



Meteorología de la atmósfera superior

Por LORENZO GARCIA DE PEDRAZA

Meteorólogo.

El notable incremento que van experimentando las ayudas técnicas a la navegación aérea y las grandes posibilidades de vuelo—tanto en sentido vertical como horizontal—que presentan los nuevos tipos de aviones, darán lugar a que, en un futuro próximo, el mal tiempo de las bajas capas troposféricas: nieblas, tormentas, engelamiento, turbulencia, pasos frontales, onda de montaña..., vayan quedando muy por debajo de los niveles de vuelo y no constituyan tampoco un serio obstáculo en las tomas de tierra y en los despegues.

En efecto; los excelentes medios técnicos de los aeropuertos, tales como el radar de aproximación y los balizajes, permiten hoy día aterrizar con márgenes de 300 metros de visibilidad y altura crítica del techo de nubes de 40 a 60 metros; por otra parte, la meteorología aeronáutica cubre perfectamente las necesidades de vuelo y aterrizaje con su plan "Volmet", en el que van englobados

el código "Aero" (observaciones de superficie destinadas a las aeronaves) y el "Tafor" (previsiones de aeropuerto), incluyendo también los planes de vuelo, "briefing", rutas y mapas como valiosos auxiliares para el piloto.

También las alturas de crucero se van superando día a día en vertiginoso ascenso, que deja atrás todas las marcas; ahí están, como importantes "escalones", los 6.000 metros de techo de los aviones con motores de émbolo, los 8.000 m. de los de turbopropulsión y los 12.000 de los reactores. A todo esto van unidas su gran autonomía y la notable rapidez de traslación, que alcanza y rebasa fácilmente las velocidades supersónicas.

En resumen, en sus vuelos contra el reloj y contra los elementos, los aviones van ganando la partida al *tiempo*, generalizando esta palabra a la doble acepción que tiene en nuestro idioma: el *atmosférico* y el *crono-*

métrico ("weather" y "time" de los anglosajones).

Así las cosas, se pensó que el problema del mal tiempo se podría soslayar fácilmente eligiendo altas cotas de vuelo, pero pronto surgieron nuevas e insospechadas "pegas" de tipo meteorológico: los "chorros de viento" ("jet streams") y las "turbulencias en atmósfera despejada" ("clear air turbulence").

Ambos parece ser que van estrechamente ligados, y de ello vamos a ocuparnos en el presente artículo, pues su aparición está revolucionando los clásicos conceptos de navegar y predecir el tiempo, exigiendo un constante esfuerzo de adaptación y compenetración entre pilotos y meteorólogos.

§ 1) «Jet-Stream».

El vuelo a alta cota, propicio al rendimiento de los aparatos a reacción, parece ser aún más ventajoso gracias a las violentas corrientes de aire que aparecen en las capas más elevadas de la atmósfera. Estos intensos vientos que reinan a altitudes de 10.000 a 12.000 metros fueron denominados por los anglosajones con el nombre de "jet-stream" (corrientes a chorro) por considerarlo semejante al chorro de gas que sale a gran velocidad de las toberas a reacción.

Que existían vientos muy fuertes en las regiones superiores no era ninguna novedad, pero el descubrimiento de intensos vientos en los confines de la troposfera (zona próxima al suelo en la que se producen la mayor parte de los fenómenos meteorológicos) y de la estratosfera (zona que se extiende hasta una altura de 40 kilómetros) es relativamente reciente.

Durante la pasada guerra mundial, algunos pilotos de los B-29 que iban a bombardear Japón informaron que después de haber llegado sobre el país a alturas de 10.000 metros se vieron sorprendidos por vientos tan intensos, que a pesar de tener los motores funcionando a su máxima aceleración permanecían estacionarios antes de llegar a los objetivos, de forma que, ante la eventualidad de agotar el combustible, hubieron de desprenderse de las bombas y regresar a su base.

Por entonces los japoneses, valiéndose de estas corrientes "ultrarrápidas", que circulan sin cesar de W. a E. en el hemisferio Norte, enviaron a través del Pacífico centenares de globos portadores de bombas para incendiar los bosques de la costa occidental de Estados Unidos.

Actualmente, los rusos consideran este gran río de aire como un arma secreta para lanzar sus bombarderos hacia Norteamérica, volando sobre el Pacífico. Así, pues, la "geometría" y "geografía" de los "jet-streams" se considera hoy día de un gran valor económico y estratégico, y sus posibilidades para el futuro se acrecientan de una forma gigantesca.

Los norteamericanos, con el lujo de medios técnicos que les es proverbial, crearon la "Project Jet Stream", y sus B-36, buscando expreso los chorros para cabalgar en ellos, han encontrado vientos de cola que proporcionaban impulsos adicionales, con los que se han llegado a alcanzar las 670 m/h., con una notable economía de tiempo y combustible. El vuelo Tokio-Honolulu (6.289 kilómetros) se cubrió con siete horas de anticipación sobre el horario previsto.

También en la travesía del Atlántico, desde América hacia Europa, se vienen consiguiendo éxitos asombrosos apoyándose en los chorros, a los que no son ajenos los aviones de "Iberia", pues la aeronave "Santa María" batió en sus primeros vuelos un record horario en este recorrido.

Por último, como curiosidad, citaremos que las nubes radiactivas, procedentes de explosiones atómicas experimentales, fueron trasladadas a la deriva por las corrientes del chorro, formando un gigantesco "puro", que dió la vuelta a la Tierra en el intervalo de tres días.

* * *

La definición técnica de "jet-stream" es la siguiente: Corriente interna que circula en el interior de la atmósfera, en las proximidades de la tropopausa, cuyo eje presenta una línea de máxima velocidad que, por otra parte, contiene fuertes gradientes transversales.

En el hemisferio Norte, esta corriente de aire, embutido en una atmósfera relativa-

mente tranquila, se desplaza de W. a E., dando la vuelta completa a nuestro planeta y presentando marcadas ondulaciones. Su desarrollo va íntimamente asociado a las fluctuaciones del frente polar en superficie, apareciendo emparedado entre la corriente cálida que sube del ecuador y la fría que baja de los polos.

La locución "tubo de viento", adoptada por ciertos autores, no es apropiada, pues un corte transversal denota que se trata más bien de una serie de tubos concéntricos (como el corte del tronco de un árbol) en los que la fuerza del viento disminuye a medida que nos alejamos del tubo interior (figura 1.^a).

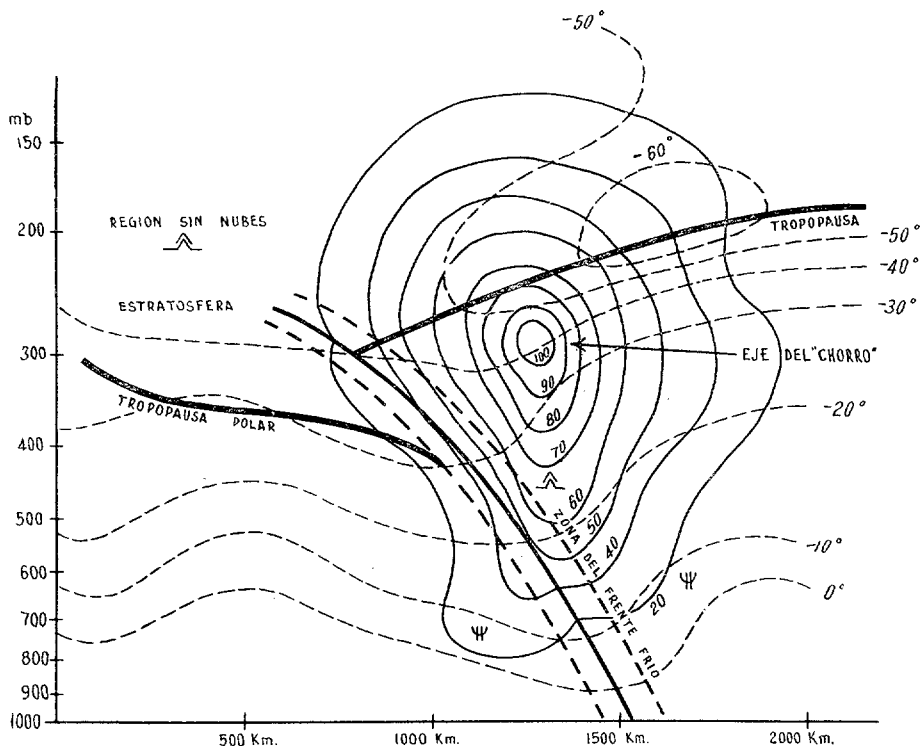
Sus características predominantes las podíamos resumir así:

Dirección.—Generalmente de W. a E., en el hemisferio Norte, y entre 30° y 60° N. no se presenta en las regiones polares y ecuatoriales y pocas veces en las tropicales.

Dimensiones.—La longitud es de algunos miles de kilómetros (unos 1.500), el ancho de unos centenares de kilómetros (150, generalmente) y el espesor o "alma" del tubo de algunos kilómetros (oscilando de 2 a 6)).

Velocidad.—En su eje alcanza el aire velocidades superiores a 30 m/s. (se han observado chorros de hasta 800 km/h.); el gradiente vertical de velocidades (vertical wind shear) es del orden de 5 a 10 m/s. pa-

ra cada kilómetro, y el gradiente horizontal o isobárico (horizontal wind shear) es del orden de 10 m/s. para cada 100 kilómetros en latitudes medias, y de 5 m/s. cada 100 kilómetros en las bajas (análogo al parámetro de Coriolis). La velocidad de desplazamiento es relativa (referida al suelo), y

FIG. 1.^a

Esquema teórico de "libro de texto" mostrando una sección a través de un chorro. Las máximas turbulencias se presentan en las proximidades del eje y en la región posterior del frente frío a alturas estratosféricas y con cielo despejado.

sigue el mismo sentido que la rotación terrestre. Su velocidad angular absoluta es bastante mayor y así el chorro aparecería como un anillo de aire dotado de mayor velocidad que el resto del planeta.

Estructura sinóptica típica del "jet-stream".—Una representación completa de la estructura instantánea de un chorro se puede hacer atendiendo a sus variaciones en las tres dimensiones por medio de los siguientes procedimientos:

a) Sección vertical normal a la dirección del flujo.

b) Sección vertical longitudinal a lo largo de la dirección.

c) Mapas de presión constante (topografías).

a) *Corte vertical.*—La figura 1.^a representa una sección normal a la dirección del flujo (hacia el papel en el hemisferio Nor-

que en el lado cálido, pero el gradiente de temperatura se invierte en la estratosfera. La alta velocidad del viento en el eje del chorro puede atribuirse a una superposición, a través de la troposfera, del efecto del viento térmico.

b) *Sección transversal a lo largo de la dirección del flujo.*—Se puede representar una vista lateral cortando el chorro por una serie de planos paralelos y abatiéndolos sobre un plano perpendicular a éstos. La sección de estas figuras está construida a base de las isotacas a 700, 500, 300 y 200 mb., y las líneas que unen los puntos de mayor velocidad en cada superficie se van proyectando sobre el eje a 300 mb. Así aparecen a lo largo del eje del chorro velocidades alternativas con máximos y mínimos asociados, separándose las trayectorias en núcleos aislados.

c) *Sección horizontal.*—Las topografías absolutas de 300 y 200 mb. y la relativa de 300/500 mb., construidas a base de los sondeos termodinámicos y de viento, dan una buena referencia de la estructura horizontal de un "chorro". La figura 2.^a, sobre la que aparecen trazadas las isotacas, revela el chorro como una estrecha banda de muy elevada velocidad. Uniendo los puntos de corte de las isotacas máximas con los meridianos puede hacerse una representación esquemática del eje del chorro. A lo largo del eje del chorro aparecen intervalos de máxima y mínima velocidad asociados a las ondas de los vientos del Oeste, que permiten seguir muy bien el ciclo de vida y la evolución de estas corrientes. En su período de desorganización la zona donde aparecen concentradas las mayores velocidades se difumina y la corriente general de los vientos del W. se rompe en varios chorros dispersos ("jet fingers"). Las velocidades máxima y mínima que alternan a lo largo del eje del chorro están en correlación con las ondas de los vientos del W. y se mueven con una velocidad análoga a las de ellas.

* * *

Además de los medios directos de observación de los chorros por medio del "Rawin" (radio-teodolito) existen otros medios indirectos de localización, entre los que ci-

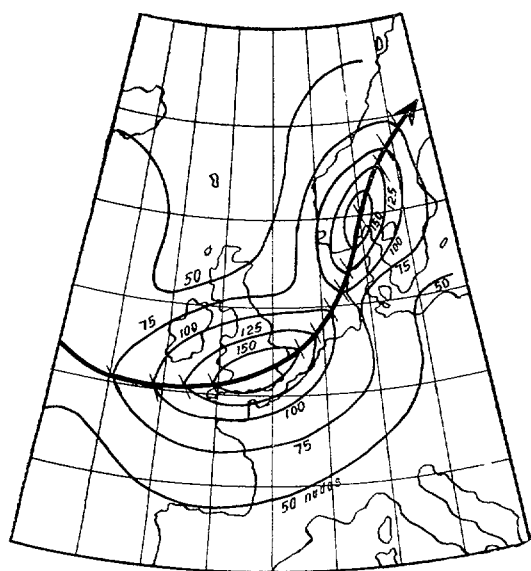


FIG. 2.^a

Isotacas, en nudos, a 300 mb. Los puntos de intersección de las isotacas máximas con los meridianos fijan la trayectoria del eje del chorro.

te) dibujada en un sistema de coordenadas presión-distancia. Las líneas de igual velocidad (isotacas) se agrupan en un grupo cerrado y alargado a la altura de 500-200 milibares que corresponde a los vientos más intensos o "alma" del chorro; en la parte posterior de este núcleo se identifica, a menudo, un frente frío (frente polar) bien marcado, que corta el suelo detrás del chorro. Las isoterms se estrechan en las proximidades del núcleo presentando un marcado gradiente (debido al contraste entre el aire frío y seco y el cálido y húmedo). En el lado frío la tropopausa aparece más baja

taremos el tipo de las nubes y el centelleo de las estrellas por la noche.

Hay tipos de nubes que van estrechamente ligadas a la proximidad de un chorro, entre las que destacaremos las siguientes:

1) Cirros en bandera y con contornos deshilachados que se desplazan a gran velocidad.

2) Altocúmulos lenticulares, reunidos en varias capas, y alargados según la dirección de la corriente aérea. Cuando estas capas son vistas en dirección del Sol presentan el llamado "espectro Tyndall" (irisación de los bordes por difracción, coloreados de verde, rojo o amarillo).

3) Altocúmulos en bancos, con ondulaciones paralelas, orientados a través de la corriente.

Salvo las lenticulares, estas nubes se desplazan rápidamente, pero su presencia no da una regla infalible para detectar un chorro, puesto que se necesita para su formación bastante humedad en las capas altas, y esto no es lo más corriente.

Un método muy original se basa en la medida del centelleo de las estrellas. Esta rápida variación es tanto más intensa cuanto que las capas de aire atravesadas por la luz de una estrella estén más agitadas, y sirven como índice de la presencia de un chorro y de su turbulencia.

Existe una notable analogía entre los "jet-stream" y las corrientes marinas. Por ejemplo, en las corrientes oceánicas la concentración del gradiente horizontal de densidad en una estrecha zona es una consecuencia dinámica del movimiento y debe coincidir, por tanto, con la corriente. La figura 3.^a muestra la relación entre la distribución de la temperatura y la velocidad de la corriente en el Gulf Stream. Las más altas velocidades aparecen concentradas en un estrecho núcleo y su mayor velocidad coincide con la mayor inclinación de las termoclinas. Comparada con la figura 1.^a se revela una estrecha relación con el gradiente de temperatura y la velocidad del viento en el chorro.

Las principales discrepancias son:

a) El orden de magnitud de las corrientes oceánicas y atmosféricas es distinto.

b) La atmósfera es compresible, mientras el océano no lo es.

c) El mecanismo preciso para aportar la energía necesaria en el desarrollo y mantenimiento de unas y otras corrientes es muy diferente. Por ejemplo, el océano no recibe

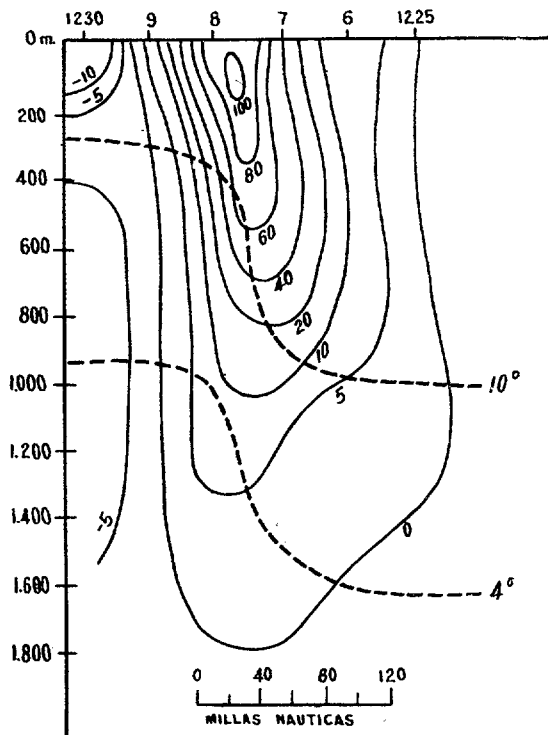


FIG. 3.^a

Relación entre la distribución de temperatura del Gulf-Stream y la velocidad de la corriente, en la Bahía Chesapeake. Isotermas (°C.) líneas punteadas, velocidad de la corriente (Cm/seg.) líneas llenas. Compárese la estrecha correlación que existe con el chorro de viento de la figura 1.

calor latente de condensación mientras que en la atmósfera éste juega un primordial papel.

* * *

Existe una marcada conexión entre los chorros y los frentes en superficie, pero su

relación no es frecuentemente tan simple como las que hemos visto, a veces, publicadas. En ellas se expresa la idea simplista de que la evolución de las ondas frontales de superficie quedan gobernadas, como si fuesen marionetas, por la corriente superior del chorro.

Generalmente hablando, un frente térmico bien marcado en superficie es una eviden-

del frente más próximo al centro ciclónico y a apartarse del otro extremo del frente.

Las pequeñas ondas de los frentes fríos de superficie con lento movimiento afectan totalmente a los chorros asociados. Si la onda se desarrolla, el chorro llega a romperse en correlación con el aumento de amplitud de la onda en superficie.

A veces no aparece ninguna asociación entre frentes y chorro; este estado de cosas suele presentarse cuando los frentes en superficie son térmicamente débiles o cuando un nuevo y potente chorro está regenerando al antiguo. El residuo de chorros antiguos puede también complicar la cuestión, pero estas complejidades son inevitables en una atmósfera esencialmente dinámica en su comportamiento.

Se denominan chorros de tipo de frente frío los que tienden a moverse lateralmente hacia el aire troposférico más cálido; mientras que los de tipo cálido tienden a moverse lateralmente hacia el lado más frío.

Para localizar la posición del eje de un chorro a 300 mb. con suficiente precisión, da buen resultado una combinación del análisis de viento a 500 mb. y del campo de temperaturas a 200 mb. El eje del chorro aparece situado en la zona donde el gradiente de viento y temperatura es máximo.

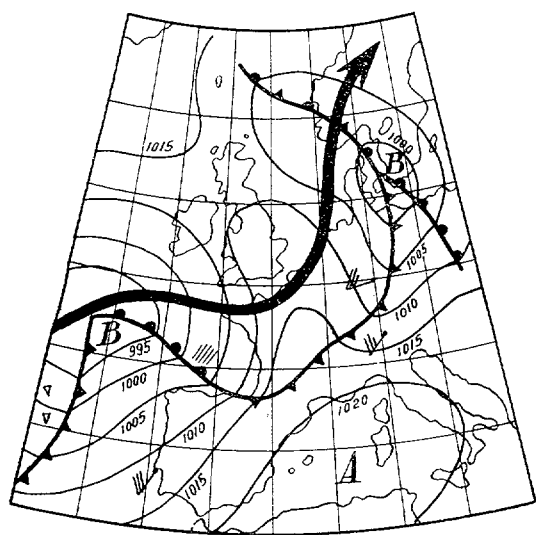


FIG. 4.^a

Análisis de isobaras y frentes en superficie, sobre el que se ha superpuesto el chorro a 300 mb. para mostrar su correlación.

cia suficiente, pero no necesaria, para la existencia de un chorro en altura. Pueden existir vientos máximos en altura asociados con frentes débiles en superficie.

Una regla empírica que va bastante bien para chorros intensos y frentes bien acusados es la siguiente: "La posición del eje de los chorros en relación con la superficie frontal de la zona de la troposfera cálida viene a estar en la intersección del frente con la superficie de 500 milibares."

En la figura 4.^a se representa un chorro superpuesto a los frentes del mapa de superficie; éste tiende a aproximarse a la parte

§ 2) Turbulencia con cielo despejado.

Cuando se empezó a estudiar hace años la aplicación de la propulsión a chorro a la aviación civil, se vió que muchos problemas (tales como los cambios de presión, aire acondicionado, predicción meteorológica, control de tráfico, etc.) podrían soslayarse eligiendo altas cotas de vuelo; pero surgió una dificultad que acabó con el antiguo mito de la calma subestratosférica y vino a complicar la cuestión: la aparición de la turbulencia en aire claro y sin nubes.

Los datos de observación revelan que los niveles de mayor frecuencia en su aparición se encuentran alrededor de los 10.000 metros—aproximadamente la altura de la tropopausa en las latitudes medias—y van asociados más o menos directamente a los cho-

rrros (a lo largo de éstos o en sus proximidades).

Así, pues, las principales fuentes de turbulencia conocidas hasta el presente y capaces de producir ráfagas de suficiente vigor y escala lineal adecuada para causar aceleraciones irregulares a un avión, quedan ampliadas con este nuevo tipo de sacudidas que se presenta en cielos límpidamente azules y despejados. En consecuencia, haremos la siguiente clasificación de tipos de turbulencia:

- a) Flujo de aire sobre regiones abruptas y montañosas (onda de montaña).
- b) Nubes de desarrollo vertical del tipo cúmulo o cúmulonimbo.
- c) Masas de aire frío inestable y algunas zonas frontales sin nubosidad.

menzaron independientemente sus investigaciones para sacar consecuencias relacionadas con la estructura del avión y las condiciones meteorológicas.

Son dignos de reseñar los experimentos llevados a cabo en Inglaterra bajo el patrocinio del Ministerio de Seguridad entre los años 1948-50. Los aviones empleados fueron dos "Mosquito" PR-34, que realizaron 187 viajes con un total de 556 horas. La técnica del vuelo abarcaba una gran variedad de terrenos y condiciones atmosféricas, subiendo y bajando alternativamente entre 15.000 y 35.000 pies (vuelo en "diente de sierra"), a fin de encontrar la hipotética turbulencia que pudiera haber en su ruta (figura 5.^a).

Se observaba el acelerómetro cada minu-

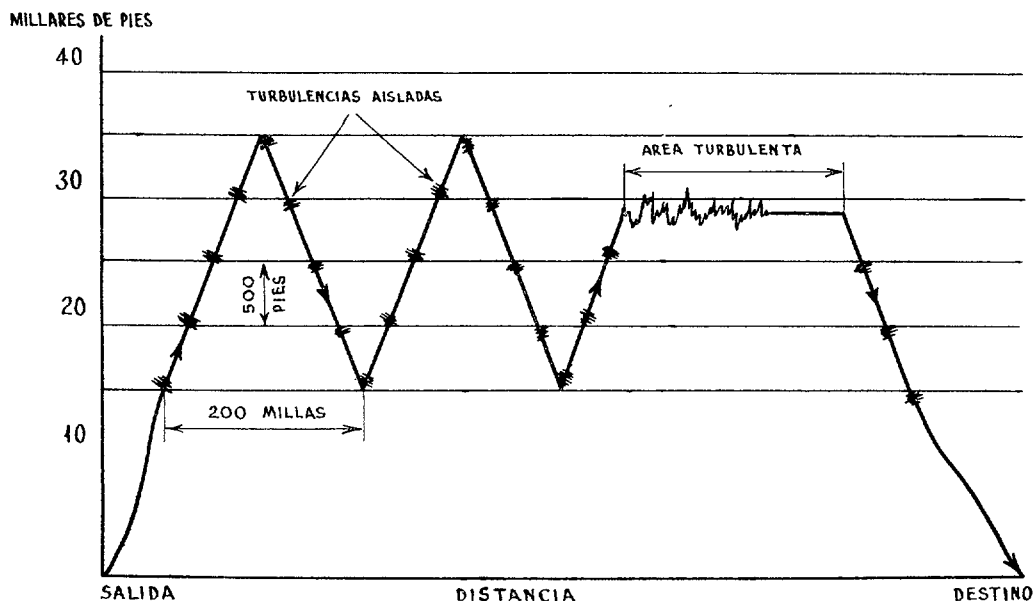


FIG. 5.^a

Esquema de un vuelo en "diente de sierra" mostrando las áreas de turbulencia.

- d) Inversiones de temperatura.
- e) Turbulencia con cielo despejado en altos niveles (asociada a los chorros).

Ante la evidencia e importancia de este descubrimiento, americanos e ingleses co-

to, midiendo la velocidad de las rachas verticales (no se midieron las horizontales) y la temperatura del aire cuando el avión pasaba por niveles fijos de 20.000, 25.000, 30.000 pies. Así se podía determinar la capa

de turbulencia y el gradiente de temperatura. Los resultados se agruparon en dos categorías:

a) Estáticos (registros del acelerómetro, velocidad, altura, consumo de combustible, etcétera).

b) Meteorológicos (gradiente de temperatura $\frac{\partial T}{\partial z}$, dimensiones de la capa de turbulencia, condiciones locales y análisis de la situación general del tiempo).

Por los detalles aportados por la tripulación, parece ser que existe una ausencia absoluta de cualquier fenómeno visual que pueda avisar su presencia. Los "meneos" se suceden más rápidamente que los originados en las nubes de tipo convectivo, dando la impresión de estar rodando con un rápido auto sobre una serie de profundos e invisibles baches. No tiene lugar durante la travesía ningún cambio de altura apreciable, probablemente porque la sucesión de aceleraciones positivas y negativas hace que éstas se compensen.

Parece ser que el avión empleado para investigar las rachas "filtra" el espectro de la turbulencia atmosférica y sólo reacciona a torbellinos de tamaño comprendido entre ciertos límites. Supuesto los torbellinos oscilando entre 50 y 500 pies, los menores de 50 no producirían en el avión más que una vibración irregular, y en los mayores de 500 el avión tendería a ajustarse al flujo de viento desplazándose con él. Por eso, aun expresándose los resultados en millas de vuelo, las rachas apreciables aparecían en "paquetes" aislados.

Por lo que al aspecto meteorológico se refiere, parece ser que la principal fuente de energía turbulenta es el gradiente vertical del viento.

Puesto que la turbulencia implica disipación de energía, ésta debe ser suministrada en proporción suficiente, al menos, para contrarrestar esta disipación: Sea $\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2$ la razón de energía aportada por el gradiente vertical y $\left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma\right)$ la energía disipada. Podemos poner:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2 > \frac{g}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma\right), \quad [1]$$

como condición para que aumente la turbulencia.

V = velocidad del viento.

z = eje vertical.

T = temperatura absoluta ambiente °C.

Γ = gradiente adiabático.

Como la determinación de $\frac{\partial V}{\partial z}$ es difícil, pues los radiosondas dan el viento en intervalos y su red no es muy densa, se recurre a un método indirecto basado en la fórmula del viento térmico:

$$\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial s} \frac{1}{2 \Omega \sin \varphi}, \quad [2]$$

g = aceleración de la gravedad.

Ω = velocidad de rotación terrestre.

pues para una latitud dada, φ , el valor de $\frac{\partial V}{\partial z}$ es sólo función de la temperatura absoluta y de su gradiente horizontal $\frac{\partial T}{\partial s}$, fácilmente determinable en los mapas de altura.

De las fórmulas [1] y [2] resulta:

$$\begin{aligned} \frac{g}{T} \frac{\partial T}{\partial s} \frac{1}{2 \Omega \sin \varphi} &= \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right) > \\ &> \left[\frac{g}{T} \left(\Gamma + \frac{\partial T}{\partial z}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

y despejando $\frac{\partial T}{\partial s}$ sale:

$$\frac{\partial T}{\partial s} = 2 \Omega \sin \varphi \left[\frac{T}{g} \left(\Gamma + \frac{\partial T}{\partial z}\right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

que permite discutir los correspondientes valores del gradiente horizontal y vertical de temperatura. De estas ecuaciones se deduce que el fuerte viento térmico favorece la creación y mantenimiento de la turbulencia y un marcado gradiente de temperatura identifica la presencia de un fuerte gradiente vertical de viento.

Se presentan también casos de fuerte turbulencia en entornos de 700 metros por encima o por debajo de la tropopausa, lo cual es más confuso, puesto que esta superficie de discontinuidad se supone como una región de gradiente vertical nulo (separación entre la troposfera, con vientos fuertes, y la estratosfera, con vientos débiles, donde el efecto del viento térmico está invertido). Ello puede ocurrir cuando la tropopausa está inclinada y la estratosfera es isoterma en la vertical. La inclinación de la tropopausa se calcula de unos 300 a 600 metros por cada 150 kilómetros, pero ciertas borrascas pueden aumentar esta inclinación hasta 1.000-2.000 metros por cada 150 kilómetros, lo cual puede generar gradientes de viento de 10 nudos/300 metros en la subestratosfera.

A veces, el efecto del relieve puede extenderse a grandes alturas, pues, en determinadas condiciones, las ondas atmosféricas pueden "romper" contra las montañas (como las olas del mar en los acantilados) y generar turbulencia en altos niveles donde aparece el cielo despejado. Ello suele presentarse en los bordes de borrascas que en su centro son muy intensas.

También en las "gotas de aire frío"—que quedan aisladas entre dos masas cálidas que avanzan mucho hacia el Norte, en nuestras latitudes, cuando la circulación está establecida a lo largo de los meridianos—pueden presentarse turbulencias severas por encima de los 300 mb., debido a que masas de aire de muy distinta temperatura se ponen en contacto ocasionando marcados gradientes térmicos.

* * *

Como resumen de cuanto llevamos dicho, podemos enunciar unas cuantas reglas para las tripulaciones de los aviones que vuelan a alta cota:

a) Los "chorros" y las turbulencias con cielo despejado van asociados a fuertes gradientes térmicos. Un rápido aumento de la temperatura exterior y de la velocidad del viento nos delatan su proximidad, y si se quiere aprovechar el chorro debe procurarse corregir el rumbo para llevar el viento de cola.

b) Para atravesar un chorro con fuertes turbulencias hay que ascender o descender hasta reducirlas y volar en ángulo recto hacia la dirección del viento local, o realizar esta última maniobra sin cambiar de cota.

c) Aumentar la velocidad tanto como sea posible cuando se suponga que las vibraciones de las alas son causadas por turbulencia.

d) Los rastros o estelas de nubes blancas que dejan los reactores tras sí pueden, en caso de guerra, ser un indicio que ayude a la caza enemiga a apuntar con gran precisión sobre ellos. Esto puede evitarse en muchos casos consultando previamente al meteorólogo sobre el contenido de humedad y las condiciones de temperatura de la altura acordada para el vuelo.

Los aviones a reacción ("jet aircraft") que vuelan a gran altura para ahorrar carburante, necesariamente tienen que enfrentarse con las corrientes a chorro ("jet streams"), que pueden constituir para aquéllos un arma de dos filos: Tomadas longitudinalmente ayudan en su vuelo a los reactores, pues al favorecer su marcha acrecientan instantáneamente la velocidad relativa con respecto al suelo del avión, actuando como una catapulta que les lanza a velocidades supersónicas; en cambio, transversalmente, la tremenda velocidad del viento y la fuerte turbulencia a ella asociada constituye un factor negativo muy digno de tenerse en cuenta.

De aquí que la identificación de los chorros en los mapas de altura y la predicción de su ulterior velocidad e intensidad sea una acuciante necesidad para las tripulaciones de estos aviones.

Ello implica un notable trabajo en los métodos de observar, predecir e interpretar, ya que los chorros han roto los moldes clásicos que encerraban las hipótesis antiguas sobre la circulación general de la atmósfera. Aparece así una "Meteorología de altos vuelos", en la doble acepción de la palabra, tanto por estudiar las grandes corrientes superiores, cuanto por el superior avance científico que supone trasladar los pronósticos del tiempo a los niveles de la estratosfera. Su desarrollo favorecerá muy eficazmente la seguridad de los vuelos a alta cota y el diseño de los futuros modelos de aviones.