

¿QUE ES LA ATMOSFERA?

Introducción.

En el Calendario Meteoro-Fenológico correspondiente al año 1948, E. O. F. explica uno de los modernos aparatos de exploración de la atmósfera superior: el radiosonda. Nosotros nos proponemos en esta pequeña nota reseñar algunos resultados obtenidos con estos modernos métodos de investigación.

La sección de la atmósfera.

A primera vista parece que la atmósfera, por estar formada en su casi totalidad por gases, ha de tener una estructura casi homogénea por estar mezclados aquéllos de una manera uniforme. Sin embargo, en cuanto se ha profundizado su estudio se ha visto que presenta la atmósfera discontinuidades en sus propiedades físicas que permite dividir a la misma en estratos y grandes masas perfectamente clasificadas y diferenciadas.

La más reciente imagen de la atmósfera está representada en la figura 1. Se trata de una sección de la atmósfera por un plano vertical que pasa por un meridiano desde el polo Norte al Ecuador.

Se divide en tres estratos principales: La **tropos-**

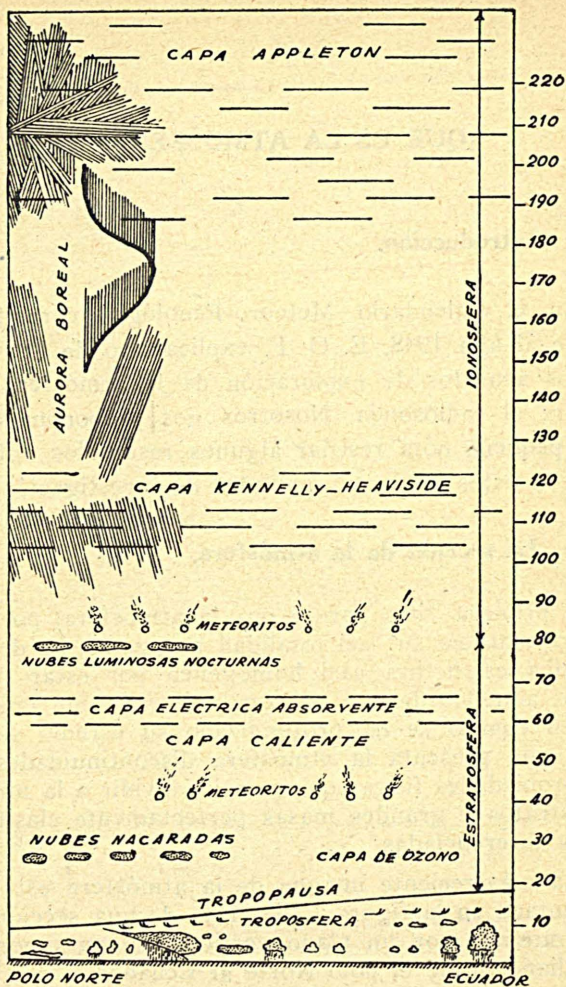


Fig. 1.

fera, que se extiende desde el suelo hasta una altura comprendida entre los 9 y 15 kilómetros; la **estratosfera**, desde esta última altura hasta los 80 kilómetros de altitud; y a partir de aquí comienza la **ionosfera**.

En la figura están gráficamente representados los fenómenos típicos que se observan en cada uno de estos estratos.

La capa más externa o **ionosfera** está inferiormente limitada a los 80 kilómetros de altitud por el límite crepuscular de la atmósfera. En esta altura se han observado nubes extremadamente raras, llamadas *nubes luminosas nocturnas*, que se suponían constituídas por partículas de polvo de origen volcánico y modernamente se cree son de constitución análoga a los Cirrus.

Otro de los fenómenos que tienen su asiento en la ionosfera es la *aurora boreal*, tan rara en nuestras latitudes. Este fenómeno está producido por una excitación eléctrica de los gases enrarecidos, provocada por los rayos catódicos que vienen de Sol, y es una manifestación de la existencia de materia en tan elevadas altitudes. Störmer ha demostrado que se observa este fenómeno hasta alturas de 1.200 kilómetros sobre el suelo, lo que demuestra que la atmósfera terrestre se prolonga por lo menos hasta esa altitud.

En la ionosfera existen algunas capas o estratos que influyen poderosamente en la propagación de las ondas hertzianas y que constituyen verdaderas discontinuidades atmosféricas para los fenómenos de propagación. La gloria de estos descubrimientos se debe a sir E. Appleton. Estos estratos están ionizados con diferente densidad iónica: uno de ellos se sitúa a unos 100 kilómetros de altura, y se denomina la *capa E* o *capa Kennelly-Heavside*; otros dos, uno de 200 a 300 kilómetros de altura, y otro a 600 kilómetros, forman

la *capa F* o *capa de Appleton*. Las radio-ondas son influenciadas por estas capas según su longitud de onda. Las *ondas largas*, mayores que 450 metros, son reflejadas en la capa E, primera capa ionizada; las *ondas cortas*, comprendidas entre los 150 metros y los 50 metros, y las *extracortas*, comprendidas entre 50 metros y 12 metros, atraviesan la capa E y son reflejadas por la capa F (segunda capa ionizada); y las *ultracortas*, comprendidas entre ocho metros y un metro, así como las *micro-ondas*, de algunos centímetros de longitud de onda, atraviesan la ionosfera sin sufrir perturbación alguna. Las ondas no comprendidas en los límites anteriormente indicados sufren reflexiones irregulares y no son aptas para la radiodifusión. Obsérvese que gracias a estas reflexiones es posible la comunicación por radio entre puntos alejados, ya que la propagación de las ondas hertzianas es rectilínea, lo mismo que la luz.

Entre la **ionosfera** y la **troposfera** está situada la **estratosfera**.

Se ha demostrado estadísticamente que las estrellas fugaces (meteoritos) desaparecen más frecuentemente a la altura de 80 kilómetros (límite superior de la estratosfera) y a 40 kilómetros. En este estrato, comprendido entre los 80 y 40 kilómetros, se ha demostrado que deben encontrarse las moléculas gaseosas extremadamente agitadas, con una agitación equivalente a la producida por temperaturas de 60° a 70° centígrados sobre 0°, y se denomina a este estrato *capa caliente*.

A los 60 kilómetros de altura existe una capa absorbente para las radio-ondas, y que está influenciada notablemente por los rayos solares.

La parte inferior de la estratosfera es rica en *ozono*, y las condiciones del tiempo en el suelo están estrechamente relacionadas con la cantidad de dicho elemento, según ha demostrado Dobson. A la misma al-

tura de la capa de ozono se han observado nubes denominadas *nacaradas*. La capa comprendida entre el estrato de ozono y la troposfera está carente de nubes y es extremadamente estable, reuniendo condiciones óptimas para la navegación aérea.

La composición del aire puro y seco constituye una mezcla de diferentes gases, de los cuales el *nitrógeno* ocupa el 78 por 100 (en volumen); el *oxígeno*, el 21 por 100; el *argon*, el 1 por 100, y una cantidad de 0,03 por 100 de *anhídrido carbónico* (todos ellos, valores aproximados). El nitrógeno, oxígeno, argon y anhídrido carbónico constituyen el 99,99 por 100 del aire puro seco. El 0,01 por 100 restante representa pequeñas porciones de *neon*, *krypton*, *helio*, *ozono*, *xeno* e *hidrógeno*. La cantidad de anhídrido carbónico es muy variable, ya que es producto de descomposición de materias orgánicas.

Además de los gases indicados, la atmósfera contiene *agua*, que es el componente más importante, y puede encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso (vapor).

Además, la atmósfera contiene impurezas tales como *arena*, *sales* y *hollín*.

La zona de la atmósfera que ha sido explorada verticalmente por los sondas es de unos 36 kilómetros. Como en este estrato se desarrollan todos los fenómenos más directamente relacionados con el *tiempo* nos ocuparemos con más detalle de su estudio.

La estructura térmica de la atmósfera.

La exploración de la atmósfera por medio de los sondeos aerológicos ha demostrado que en los primeros tres kilómetros (partiendo del suelo), la distribución de la temperatura y humedad decrece muy irregularmente.

La temperatura presenta en esa primera porción de la atmósfera *inversiones* que son bruscas discontinuidades en su variación, que a veces son aumento de temperatura con la altura, y a partir de la temperatura alcanzada en dicho aumento, sigue la disminución de dicha variable meteorológica.

La humedad aún tiene una marcha más irregular, y manifiesta en su distribución con la altura los diferentes pisos nubosos existentes en la troposfera.

A partir de los tres kilómetros hasta el límite de la troposfera (9 a 15 kilómetros), la disminución de la temperatura se hace más regularmente a razón de $0,6^{\circ}$ C. por cada 100 metros de elevación como término medio.

Este estrato que hemos denominado troposfera está separado de la estratosfera por una superficie denominada **tropopausa**.

La estratosfera, descubierta por Teisserenc de Bort, se caracteriza por conservar la misma temperatura casi constante con la altura en la vertical, y por eso se denomina *capa isoterma* (nos referimos a la capa explorada).

La figura 2 nos muestra en la parte de la izquierda la variación de la temperatura con la altura para verano e invierno, y permite apreciar la discontinuidad térmica que define la tropopausa.

La distribución de la presión atmosférica (medida en milibares) con la altura está representada en la figura anterior. Comienza la curva a nivel del mar con una presión de 1.013 milibares. A los cinco kilómetros de altura, la presión se ha reducido aproximadamente a la mitad; es decir, que entre el suelo y dicha altura está la mitad en masa de la atmósfera. En el límite superior de la troposfera (tropopausa), 10 kilómetros de altitud aproximadamente, la presión es ya la cuarta parte de la existente al nivel del mar, y, por

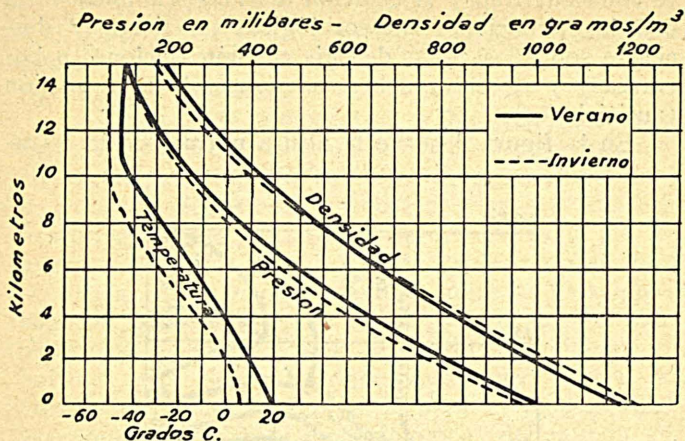


Fig. 2.

tanto, la troposfera representa las tres cuartas partes del total de la atmósfera.

La diferencia de presión entre dos puntos situados en la vertical es igual al peso de la columna de aire de sección unidad situada entre ambos puntos. Conociendo la distribución de temperatura y humedad y la presión en los dos puntos, es posible calcular la diferencia de altitud entre ellos. Basándose en una distribución ideal de la temperatura (atmósfera seca), la altitud viene dada como función de la presión, siendo éste el fundamento de los altímetros usados en Aviación.

También está representada en la figura anterior la variación de la densidad del aire con la altura, medida aquella en gramos por metro cúbico. Estas curvas están calculadas para latitudes media.

La altura de la tropopausa varía considerablemen-

te con la latitud y la estación del año. También varía con las situaciones meteorológicas en tierra y desciende sobre las zonas de baja presión (ciclones o borrascas) y se eleva sobre las zonas de alta presión (anticiclones).

En la figura 3 se ve la altura normal de la estrato-

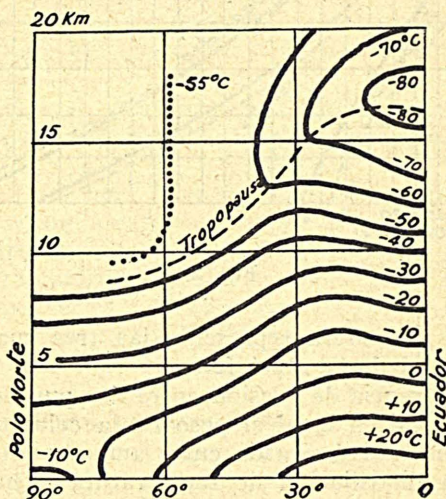


Fig. 3.

tosfera y la distribución media de temperaturas desde el ecuador al polo Norte. Es interesante observar que la estratosfera es más alta y más fría en el ecuador que en el polo Norte.

En la troposfera tienen lugar los meteoros acuosos (nubes, precipitaciones, etc.) por ser el asiento de la casi totalidad de la humedad del aire y a causa de la estructura térmica de la misma.

En la estratosfèra, la escasa humedad, y debido a la isotèrmià reinante, no existen movimientos vèrticales del aire, y, por tanto, no se manifiesta ningún tipo de hidrometeoros.

Las curvas de temperatura y humedad con la altura obtenidas en los sondeos diarios tienen una marcha análoga, aunque más irregular, que la indicada en la figura 2. Su estudio permite analizar las condiciones de equilibrio de la atmósfera y predecir las tormentas; también nos ilustra sobre la naturaleza de las masas de aire que gravitan sobre la estación de sondeos, situación de las superficies frontales, zonas peligrosas de formación de hielo, zonas de fuerte turbulencia, etc., siendo el sondeo aerológico para el meteorólogo lo que los rayos X para el médico. Esto hace que los servicios meteorológicos del mundo amplíen constantemente la red de estaciones aerológicas, creando algunas incluso en el océano con barcos fijos y realizando otras veces sondeos sobre sitios alejados de la base con aviones de gran alcance.

Los sondeos aerológicos en España

En nuestra Patria han funcionado dos estaciones aerológicas: una, en Barajas (Madrid), y otra, en Santa Eugenia de Riveira (La Coruña). Nos vamos a referir en lo que sigue a los sondeos verificados durante el año 1944, cuyos datos aparecerán en fecha próxima, preparados y publicados por nuestra Sección de Aerología.

En Barajas se efectuaron los sondeos por medio de avión, que llevaba en su ascenso un meteorógrafo registrador, que inscribía la presión, temperatura y humedad del aire, y en Santa Eugenia de Riveira se obtenían los datos por medio de radiosondas.

En la figura 4 están representadas, en primer lugar, la media anual de la distribución de la temperatura y humedad con la altura en Barajas, y para que se vea su variación con las estaciones extremas, he-

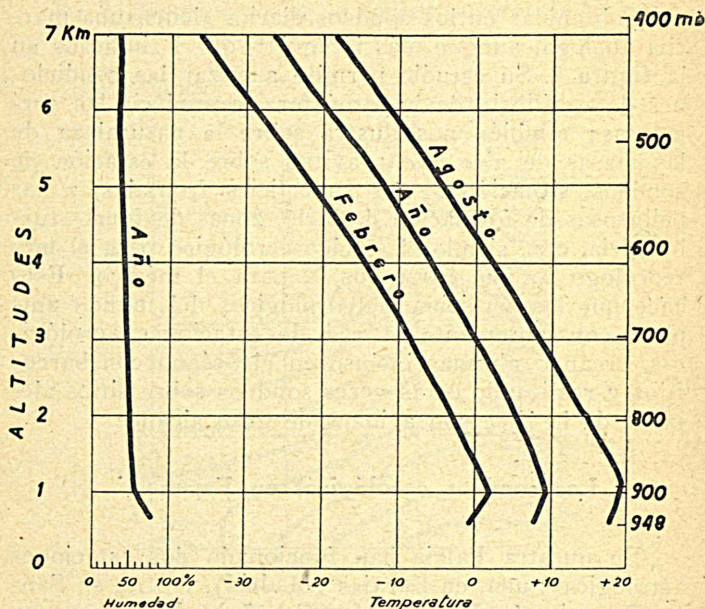


Fig. 4.

mos dibujado las curvas medias de temperatura en los meses de febrero y agosto, que presentan una desviación media sobre la curva anual de $\pm 8^\circ$ centígrados. Obsérvese la inversión de tierra que aparece en las tres curvas de temperatura, y que es permanente en Barajas en las madrugadas debido a la irradiación nocturna.

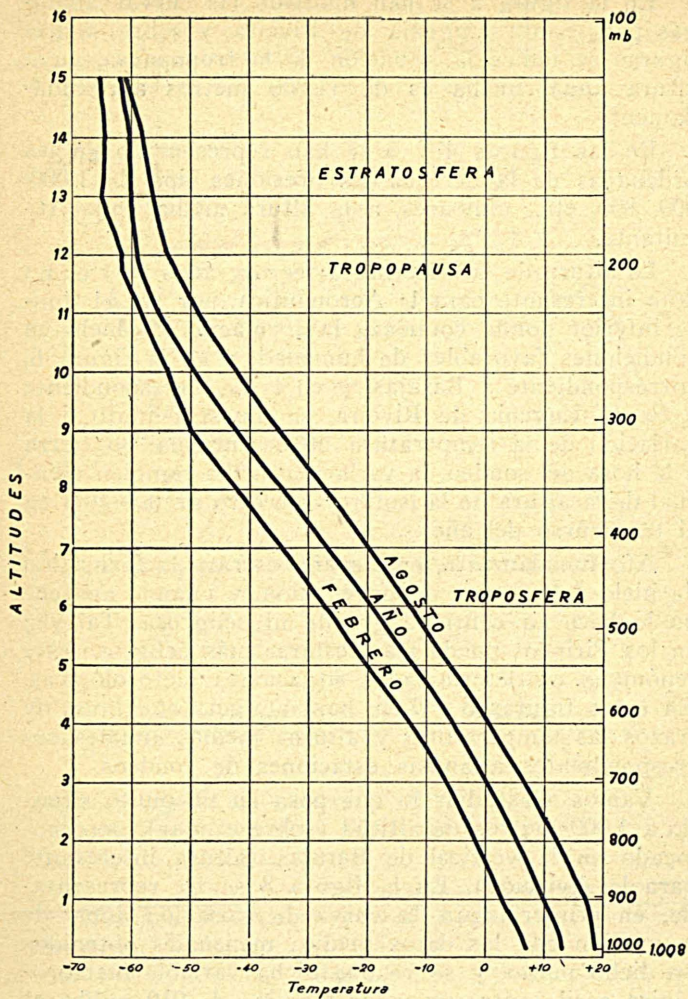


Fig. 5.

En la figura 5 se han dibujado las curvas análogas para Santa Eugenia de Riveira, y sobre dichas figuras se indica la situación de la tropopausa, cuya altura anual media es de 11.800 metros aproximadamente.

En las figuras 4 y 5 se han representado en las ordenadas de la derecha las presiones tipo de 1.000, 900, 800, etc., milibares, a la altura media anual resultante.

La altura de la isoterma de cero grados (0°) es un dato interesante para la Aeronáutica, por ser el límite inferior donde comienza la formación de hielo en condiciones favorables de humedad, y en la figura 6, correspondiente a Barajas, y en la 7, correspondiente a Santa Eugenia de Riveira, se muestra junto a la variación de la temperatura media mensual en tierra a la hora del sondeo, la variación media también mensual de la altura de la isoterma de cero grados (0°) en el transcurso del año.

Afortunadamente, en España es rara la formación de hielo a la altura de navegación, y cuando aparece no lo hace en cantidad grande ni peligrosa. Tal vez en los Pirineos pueda manifestarse más peligroso este fenómeno en determinadas situaciones meteorológicas. En estas figuras 6 y 7 se han dibujado con línea de trazos las temperaturas y alturas medias anuales correspondientes a ambas estaciones de sondeos.

Vamos a estudiar lo que pasa en un punto situado a 1.000 metros de altitud (sobre el mar), pero colocado en la vertical de Barajas (altura interesante para la Aviación). En la figura 8 se ha representado, en primer lugar, la curva de variación anual de la presión con los datos medios mensuales obtenidos en dicho punto, y se ve que dicha variable meteorológica oscila entre un valor máximo de 910 milibares

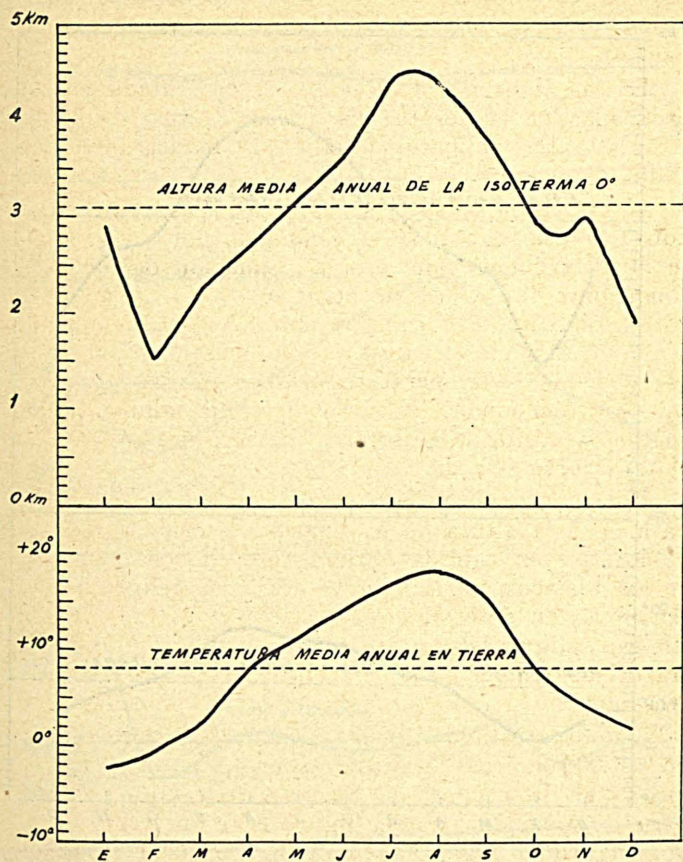


Fig. 6.

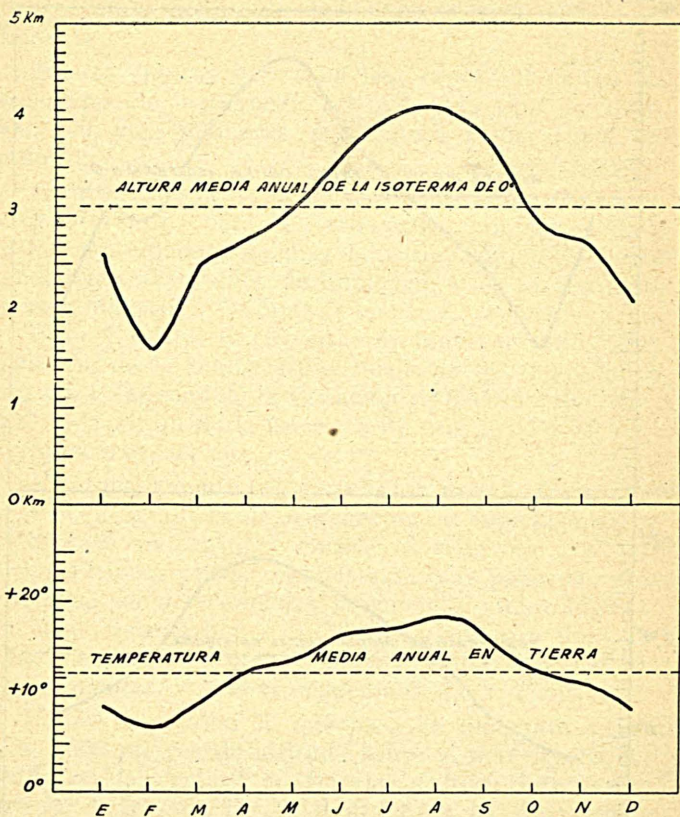


Fig. 7.

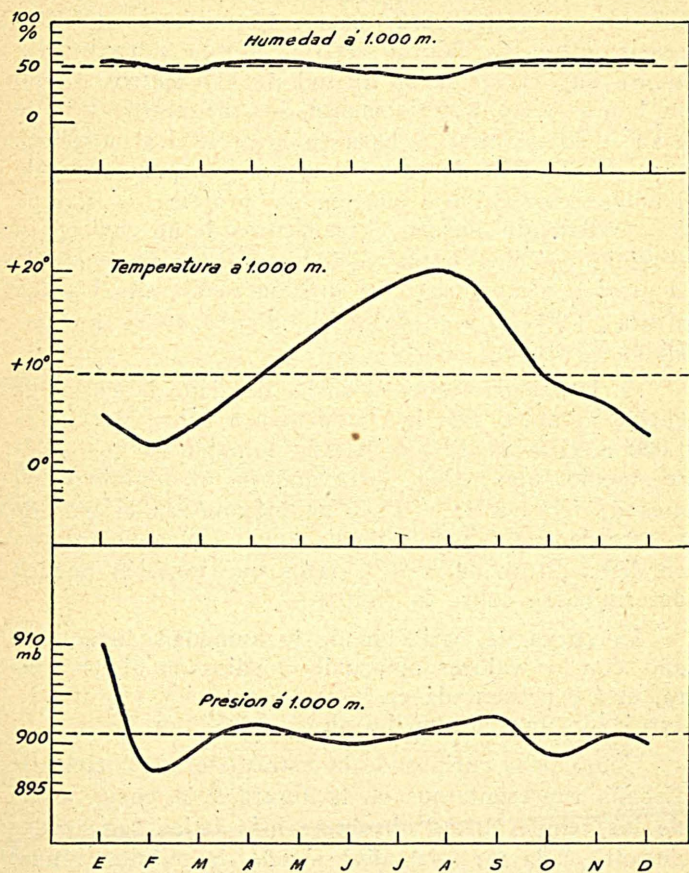


Fig. 8.

en el mes de enero, y un valor mínimo de 897 milibares en febrero. Teniendo en cuenta que una variación de 1,1 milibares representa 10 metros de variación en altitud, se verá que los 13 milibares de diferencia entre los valores extremos son aproximadamente una variación en altitud de 117 metros. Como ya hemos visto anteriormente, los altímetros que se usan en los aviones se basa en la presión atmosférica para dar la altitud; se ve la necesidad, por tanto, de acudir a correcciones que en la práctica se efectúa frecuentemente durante el transcurso de un vuelo para eliminar posibles errores debidos a las variaciones de la presión atmosférica. La presión media anual a esa altura (1.000 m.) es de 901 milibares sobre Barajas (línea de trazos).

En la misma figura 8 se ha dibujado la curva de variación anual de la temperatura sobre Barajas a 1.000 metros de altitud, basada también en los valores medios mensuales, observándose un mínimo en el mes de febrero de $+2^{\circ}$, y un máximo en el mes de agosto de $+20^{\circ}$, y una media anual (línea de trazos) en dicha altura de $+9,7^{\circ}$, datos que también pueden determinarse sobre la figura 4.

La curva de variación de la humedad durante el año, con los valores mensuales medios en dicha altura, está representada en la parte superior (figura 8), arrojando un valor medio anual del 57 por 100.

Como dato curioso de la estratosfera del cielo de España representamos en la figura 9 la curva anual de las temperaturas absolutas más bajas registradas durante cada mes del año, siendo la mínima anual absoluta registrada de $-76,8^{\circ}$ en el mes de abril.

Los sondes aerológicos constituyen la fuente de

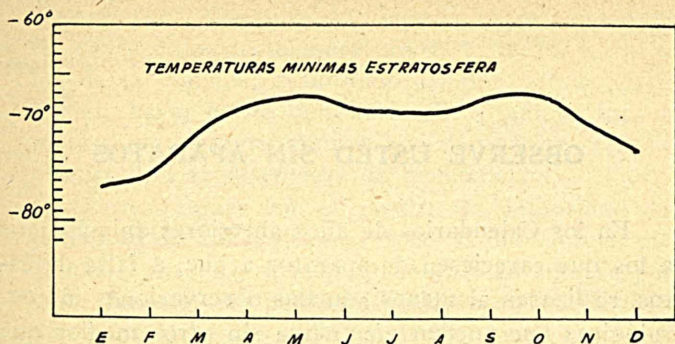


Fig. 9.

información más preciosa para el meteorólogo en su afán de analizar y predecir el tiempo, y en especial el estudio de la estratosfera, aparte de su interés científico, tiene en nuestros tiempos una gran utilidad, ya que la moderna Aeronáutica sigue cada vez escogiendo caminos más altos que surcar con sus alas para unir más estrechamente las relaciones entre los pueblos de la Tierra.

J. A. B. O.