

# El vuelo en relación con las tormentas

Por PEDRO MATEO GONZALEZ

Meteorólogo del Observatorio de Gijón.

## I.—Introducción.

Actualmente la Aviación, tanto civil como militar, no limita sus actividades a las condiciones de buen tiempo y, por esto, se esfuerza en un mejor conocimiento de todos aquellos fenómenos que pueden perturbar sus actividades. Las tormentas constituyen uno de estos fenómenos y, precisamente el desarrollo de la misma Aviación y la más reciente técnica del "radar", ha permitido llegar a un conocimiento más perfecto de la estructura, desarrollo y desplazamiento de la nube tormentosa.

La principal fuente experimental de conocimiento de las tormentas, en la actualidad, son los datos obtenidos en el Thunderstorm Project, plan de observaciones desarrollado en Estados Unidos, que comprendió los más modernos medios de investigación de tormentas y, entre ellos, un total de 1.363 vuelos a través de nubes tormentosas, en alturas comprendidas entre 1.500 y 8.000 metros, empleándose el avión Northrop P-61C, "Black Widow", de combate nocturno. Los vuelos fueron realizados en Florida y Ohio, durante la primavera y verano de los años 1946 y 1947, respectivamente. En las siguientes líneas aparecerán datos estadísticos obtenidos en el citado Thunderstorm Project, en cuya información estadística se atiende, especialmente, a la distribución del fenómeno en altura, por ser ésta uno de los pocos factores modificables a voluntad del piloto.

En primer lugar, cabe presentar la cuestión de si es posible evitar la tormenta volando sobre ella. La observación desde tierra no permite determinar la altura de la nube tormentosa, porque sus cimas vienen ocultas por una o más capas de nubes estratiformes, pertenecientes al mismo cuerpo del cumulonimbo.

Únicamente el empleo de tipos especiales

de aviones, para vuelos de alta cota, permite la observación de las cimas de la nube. Sin embargo, actualmente la técnica del "radar" permite calcular dicha altura por observaciones desde tierra. Estadísticamente, sobre 185 tormentas, mediante la observación por "radar", se estableció que más del 50 por 100 se extienden por encima de los 10.000 metros, siendo la máxima altura observada de 17.000 metros.

Es de señalar que estas medidas, obtenidas mediante la técnica del "radar", en general, vienen afectadas de un error por defecto, por las siguientes razones:

a) Únicamente durante la formación de la tormenta son llevadas partículas sólidas y líquidas a las cimas de la nube.

b) Es posible que la escasez de dichas partículas en los puntos más elevados impida la formación del eco.

c) El efecto de la distancia influye de tal manera que, al aumentar la separación de la nube tormentosa de la estación del "radar" el registro de la altura disminuye en valor.

Se llegó a la conclusión de que, para el tipo corriente de avión actualmente fabricado, es imposible sobrevolar la tormenta, imponiéndose, por tanto, de no ser posible su rodeo el vuelo a su través.

## II.—Estructura de la tormenta.

Una tormenta consiste, inicialmente, en una masa aérea que se eleva con rapidez, por existir condiciones atmosféricas favorables, y previo un agente iniciador que anule la inercia de la masa. Organizada, presenta núcleos de corrientes verticales, con los fenómenos consiguientes a tales movimientos: turbulencia, lluvia, granizo, nieve, engelamiento y fenómenos eléctricos. En las siguientes líneas se presentan los fe-

nómenos cuya actividad perturba la marcha del vuelo.

*Corrientes verticales.*—Los diversos centros de acción convectiva de la tormenta, "células tormentosas", pasan, en general, por tres estados:

a) Cúmulo, contiene únicamente corrientes ascendentes.

b) Madurez, además de las corrientes ascendentes se encuentran en iniciación corrientes descendentes, originadas por la caída de la lluvia, y

c) Yunque, en el cual la total parte inferior de la célula contiene una débil corriente descendente, mientras la parte superior contiene corrientes verticales de intensidad despreciable.

La tabla 1 muestra todas las corrientes verticales medidas en Florida. Los números seguidos de (?) indican datos dudosos. De esta tabla se deduce:

1. Los máximos valores, para las corrientes ascendentes, fueron medidos a los niveles medios y altos de vuelo.

2. Los máximos valores, para las corrientes descendentes, fueron medidos a todos los niveles.

3. Los valores medios de las corrientes ascendentes son superiores a los de las descendentes a todos los niveles, excepto hasta los 1.800 metros.

4. Las máximas de los valores medios, de las corrientes ascendentes y descendentes, fueron establecidos a 7.800 metros.

Con objeto de calcular el desplazamiento que pudiera sufrir un avión que volase a través de una corriente aérea ascendente o descendente, se puede dar un número, llamado "coeficiente de desplazamiento", el cual se obtiene multiplicando la velocidad media de corriente por la distancia en que es medida. Sus dimensiones son  $[L^2 T]$ .

En la tabla 2 se da la frecuencia de ese coeficiente a distintos niveles, según los datos de Florida.

Para saber el desplazamiento que puede sufrir un aeroplano se divide dicho coeficiente por su velocidad en m/s., y obtendremos el desplazamiento total en metros.

Los números seguidos de (?) significan que una de las medidas es dudosa. A la vista de esta tabla se deducen las siguientes conclusiones:

1. El máximo desplazamiento, debido a corrientes ascendentes, aumenta con la altitud. En vuelo de alta cota, un aeroplano a 240 km/h. = 66,7 m/s., puede sufrir un desplazamiento de 1.800 metros. No obstante, a unos 1.800 metros los máximos desplazamientos son de 470 metros.

2. Por encima de los 3.300 metros el máximo desplazamiento, debido a corrientes descendentes, crece con la altitud, no siendo

T A B L A 1

| VELOCIDAD<br>DE LA CORRIENTE<br>VERTICAL<br>(m/s) | ASCENDENTES               |       |       |       |       | DESCENDENTES              |       |       |       |       |
|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|   | Altitud de vuelo (metros) |       |       |       |       | Altitud de vuelo (metros) |       |       |       |       |
|   | 1.800                     | 3.300 | 4.800 | 6.300 | 7.800 | 1.800                     | 3.300 | 4.800 | 6.300 | 7.800 |
| 0- 2,9.....                                       | 8                         | 5     | 11    | 9     | 6     | 4                         | 6     | 4     | 7     | 4     |
| 3- 5,9.....                                       | 17                        | 35    | 37    | 38    | 22    | 11                        | 20    | 28    | 17    | 17    |
| 6- 8,9.....                                       | 11                        | 32    | 26    | 30    | 27    | 5                         | 10    | 12    | 7     | 10    |
| 9-11,9.....                                       | 2                         | 6     | 22    | 14    | 14    | 1                         | 5     | 6     | 1     | 3     |
| 12-14,9.....                                      | —                         | 2     | 4     | 9     | 4     | —                         | —     | 2     | 1     | 3     |
| 15-17,9.....                                      | —                         | 5     | 1     | 3     | 2     | —                         | —     | —     | —     | 1     |
| 18-20,9.....                                      | —                         | —     | —     | —     | 1     | 1 (?)                     | —     | —     | —     | —     |
| 21-23,9.....                                      | —                         | 1     | 1 (?) | 1     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 24-26,9.....                                      | —                         | 1     | —     | —     | —     | —                         | —     | 1 (?) | —     | —     |
| 27-29,9.....                                      | —                         | —     | 1 (?) | —     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| Media.....  | 5,1                       | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,5   | 5,7                       | 5,4   | 6,3   | 5,1   | 6,6   |

TABLA 11

| COEFICIENTE DE DESPLAZAMIENTO<br>(1.000 m <sup>2</sup> /s) | ASCENDENTES               |       |       |       |       | DESCENDENTES              |       |       |       |       |
|--|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|  | Altitud de vuelo (metros) |       |       |       |       | Altitud de vuelo (metros) |       |       |       |       |
|  | 1.800                     | 3.300 | 4.800 | 6.300 | 7.800 | 1.800                     | 3.300 | 4.800 | 6.300 | 7.800 |
| 0,0 - 4,49.....  | 3                         | 2     | 4     | 2     | 1     | 1                         | 3     | 6     | 2     | 1     |
| 4,5 - 8,99.....  | 17                        | 33    | 42    | 40    | 20    | 12                        | 26    | 27    | 14    | 12    |
| 9,0 - 13,49.....   | 12                        | 18    | 18    | 21    | 20    | 4                         | 10    | 13    | 8     | 5     |
| 13,5 - 17,99.....  | 1                         | 12    | 12    | 11    | 12    | 2                         | 1     | 5     | 6     | 8     |
| 18,0 - 22,49.....  | 3                         | 9     | 5     | 10    | 5     | 1                         | 1     | 1     | 2     | 3     |
| 22,5 - 26,99.....  | 1                         | 4     | 9     | 3     | 5     | 2 (?)                     | —     | —     | 1     | 4     |
| 27,0 - 31,49.....  | 1                         | 1     | 3     | 3     | —     | —                         | —     | 1 (?) | —     | 1     |
| 31,5 - 35,09.....  | —                         | 1     | 2 (?) | 2     | 4     | —                         | —     | —     | —     | 1     |
| 36,0 - 40,49.....  | —                         | 1     | 1 (?) | 5     | 6     | —                         | —     | —     | —     | 1     |
| 40,5 - 44,99.....  | —                         | 2     | 2     | —     | 1     | —                         | —     | —     | —     | 2     |
| 45,0 - 49,49.....  | —                         | —     | 1     | 2     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 49,5 - 53,99.....  | —                         | 1     | 1     | 1     | 1     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 54,0 - 58,49.....  | —                         | 2     | 1     | —     | 2     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 58,5 - 62,99.....  | —                         | —     | 1     | 1     | 1     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 63,0 - 67,49.....  | —                         | 1     | —     | —     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 67,5 - 71,99.....  | —                         | —     | —     | 1     | 1     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 72,0 - 76,49.....  | —                         | —     | 1     | —     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 76,5 - 80,99.....  | —                         | —     | —     | 1     | 1     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 81,0 - 85,49.....  | —                         | —     | —     | 1     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 85,5 - 116,99.....   | —                         | —     | —     | —     | —     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| 117,0 - 121,49.....  | —                         | —     | —     | —     | 1     | —                         | —     | —     | —     | —     |
| Media.....   | 10,2                      | 15,1  | 15,3  | 16,7  | 19,5  | 10,4                      | 8,1   | 8,8   | 10,5  | 16,1  |

tan grande como los desplazamientos debidos a corrientes ascendentes. Para un aeroplano que voló a 240 km/h. = 66,7 m/s., el desplazamiento máximo hacia abajo registrado a 1.800 metros fué menor de 400 metros. Sin embargo, es de notar que el piloto de un aeroplano que volaba a través de la base de una nube, a 1.500 metros, observó que era arrastrado hacia tierra por una violenta corriente descendente.

3. A todos los niveles, el desplazamiento medio hacia arriba es mayor que hacia abajo, excepto a unos 1.800 metros.

*Ráfagas.*—La turbulencia en las tormentas aparece marcadamente en las superficies límites entre las "células convectivas", admitiéndose que la intensidad de una tormenta es proporcional a dicha turbulencia. Las aceleraciones no sólo constituyen una viva molestia para los pasajeros, sino que son un peligro para la estructura del aeroplano. Aceleraciones sobre 10 g. han sido observadas. La evidencia visual de la turbulencia se manifiesta, en tierra, observando la línea de turbonada (fig. 1).

La tabla 3 da la distribución de las rachas de máxima velocidad encontradas en

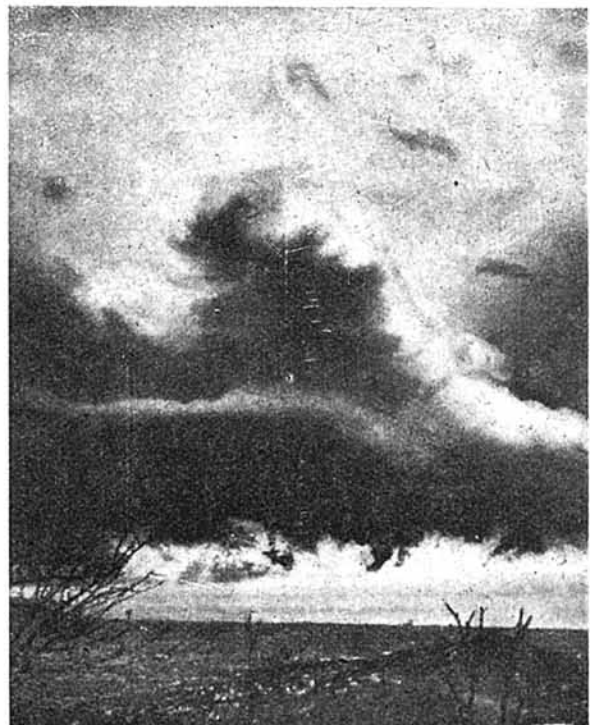


Figura 1

TABLA III

| RACHA MAXIMA<br>(m/s)   | ALTITUD DE VUELO (METROS) |       |       |       |       | TOTAL  |
|-------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                         | 1.800                     | 3.300 | 4.800 | 6.300 | 7.800 |        |
| 0,6 - 1,2.....          | 243                       | 374   | 419   | 319   | 208   | 1.563  |
| 1,2 - 1,8.....          | 310                       | 528   | 523   | 473   | 325   | 2.159  |
| 1,8 - 2,4.....          | 295                       | 478   | 527   | 367   | 286   | 1.953  |
| 2,4 - 3,0.....          | 235                       | 308   | 265   | 258   | 158   | 1.224  |
| 3,0 - 3,6.....          | 137                       | 217   | 233   | 156   | 108   | 851    |
| 3,6 - 4,2.....          | 73                        | 129   | 126   | 107   | 83    | 518    |
| 4,2 - 4,8.....          | 58                        | 84    | 95    | 58    | 31    | 326    |
| 4,8 - 5,4.....          | 23                        | 49    | 53    | 30    | 26    | 181    |
| 5,4 - 6,0.....          | 19                        | 35    | 51    | 25    | 13    | 143    |
| 6,0 - 6,6.....          | 10                        | 18    | 26    | 17    | 5     | 76     |
| 6,6 - 7,2.....          | 4                         | 7     | 13    | 7     | 2     | 33     |
| 7,2 y superior.....     | 6                         | 11    | 13    | 13    | 6     | 49     |
| <i>Total.....</i>       | 1.413                     | 2.238 | 2.344 | 1.830 | 1.251 | 9.076  |
| <i>Media (m/s)....</i>  | 2,3                       | 2,3   | 2,4   | 2,3   | 2,3   | 2,3    |
| <i>Kms. volados... </i> | 1.566                     | 2.490 | 2.703 | 2.242 | 1.611 | 10.612 |

cada 900 metros de travesía, en vuelos a distintas cotas, según los realizados en Florida.

Se observa que, con indiferencia de la altura, las ráfagas menos rápidas son las más frecuentes. No obstante, las más interesantes son las más rápidas, las cuales presentan una notable variación de distribución con la altura, como se manifiesta en la fi-

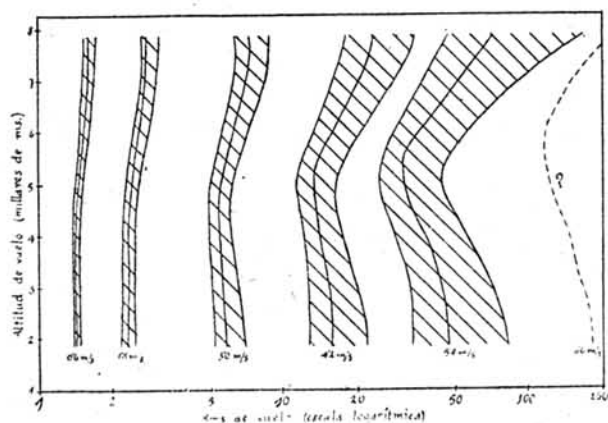


Figura 2

gura 2, dibujada según los datos estadísticos facilitados por los vuelos del Thunderstorm Project. En dicha figura se manifiesta la media de la máxima distancia a recorrer para encontrar una ráfaga de velocidad superior a la indicada. Las áreas rayadas incluyen el 99,7 por 100 de los casos. Se observó que las más altas aceleraciones se

encuentran en cotas próximas al nivel de congelación, el cual está a unos 5.000 metros en las masas aéreas sobre las que se experimentó. Este resultado de los aparatos registradores está de acuerdo con las observaciones a estima del grado de turbulencia, hechas por las tripulaciones.

*Lluvia.*—La mayor frecuencia de lluvia densa y moderada se encuentra a niveles inferiores al nivel de congelación.

En tratados antiguos de vuelo a través de tormenta se indica que las regiones de mínima turbulencia coinciden con las de lluvia máxima, por el efecto estabilizador del peso de la lluvia. Actualmente no sólo se establece que esto no es cierto, sino que es lo más probable que se produzca el fenómeno inverso; esto es, que la intensidad de la turbulencia varía directamente a la intensidad de la precipitación.

*Nieve.*—La mayor frecuencia de nieve moderada y densa se establece a 6.000 ó 6.500 metros.

*Granizo.*—Relativamente es poco frecuente, pareciendo que se produce en regiones limitadas de la nube tormentosa, y, además, durante poco tiempo. Por esto es verosímil que el granizo, que puede producir daños considerables en el avión, no sea encontrado en el vuelo. En el Thunderstorm Project

TABLA IV

| INTENSIDAD DE ENGELAMIENTO | ALTITUD DE VUELO (METROS) |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|----------------------------|---------------------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|                            | 1.800                     |     | 3.300 |     | 4.800 |     | 6.300 |     | 7.800 |     |
|                            | N                         | %   | N     | %   | N     | %   | N     | %   | N     | %   |
| Ligero.....                | 0                         | 0   | 5     | 4   | 34    | 27  | 42    | 36  | 22    | 27  |
| Moderado.....              | 0                         | 0   | 0     | 0   | 1     | 1   | 26    | 23  | 5     | 6   |
| Fuerte.....                | 0                         | 0   | 0     | 0   | 1     | 1   | 8     | 7   | 5     | 6   |
| No.....                    | 96                        | 100 | 126   | 96  | 92    | 71  | 39    | 34  | 49    | 61  |
| <i>Total.....</i>          | 96                        | 100 | 131   | 100 | 128   | 100 | 115   | 100 | 81    | 100 |

sólo fué hallado en un 25 por 100 de los casos en que se voló a través de la región del granizo, y muy raramente a más de uno o dos niveles. Es de señalar que las regiones del vuelo experimental estaban considerablemente apartadas de las de máxima frecuencia de granizo, en la superficie de los Estados Unidos.

En cuanto al tamaño, es de notar que alrededor de una por ochocientas tormentas, en el trayecto aéreo de Denver a Nueva York, produce granizo como nueces, y una por cinco mil como pelotas de base-ball. Los mayores granizos se producen cuando la base de la región inestable está por debajo de 2.000 metros, con gradiente de 0,8° C. por 100 metros o más grandes.

*Engelamiento.*—En las tormentas observadas por el Thunderstorm Project el engelamiento se encontró, en más del 50 por 100

en las travesías, a 6.000 metros. Los datos obtenidos se resumen en las tablas 4 y 5. La tabla 4 da la frecuencia (N) y porcentaje (%) de la intensidad de engelamiento a varias altitudes, según los datos de las tormentas observadas en la primavera y verano de 1946 en Florida. La tabla 5 da los mismos datos para las tormentas observadas en primavera y verano de 1947 en Ohio. En la tabla 5 se hace distinción entre hielo transparente y opaco. El primero, que procede de la congelación sobre la superficie del aeroplano de gotas grandes de agua, es más peligroso que el opaco, el cual está formado por la congelación de gotas menudas, y es fácilmente quitado por los dispositivos mecánicos antihielo. Los datos indican que, la mayor parte de las veces, las tripulaciones clasificaron el hielo como opaco. En ninguna ocasión se produjo una acumulación peligrosa, sin duda debido al corto

TABLA V

| INTENSIDAD DE ENGELAMIENTO | ALTITUD DE VUELO (METROS) |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|----------------------------|---------------------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|                            | 1.500                     |     | 3.000 |     | 4.500 |     | 6.000 |     | 7.500 |     |
|                            | N                         | %   | N     | %   | N     | %   | N     | %   | N     | %   |
| Ligero opaco.....          | 0                         | 0   | 5     | 2   | 35    | 17  | 38    | 23  | 23    | 21  |
| Moderado opaco..           | 0                         | 0   | 0     | 0   | 1     | 1   | 14    | 8   | 8     | 7   |
| Fuerte opaco.....          | 0                         | 0   | 0     | 0   | 0     | 0   | 3     | 2   | 5     | 5   |
| Opaco y transparente.....  | 0                         | 0   | 0     | 0   | 3     | 1   | 10    | 6   | 1     | 1   |
| Transparente. ...          | 0                         | 0   | 1     | 1   | 2     | 1   | 5     | 3   | 2     | 2   |
| Sin clasificar. ....       | 0                         | 0   | 6     | 3   | 18    | 8   | 24    | 15  | 15    | 13  |
| No.....                    | 112                       | 100 | 205   | 94  | 149   | 72  | 70    | 43  | 57    | 51  |
| <i>Total.....</i>          | 112                       | 100 | 217   | 100 | 208   | 100 | 164   | 100 | 111   | 100 |

tiempo que el avión estaba sujeto a engalamiento.

*Fenómenos eléctricos:*— Los aeroplanos pueden ser alcanzados ocasionalmente por el rayo. La mayoría de las descargas observadas han sido precedidas de fuegos de San Telmo. El ciclo completo, incluyendo la descarga, suele durar menos de medio minuto.

Los agujeros quemados en la envoltura metálica del aeroplano indican que la trayectoria frecuente del rayo es de morro a cola, o de extremo a extremo de las alas. Parece que son alcanzados por descargas de nube a nube y no de nube a tierra, lo cual da una explicación del relativo predominio de los efectos térmicos sobre los mecánicos y explosivos.

En los 1.363 vuelos a través de tormentas del Thunderstorm Projeet, los aeroplanos fueron alcanzados 21 veces por el rayo, según la observación de los tripulantes y la siguiente inspección en tierra, limitándose los daños, en general, a pequeños agujeros en la estructura. Otras averías pueden causarse, como el desarreglo de la compensación de los compases magnéticos, a causa de los efectos magnéticos de la corriente del rayo en las partes metálicas del avión, tales como el motor. También las antenas de radio pueden ser averiadas. El piloto puede ser cegado temporalmente, en particular de noche, por el deslumbramiento producido por el rayo, y de este modo le es imposible la lectura de los instrumentos durante algún tiempo.

Todo avión de metal está en condiciones bastante satisfactorias para soportar la descarga del rayo, por constituir casi una perfecta caja de Faraday. Los aeroplanos con alas y fuselaje no metálicos tienen menos posibilidad que los metálicos de constituir trayectoria de una descarga eléctrica, pero de no tomarse algunas medidas que garanticen la conducción de la corriente, en caso de ser alcanzados por el rayo, es muy peligroso operar con ellos en tiempo tormentoso, por la posibilidad de que los efectos mecánicos y térmicos de aquél produzcan un accidente grave.

El rayo puede muchas veces ser evitado escogiendo nuevos niveles de vuelo, ya que parece haber sido observado en un estrato comprendiendo temperaturas hasta 6° C. por encima y debajo del nivel de congelación.

### III.—Efectos en tierra.

*La línea de turbonada.*— Los vientos racheados y cambios de dirección, que acompañan al paso de la tormenta sobre un lugar, pueden volcar los aviones en tierra y lanzar al espacio aparejos libres que originan colisiones. Al mismo tiempo, es conocido el riesgo que representan para un avión que despegue o aterrice. Según datos facilitados por la Civil Aeronautics Administration, durante los años 1938 a 1945 hubo 56 accidentes en aviones comerciales, atribuidos a tormentas, de los cuales 10 (18 por 100) fueron causados por la inesperada llegada de la línea de turbonada. Citaremos, como ejemplo, un caso: Al aproximarse al aeropuerto, el piloto de un avión en vuelo, observó una tormenta hacia el NW. Describió un círculo a 150 metros, para averiguar la intensidad de la turbulencia, después de lo cual comenzó la aproximación a tierra, encontrando lluvia densa a 60 metros, la cual no ocultaba la superficie. Al hacer contacto hacia la mitad de la pista (de 870 metros), un violento cambio de viento de 180° le sorprendió, arrastrando el avión fuera de ella, sobre césped húmedo. El piloto no pudo frenar el aparato, y fué llevado a través del campo, hasta chocar con un poste telefónico y caer en una zanja de drenaje en los límites del aeropuerto. Factores que contribuyeron al accidente fueron la decisión del piloto de aterrizar sin aprovechar un intervalo en la tormenta y la aproximación a tierra excesivamente alta y profunda.

Los vientos racheados y cambios de dirección, que se originan con la llegada de la tormenta, son causados por el aire frío descendente que alcanza la superficie de la tierra, empujando ante él aire relativamente más cálido. Las velocidades mayores se encuentran en la dirección y sentido del desplazamiento de aquélla, por sumarse, entonces, a la velocidad del aire descendente, que se desparrama, la de dicha tormenta. Se han observado velocidades por encima de 100 km/h., y cambios de dirección de 180°. Este incremento de velocidad ha sido llamado la primera racha, por ser el comienzo de un período de viento racheado que acompaña al paso de la tormenta.

Desde el punto de vista del piloto, es inte-

resante considerar la velocidad efectiva de la primera racha, la cual es la proyección de la velocidad de aquella sobre el eje longitudinal del avión, previamente enfrentado al viento dominante. En las figuras 3 y 4 se pone de manifiesto el resultado de componer la velocidad de la primera racha con

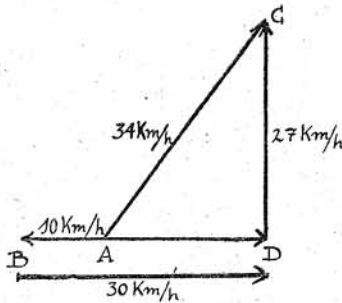


Figura 3

la del viento previo. En ambas figura: AB, velocidad del viento previo; AC, velocidad de la primera racha; BD, velocidad efectiva de la primera racha, y DC, velocidad del viento de través. La figura 3 muestra un caso en el que resulta un incremento del viento de morro, y la figura 4 otro en que el viento de morro se transforma en viento

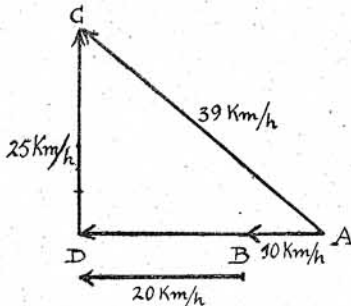


Figura 4

de cola. Es interesante notar que en un 38 por 100, aproximadamente, de los casos, el incremento positivo de la velocidad excede de 16 km/h., mientras que sólo alcanzaron dicho valor los incrementos negativos en 1 por 100.

Si un avión, al despegar, se viera sorprendido por la primera racha, ésta actuaría, o bien como un imprevisto incremento de viento de morro, o bien como una disminución de la velocidad de dicho viento, con lo cual se necesitaría mayor longitud de pista

para el despegue que la previamente calculada. Aterrizando, la primera racha produce una imprevista pérdida de altura, si disminuye el viento de morro, y si, por el contrario, éste aumenta, se puede sobrepasar el sitio previamente elegido para hacer contacto con tierra.

La velocidad de progresión de la línea de turbonada, sobre la superficie terrestre, es de unos 30 km/h., pudiendo incrementarse, no obstante, hasta alcanzar velocidades de 100 km/h. Generalmente, la dirección de los vientos fuertes de la línea de turbonada coinciden con el movimiento de dicho frente, produciéndose, sin embargo, a veces cambios hasta de 90°.

Como primera aproximación, de una serie de medidas realizadas, se pueden tomar los siguientes datos: La rafagosidad y relativamente alta velocidad del viento persiste durante un promedio de unos diecisiete minutos después de la llegada de la línea de turbonada; no obstante, puede terminar a los dos o tres minutos y alcanzar hasta los noventa minutos. El viento de superficie se incrementa, en pocos segundos, desde 6 u 8 km/h., hasta alcanzar un promedio de 30 km/h. El promedio de cambio de dirección es de 39°; no obstante, cambios de más de 90° se han observado en un 12 por 100 de los casos. El promedio de máxima velocidad absoluta del viento, al paso de la tormenta, excede en 3 km/h. a la de la primera racha, y ocurre 4,4 minutos después del paso de la línea de turbonada. La dirección de la máxima velocidad absoluta es la misma que la de la primera racha, en el 74 por 100 de los casos observados, y sufre una variación no superior a 10° en el 87 por 100.

Dentro de un período razonablemente corto es posible la previsión de la primera racha mediante la técnica del "radar", porque el eco de éste está producido en partículas sólidas y líquidas, las cuales están contenidas en la corriente fría descendente que origina la primera racha. En ningún caso, con el empleo del "radar", ha sido observada una primera racha sin que hubiese dado previamente un eco. El estudio de dicho eco permite, en la mayoría de los casos, determinar también la dirección de desplazamiento de la línea de turbonada.

*Errores del altímetro.*—Al paso de una tormenta sobre una estación pueden ocurrir rápidos cambios de presión que suceden frecuentemente en un intervalo de unos diez o quince minutos, pudiendo suponer un importante error del altímetro. La figura 5, que muestra el barograma de una tormenta, es un ejemplo de lo dicho. Supongamos que un avión ajusta su altímetro según la presión del punto A, comunicada por el aeropuerto terminal momentos antes del aterrizaje. Si al realizar esta maniobra ha trans-

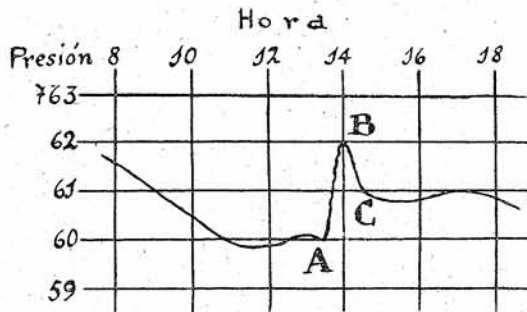


Figura 5

currido el tiempo que media entre el punto A y el B, la presión verdadera de ajuste es la de este último, y, por tanto, aun cuando el altímetro señale 0 m., le faltarán 24 m. para alcanzar la pista, que es el equivalente de los 2 mm. de Hg. de diferencia que hay entre A y B (a 760 mm. de presión y 15° C). El error inverso es más peligroso, y ocurre, en este ejemplo, si el avión ajusta su altímetro en el instante B y aterriza en el C, pues entonces el instrumento señalará 0 m. cuando esté sometido a la presión del punto B; pero esta presión no la puede alcanzar, de tal manera que marca 12 m. al hacer contacto con la pista, los cuales corresponden a la diferencia de 1 mm. de Hg. que hay entre el punto B y el C. Se comprende que, con mala visibilidad, este error es importante. Durante las operaciones de Ohio del Thunderstorm Project, en dos ocasiones el altímetro señaló 42 m. sobre la verdadera altitud cuando el avión aterrizó.

Este problema es tanto más interesante por cuanto que los más grandes cambios de presión ocurren con tormentas fuertes de lluvia, que reducen notablemente la visibi-

lidad, haciéndose entonces evidente la necesidad de contar con un altímetro correctamente ajustado. Se tendrá, pues, en cuenta que un altímetro arreglado al paso de una tormenta, o diez o quince minutos antes, puede presentar serio error.

IV.—Conclusión.

*Distribución de los fenómenos.*—De todo lo dicho se deduce que la tormenta no debe considerarse esencialmente como un rodeo en el vuelo, presentando una estructura compleja, aun cuando no caótica. La tabla 6 resume la distribución de los distintos fenómenos tormentosos según la altura.

Sé ha de tener en cuenta que las masas experimentadas, para llegar a obtener este cuadro resumen, presentaban el nivel de congelación a los 5.000 m., aproximadamente, por tratarse de masas tropicales en verano. De él se deduce que los niveles próximos al de congelación, o ligeramente superiores, deben ser evitados, por presentar la mayor actividad en cuanto a la turbulencia, englamamiento fuerte, granizo y descargas eléctricas.

*Final.*—La técnica de vuelo adoptada por los aviones del Thunderstorm Project estaba ajustada a un interés científico; pero es instructiva en cuanto da una modalidad de vuelo a través de tormenta, por razón de que en 1.363 travesías que se realizaron no ocurrió ni un solo accidente. La técnica citada consistía en ajustar el vuelo según itinerarios rectos, con lenta velocidad de crucero, dejando manifestar todo desplazamiento debido a la turbulencia, excepto cuando alcanzaba serias proporciones. Esto era debido a que se querían registrar las ráfagas y corrientes verticales por su actuación sobre el aeroplano, y toda intervención del piloto suponía aceleraciones y desplazamientos verticales no válidos, siendo eliminados automáticamente de los registros. De aquí que la actuación del piloto se redujese al mínimo, y únicamente se manifestaba cuando era necesario por razones de seguridad. Esta modalidad de vuelo está, además, abogada por la "Air Force" y algunas líneas aéreas.

El hecho de abandonar el avión a los fenómenos naturales es rehuído, en general,



por el piloto, el cual se esfuerza en mantener un nivel de vuelo. Sin embargo, los mayores desplazamientos a los más altos niveles sólo alcanzaron 1.800 m., produciendo la mayoría de las corrientes desplazamientos inferiores. Estos no revisten importancia práctica, excepto por la pequeña posibilidad de que el avión sea lanzado a tierra, o por el peligro de colisión, siendo este último importante, oponiéndose la técnica de

sobre la hora de formación del fenómeno y su extensión y, sobre todo, respecto a los lugares afectados. Sabido es que los sondeos termodinámicos constituyen la base fundamental de previsión de tormentas; pero aun cuando existen posibilidades para fijar la hora y fuerza de la tormenta, existe una completa indeterminación en lo relativo a las áreas afectadas, por depender esto del agente inicial que "dispare" las masas cá-

T A B L A V I

| FENOMENOS                        | ALTITUD DE VUELO (METROS) |              |                      |                |                |
|----------------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|----------------|----------------|
|                                  | 1.500                     | 3.000        | 4.500                | 6.000          | 7.500          |
| Desplazamientos verticales:      |                           |              |                      |                |                |
| Ascendentes. ....                | Crecen con la altura.     |              |                      |                |                |
| Descendentes. ....               | Importante.               | Mínimo.      | Crecen en la altura. |                |                |
| Velocidad de las rachas:         |                           |              |                      |                |                |
| 1,2 m/s. ....                    | Sin variación notable.    |              |                      |                |                |
| 4,2 m/s. ....                    | Mínimo.                   | —            | MAXIMO.              | —              | Mínimo.        |
| 7,2 m/s. ....                    | Mínimo.                   | —            | —                    | MAXIMO.        | Mínimo.        |
| Lluvia densa. ....               | MAXIMO.                   | MAXIMO.      | Frecuente.           | No frecuente.  | No.            |
| Nieve densa. ....                | No.                       | No.          | No frecuente.        | Frecuente.     | Frecuente.     |
| Granizo. ....                    | No.                       | MAXIMO.      | MAXIMO.              | No frecuente.  | No frecuente.  |
| Engelamiento:                    |                           |              |                      |                |                |
| Todos los tipos. ....            | No.                       | No frecuente | Frecuente.           | MAXIMO.        | Frecuente.     |
| Transparente y opaco denso. .... | No.                       | No.          | No frecuente         | MAXIMO.        | Frecuente.     |
| Rayos. ....                      | Raros.                    | Raros.       | No frecuentes.       | No frecuentes. | No frecuentes. |

dejar volar el aparato libremente con la reglamentación de seguir una determinada cota de vuelo. Ha sido demostrado que, bajo ciertas circunstancias, el peligro de colisión puede ser superior al de la misma tormenta.

La solución de estos problemas está en el empleo del "radar" por los aeropuertos. Es útil al meteorólogo para poder localizar las tormentas y saber su desplazamiento y extensión, de tal manera que puede saber inmediatamente cuándo se ha constituido el fenómeno, su desenvolvimiento y los trayectos aéreos afectados. Toda información suministrada será sobre un hecho cierto, que se "ve", desapareciendo la indeterminación

lidas y determine el comienzo de los fenómenos convectivos y, al mismo tiempo, de la trayectoria que seguirá la tormenta una vez constituida. Únicamente un conocimiento profundo de una comarca puede dar idea acerca de estos extremos; pero nunca la seguridad del conocimiento derivado del empleo del "radar".

La utilidad de éste es manifiesta también para el control de tráfico, pues la pantalla de "radar" permite determinar la situación de los aviones en la proximidad del aeropuerto y, con arreglo a su densidad, establecer más o menos ampliamente las alturas de vuelo en caso de tormenta.