial para mejorar mucho, sobre todo donde se pone un énfasis especial en la representación vertical, sea mediante un gran número de niveles, una formulación de escalones montañosos o el sistema de coordenadas verticales isentrópicas, más "natural". Una nueva generación de modelos no hidrostáticos de resolución muy grande para zonas pequeñas está abriendo la posibilidad de una predicción explícita de la convección y de las ondas gravitatorias. La inclusión de parámetros de agua líquida y hielo en la nube en varios modelos, promete que en un futuro próximo cambiarán las predicciones de engelamiento.

Uso de las salidas directas del modelo y de los algoritmos estadísticos y dinámicos para predecir los fenómenos relacionados con las montañas

Mientras que recientemente se han hecho algunos progresos en las predicciones deducidas objetivamente de la visibilidad y de la altura de las nubes en terreno llano y homogéneo, esos trabajos se han mostrado inmensamente difíciles en zonas montañosas. La convergencia local, los manantiales regionales de humedad y de aerosoles y los flujos de ladera y de valle interactúan todos para que estos parámetros tengan una gran variabilidad espacial y cronológica. A causa del frecuente desdoblamiento del flujo en los niveles superiores de la circulación en los valles, la mayoría de los sistemas estadísticos, como el MOS (estadística de salida del modelo) o el MPP (método perfecto de pronosis) obtienen calificaciones malas en terreno complejo. Los algoritmos de engelamiento basados en la temperatura y en la humedad relativa pueden ser como máximo tan buenos como la resolución eficaz vertical y horizontal del modelo. La intensificación o el debilitamiento del engelamiento por los efectos de pendiente o de sotavento se pueden encontrar en cordilleras anchas como las Montañas Rocosas, pero en las cordilleras más pequeñas esos efectos a menudo se pierden.

La actividad de las ondas de montaña y, en especial las ondas rompientes, son un peligro grave para todos los tipos de vuelo. En los EE.UU. se han probado y se aplican varios nuevos algoritmos prometedores basados en consideraciones acerca de la resistencia al avance de las ondas gravitatorias o en cálculos locales del número de Froude; su relativa facilidad de aplicación llevará a pruebas y a su implantación en otros lugares.

Uso de "climatologías fenomenológicas" y de árboles de decisiones basados en modelos conceptuales

Aunque las regiones montañosas son famosas por presentar problemas espinosos de predicción, algunos de los fenómenos se dejan para los métodos empíricos. La respuesta de la atmósfera a la configuración del flujo, la localización y el inicio de los sistemas convectivos, los sistemas de viento de valle y los efectos de sotavento (incluyendo los temporales ladera abajo) muestran configuraciones regulares que se pueden detectar en las climatologías especializadas de las señales e indicadores locales en, por ejemplo, las imágenes de satélite. Donde los mecanismos se comprenden teóricamente bien, los modelos conceptuales de aplicación local o regional se pueden formalizar en árboles de decisiones y en reglas de predicción. En las regiones alpinas esos sistemas han funcionado con éxito para predecir el inicio de los vientos Foehn, así como el descenso de los límites de lluvia o nieve en la precipitación intensa para un enfriamiento excesivo del aire del valle.

Los predictores necesitan mucha información para predecir la actividad de las térmicas en favor de la comunidad, que crece con rapidez, de aficionados a los deportes aéreos. En sus intentos de mejorar los récords de larga distancia en vuelos con térmicas, los mejores pilotos de planeadores precisan información detallada de zonas de hasta 1 000 km de largo, incluyendo las diferencias locales en la base de las nubes, las trayectorias habituales de los temporales y la fuerza de las térmicas y el momento de su comienzo.

Con el número creciente de vuelos de helicóptero para transporte y rescate, son necesarias todas las fuentes posibles de información, por lo que a menudo las oficinas de policía y los puestos de asistencia de las asociaciones de automovilistas se utilizan como fuentes de información rara acerca de la nubosidad o la visibilidad en zonas alejadas.

Cámaras de televisión de barrio, instaladas en la cima de las montañas por los trabajadores de los teleféricos y las empresas eléctricas, proporcionan también a los predictores información valiosa.

Progresos futuros

Como muchos de los procesos atmosféricos causados topográficamente son de escala muy pequeña, las futuras técnicas de análisis requerirán no sólo confiar menos en los conceptos a escala sinóptica (como el equilibrio geostrófico), sino también una utilización mucho mejor de los datos no sinópticos. Los datos de los ascensos y descensos procedentes de los aviones, las bases observadas de las nubes, la información del suelo y los datos de teledetección (incluyendo las redes de radar) quizá se utilicen mejor en los esquemas de análisis variacional que se están creando actualmente.

Los modelos de gran resolución con una representación correcta en vertical tienen que contribuir notablemente a predecir los fenómenos relacionados con la aviación, como la convección, la turbulencia y el engalamiento. La llegada de modelos no hidrostáticos puede permitir predicciones explícitas de esas variables.

Sin embargo, uno de los aspectos más importantes para mejorar la meteorología aeronáutica en el futuro, será una formación mejor de los predictores y de los usuarios.

Incluso en las operaciones de las líneas aéreas en terreno montañoso, éstas no hacen un uso óptimo de la información meteorológica disponible para la planificación estratégica del vuelo y para desplegar todos sus recursos. Es vital que todo el personal que participa en planificar el vuelo, prepararlo y volar realmente en terreno difícil, sea en ala delta, en globo aerostático o en avión de pasajeros, sea consciente, tanto de los peligros que entraña como del gran beneficio potencial de la información meteorológica elaborada por profesionales.

METEOROLOGÍA AERONÁUTICA EN ÁFRICA MERIDIONAL

Por M. EDWARDS *

En las estribaciones de la imponente cordillera de Drakensberg, en el sudeste de África yace la aldehuela de Howick. Para la mayoría de la gente, su fama se debe únicamente a su salto de agua de 120 m de altura sobre el río Tugela. Y sin embargo fue allí donde se desarrolló un hecho poco conocido de la historia de la aviación.

El Sr. Household, superviviente del navío británico "Minerva" que naufragó frente a las costas del Natal en 1850, se asentó en esa colonia británica. Se casó, más tarde, con una mujer temerosa de Dios y se instalaron en una granja del distrito de Karkloof, unos pocos kilómetros al norte de Howick. Allí criaron a sus dos hijos, Goodman y Archer. El interés de Goodman no estaba en la agricultura sino más bien en el misterio del vuelo. Se reivindicó que, entre 1871 y 1875, Goodman, con la ayuda de su hermano y de algunos zulúes, se lanzó desde la cima de una colina de 300 m llamada Karkloof Kranz y planeó de 50 a 100 m sobre el terreno. El vuelo terminó bruscamente cuando el dispositivo chocó contra el tocón de un árbol. La Sra. Household, temiendo la ira del Altísimo, convenció a su hijo de que cesara en sus "actividades antinaturales". El planeador fue abandonado a la carcoma. Todo esto sucedió más de 20 años antes del histórico vuelo del alemán Otto Lillienthal en 1895, y casi 30 años antes del vuelo a motor de los hermanos Wright en Kittyhawk, EE.UU.

Cerca de 30 años más tarde, esta vez en la Colonia del Río Orange, en una ciudad llamada Brandfort, un tal John Weston construyó el primer aeroplano motorizado del África austral. El aparato se construyó tomando como modelo el biplano de Farman y se equipó con un motor Panard de cuatro cilindros que desarrollaba aproximadamente 22 kW. Desgraciadamente dicho aeroplano nunca voló en el cielo afrí-



Grupo escultórico en bronce, que se alza en el vestíbulo de llegadas del aeropuerto internacional de Johannesburgo, Sudáfrica, formado por las estatuas de Sir Pierre van Ryneveld y de Quenton Brand, los primeros hombres que volaron desde Inglaterra a Ciudad del Cabo, en 1920

cano sino que fue embarcado hacia Francia. Después de considerables modificaciones, que incluyeron la sustitución del motor por uno de los primeros Gnome, voló por fin en 1908.

El primer vuelo a motor en África del Sur lo realizó el "Flying Matchbox". Este acontecimiento histórico tuvo lugar en East London, en la Colonia de El Cabo, en 1909, con Albert Kimmerling a los mandos. Con posterioridad, la aviación se desarrolló rápidamente con la fundación en 1911 de la South African Aviation Association y la John Weston Aviation Company Ltd., el primer servicio de correo aéreo (S.A. Aerial Post) en 1912 y la primera escuela de aviación en 1913.

* Del Servicio Meteorológico de Sudáfrica, Pretoria