

Estado actual de la Meteorología matemática y su aplicación a la previsión del tiempo

Conferencia dada en la inauguración del Curso de la Escuela Superior Aerotécnica por el teniente coronel de Aviación D. José Cubillo Fluiters, profesor de la misma

A continuación publicamos esta interesante disertación del Jefe del Servicio de Protección del Vuelo del Arma de Aviación, teniente coronel don José Cubillo, en la que éste expone los resultados de su viaje de estudios por Europa, que resumen admirablemente el estado actual de la moderna meteorología.

Tres objetos principales tenía el viaje de instrucción realizado, que eran:

- 1.º Presenciar el trabajo de previsión meteorológica durante los viajes del dirigible *Graf Zeppelin*, hecho en el Instituto Meteorológico de Hamburgo.
- 2.º Estudiar el estado de progreso de la técnica meteorológica en los países escandinavos.
- 3.º Visitar la instalación aerológica de Holanda, establecida en colaboración con la Aviación militar.

Anotar, además, cuantos datos pudieran recogerse, como es natural, de todo lo relacionado con el Servicio de Protección del Vuelo.

Es imposible condensar en el breve tiempo de una conferencia de cuarenta minutos, cuanto ha sido objeto de estudio en este viaje, por lo que me limitaré a señalar lo más saliente de él, deteniéndome más especialmente en lo relativo a la meteorología noruega, que es, sin duda, lo más notable que he obtenido en este viaje.

En el Instituto Meteorológico de Hamburgo «Deutsche Seewarte», existe ya una Sección dedicada al «Vuelo marítimo» (Seeflug), a cuyo frente está el Dr. Seilkopf, quien a sus condiciones de valía técnica une su larga experiencia sobre la meteorología atlántica especial para los viajes aéreos.

La protección del vuelo se hace, en primer lugar, utilizando una carta sobre la que se sitúa la trayectoria del dirigible por medio de las coordenadas geográficas comunicadas radiotelegráficamente por él; se sabe así cuál va a ser la región en la que se va a mover el dirigible en el plazo de la previsión próxima y, por consiguiente, en la que hay que fijar la atención para hacer esa previsión.

Después, mediante la recepción de los datos meteorológicos mundiales, se formula la carta del tiempo empleando un mapa del Atlántico Norte-Sur, cuando el dirigible está en el hemisferio Sur; un mapa del Atlántico Norte, cuando está en este hemisferio, y, finalmente, un mapa de Europa, cuando se acerca ya al Continente.

Los datos del hemisferio Sur son suministrados mediante acuerdo previo con los países correspondientes, pues los que son radiados normalmente son insuficientes para una carta de buenas condiciones.

En la carta del tiempo se marcan desde luego los frentes como parte fundamental de la diagnosis, y después de

hecha la prognosis es remitida por radio, *tres veces* al día, al dirigible, empleando clave especial que permite en un telegrama corto decir: todo lo necesario para el dibujo de la carta a bordo del dirigible, el estado del tiempo en la ruta probable hasta la nueva previsión y los pronósticos general y particular para esta ruta, de manera que el dirigible, se halle donde se halle, está guiado en su viaje por el misterio de la telegrafía sin hilos, desde Hamburgo.

Otras muchas particularidades interesantes para la Aviación fueron encontradas en la visita a esta Institución, sobre las que por las razones dichas no se insiste, pasando ahora a citar que en Holanda pudo obtenerse un nuevo método sencillo y rápido para la interpretación y cálculo de los sondeos con avión; que en la visita al Servicio de Protección del Vuelo en el Ministerio del Aire alemán, pudo verse que en la nueva organización de dicho Ministerio constituye este Servicio un organismo dependiente directamente del ministro (Reichsamt für Flugsicherung) más extenso que antes, pues comprende una cuarta sección para la comprobación de aparatos de navegación; que se ha restablecido el sondeo con avión en Berlín; que se ha ido francamente al tipo de avión especial para sondeo meteorológico; que se ha modificado la clave para emisión de estos sondeos en armonía con las teorías energéticas noruegas; que en la visita al Servicio Meteorológico de Suecia se ha visto que la Aviación militar ha resuelto el problema meteorológico exactamente como se ha resuelto en España, pero aun con mayor unidad, pues la Aviación militar da servicio a todo el Ejército, a la Marina y a la Aviación civil.

En otros aspectos del Servicio de Protección del Vuelo, conviene citar los faros de movimiento alternativo ideados por la Sociedad A. G. A., de Estocolmo, y los procedimientos para toma de tierra sin visibilidad mediante radiogoniometría especial *vertical*, resultado de las investigaciones del D. V. L. alemán.

Y terminado este breve índice de cuestiones, paso al objeto principal de la conferencia, que es el estado actual de la técnica meteorológica en Noruega.

Tres son los Centros de previsión que existen en este país verdaderamente modelo de sociedad civilizada: Oslo, Bergen y Tromsö. En Bergen existe además el Instituto Geofísico, en el que se hacen los estudios superiores de Meteorología.

Seguiré el mismo orden en el que fueron adquiridos los conocimientos.

En el Instituto Meteorológico de Oslo, dirigido por el Dr. Hessellberg, se adquirieron dos grupos de ideas fundamentales: fué el primero el resultante de las con-

versaciones con el Dr. Evjen, con el que se practicaron especialmente los métodos de *diagnosis frontal* corrientemente usados en Noruega; el segundo fueron las nuevas concepciones sobre la Termodinámica atmosférica, debidas al Dr. Refsdal.

El Dr. Evjen, con una modestia verdaderamente admirable en sus explicaciones, facilitó toda clase de detalles respecto a los métodos que se emplean en este Instituto en la formulación de cartas, manifestando que era lamen-

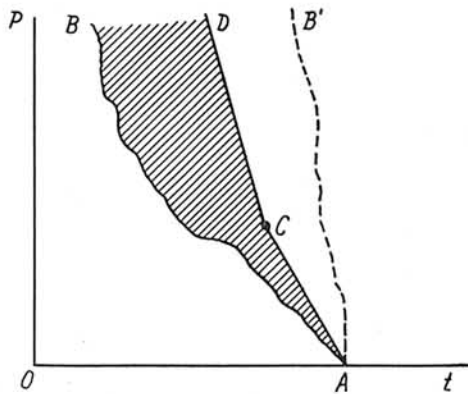


Fig. 1.

table la ausencia del Dr. Bergeron, verdadero especialista en la materia.

El Dr. Refsdal expuso con suma amabilidad sus concepciones sobre la energía de la atmósfera.

Partiendo, al efecto, de la ecuación vectorial de la energía

$$\frac{dq}{dt} = c \frac{dT}{dt} + \frac{d\left(\frac{1}{2}v^2\right)}{dt} + \frac{d\psi}{dt} + z \operatorname{div}(\rho \bar{V}) - z \bar{R} \bar{V},$$

cuyo primer miembro representa la cantidad de calor que se añade a una masa de aire y cuyo segundo miembro se compone de los términos debidos a las energías interna, cinética, de posición, trabajo exterior y rozamiento, llega a concretar el conocimiento de la energía disponible en la atmósfera mediante lo que llama «coeficiente de labilidad» de valor $\frac{T_1' - T_1}{T_1}$, siendo T_1 la temperatura absoluta actual de una masa de aire y T_1' la correspondiente a su expansión adiabática, y asimismo el «coeficiente de hidrolabilidad» de valor $\frac{T_1'' - T_1}{T_1}$, en el que T_1'' es la temperatura correspondiente a la adiabática de condensación.

Precisamente esos coeficientes, multiplicados por g , aceleración de la gravedad, dan la acción por unidad de masa que la atmósfera ejerce sobre el aire para determinar su movimiento vertical ascendente cuando la temperatura es T_1 .

Una figura aclarará completamente las ideas expuestas: los ejes t y p representan, respectivamente (fig. 1.^a), las temperaturas y alturas; la curva AB representa la temperatura real existente en una masa de aire; la curva ACD

es la adiabática seguida por una masa de aire al elevarse desde el suelo; AC adiabática seca; CD adiabática de condensación, cuando empieza ese fenómeno en el vapor de agua que lleva disuelto el aire; resultando que si una masa se eleva, por cualquier causa, continuará su ascensión acelerada, puesto que irá encontrándose siempre más caliente y, por lo tanto, más ligera que la masa que la rodea; si la figura se hace en un papel termodinámico de Stüve o análogo, con escala lineal para las temperaturas y logarítmica para las presiones que equivalen a alturas, el área rayada representa la energía que por unidad de masa puede liberar la atmósfera en esas condiciones, llamándose por eso la figura emagrama, mientras que si la calidad de las escalas fuese invertida resultaría el llamado evo-grama, que indicaría energía por unidad de volumen.

Se ve fácilmente que si la temperatura real existente fuese tal como AB' , no habría energía disponible en la atmósfera, sino al contrario, debería gastarse energía si se habían de tener movimientos verticales.

Estas consideraciones sirven de base para distinguir dos calidades de aire respecto a una región dada: *aire tropical* y *aire polar*; el primero tiene su energía disponible en las altas capas de la atmósfera en donde el enfriamiento por radiación en la capa de 8.000 metros, según ha demostrado recientemente Albrecht, determina un estado lábil en esas capas, mientras que el segundo, calentándose por la parte inferior, al perder latitud, es en las capas inferiores donde manifiesta su energía; el primero es poco sensible a las influencias orográficas y está fuertemente estratificado en su zona inferior; el segundo, al contrario, el menor desequilibrio ceba un movimiento vertical importante; en el primero predominan las nubes superiores y las de forma de St ; en el segundo, las debidas a corrientes ascendentes o de forma Cu y $Cu-Ni$; en el primero, la lluvia, si la hay, es del género llovizna menuda y continua, mientras que en el segundo las precipitaciones son siempre en forma de chaparrones y aguaceros.

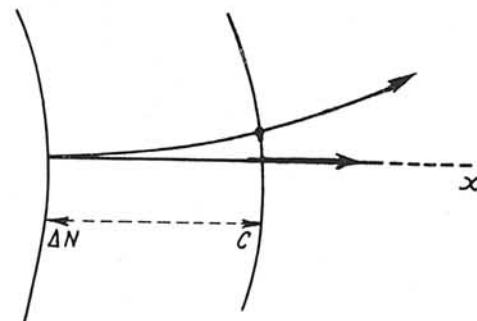


Fig. 2.

Pero además, mediante esta teoría de la energética vertical que pudiera decirse de la atmósfera se llega a conclusiones muy notables.

Si se imagina una masa de aire, que por ser lábil inicia un movimiento ascensional, los fenómenos que ocurren en la atmósfera son muy distintos, según que se suponga o no la Tierra sin rotación.

En una Tierra inmóvil no habría obstáculo ninguno a la

ascendencia del aire; las masas inmediatas rellenarían sin dificultad el espacio dejado libre por la primera; toda la energía disponible en la atmósfera se emplearía casi íntegramente en el movimiento vertical.

Pero si la Tierra está en rotación, las masas inmediatas no se pueden mover sin estar sometidas a la fuerza de *Coriolis* o *geostrófica*, cuya acción es desviarlas a la derecha, en el hemisferio Norte, y a la izquierda, en el Sur, y entonces, al estar dificultada la sustitución de masas, lo está la ascendencia; se produce un descenso de presión y movimientos *extensos* horizontales, tanto más cuanto mayor sea esa fuerza desviante, resultando que ahora la energía no se emplea casi toda en movimientos verticales, sino, al contrario, casi más especialmente en la caída de presión y movimientos horizontales.

Tanta es la diferencia de uno y otro caso, que en el primero, los dos tercios de la energía se invierten en movimientos verticales, y en el segundo, sólo un sexto se invierte en estos movimientos, que tienen así mínima importancia.

Si se piensa ahora en que la fuerza de Coriolis es proporcional a la latitud, se ve que, en las regiones ecuatoriales, esa fuerza es nula, y los fenómenos serían los mismos que si la Tierra estuviese inmóvil, mientras en las regiones extratropicales los fenómenos ocurrirán del segundo modo explicado, con tanto más efecto horizontal cuanto mayor sea la latitud, quedando explicado así el aumento de proporciones de los ciclones durante su marcha hacia las regiones polares.

Se llega de este modo, naturalmente, al carácter del tiempo en las regiones tropicales; a explicar la segunda o la que determina la oscilación barométrica diurna como resultado de la actividad *vertical* de la atmósfera, y, final-

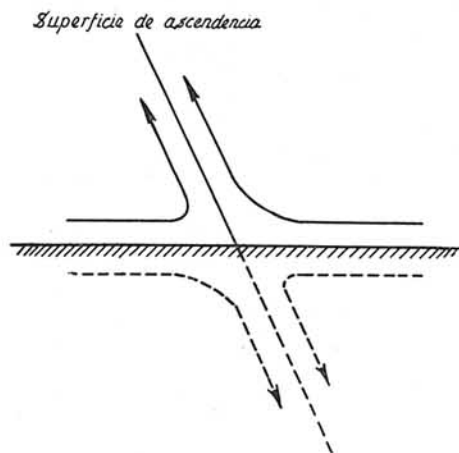


Fig. 3.

mente, a un nuevo concepto de la circulación general atmosférica terrestre, que será la consecuencia, no de la *distribución horizontal* de temperaturas, sino de la *diferente distribución vertical* de ellas en las distintas latitudes.

Así terminamos las ideas obtenidas de las conversaciones con el Dr. Refsdal, únicas que exponemos ahora por ser las que especialmente nos interesan para el tema final.

Pasemos ahora a la visita a Bergen, en donde el jefe del Departamento Meteorológico es el Dr. Petterssen.

Las teorías de la escuela de Bergen, conocidas en el mundo meteorológico desde hace bastante tiempo y formadas por los trabajos de la ilustre dinastía de los Bjerknes, de la que tres generaciones han dedicado su actividad a la dinámica atmosférica, han dado lugar a las más modernas concepciones sobre el conocimiento de la atmósfera; actualmente es el director del Instituto Geofísico de Ber-

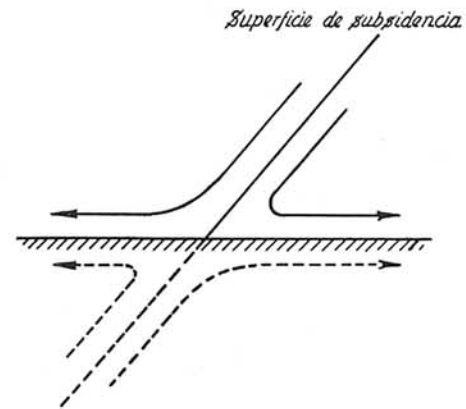


Fig. 4.

gen el Dr. Sverdrup, y en él figura como profesor el Dr. Bjerknes.

Resultado de la permanencia en esta Escuela durante un año del portugués Sr. Gíao, es la publicación de una interesante obra bajo los auspicios de la Oficina Nacional Meteorológica de Francia, titulada *La mecánica diferencial de los frentes*, en cuya obra se establecen interesantes propiedades de previsión para el caso de emplear la diagnosis frontal.

Sin embargo, el establecimiento de propiedades de esta índole, con un criterio verdaderamente práctico, por el Sr. Petterssen, es interesantísimo y es el que se va ahora a indicar someramente.

Se basa en la teoría del movimiento de los *campos escalares*.

Un campo escalar isobárico está expresado por un sistema de curvas dado por,

$$p = f(x, y, t)$$

en la que las distintas isobaras resultarían de hacer $p = p_0, p_1, p_2, \dots$

Pero en ese campo se pueden concebir aún curvas de orden superior de la forma:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = T(x, y, t)$$

en la que haciendo $\frac{\partial p}{\partial t} = T_0, T_1, T_2, \dots$ resultan las *isalobaras*.

En general, una isalobara de orden superior será una diferencial parcial de orden $l + m + n$ presentada por

$$p_{lmn} = \frac{\partial^{l+m+n} p}{\partial x^l \partial y^m \partial t^n}$$

en cuya expresión distintos valores determinados de p_{lmn} darían las diferentes isobaras.

Por otro lado se fijan las consideraciones mecánicas siguientes:

La velocidad de una curva se entiende ser, figura 2.^a:

$$C = \lim \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

si el eje x se toma normal a la curva.

Para la aceleración, por una diferenciación, se obtiene:

$$A = \frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + C \cdot \frac{\partial C}{\partial x}$$

Una serie de transformaciones y cálculos que no se exponen en gracia a la brevedad, permite establecer para una curva cualquiera del campo:

$$\frac{\partial p_{lmn}}{\partial t} + C \frac{\partial p_{lmn}}{\partial x} = 0,$$

de donde:

$$C = - \frac{\partial p_{lmn}}{\partial t} : \frac{\partial p_{lmn}}{\partial x}$$

obteniéndose para A una relación análoga, aunque más complicada.

Así, en el caso de una isobara, en el que $l = m = n = 0$, resulta:

$$C = - \frac{\partial p}{\partial t} : \frac{\partial p}{\partial x},$$

y siendo $\frac{\partial p}{\partial t} = T$ la tendencia o variación barométrica en

tres horas y $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{h}$ el gradiente que se deduce de una

carta de isobaras por h distancia normal entre ellas, resulta la sencillísima fórmula

$$C = - Th$$

para velocidad de una isobara, de grandísima utilidad para una previsión.

Después, las reglas de mecánica permiten hallar la velocidad de rotación, la aceleración, y, análogamente, la velocidad y aceleración de las isobaras.

Procedimientos análogos dan las velocidades y aceleraciones de una línea de turbonadas, de una dorsal anticiclónica, de un frente, de un centro depresionario, y esta última, combinada con la velocidad de relleno o ahondamiento, permiten hacer previsiones de exactitud extraordinaria, siempre, como es natural, que los datos de las cartas sean procedentes de observaciones concienzudas.

Igualmente son interesantísimos elementos de previsión los factores de *frontogénesis* y *frontolisis*, que el Sr. Peterssen ha encontrado, todo ello de gran utilidad práctica por estar basado en datos de presión, que son los que se pueden determinar más exactamente y con menos coste.

Otro punto tratado, también interesantísimo, es el de

la composición del viento real, como resultado del viento *geostrófico* y del viento *isalobárico*, que permite, con los principios de convergencia y divergencia de vientos, basados en los núcleos de isobaras, explicar, de un modo clarísimo, las reglas empíricas de Guilbert, y hacer así previsiones mucho más seguras, como basadas en reglas *racionales*.

Y cuando menos se esperaba, el encuentro con el Dr. Bergeron, que en sus vacaciones aprovechaba el tiempo estudiando en la escuela de Bergen, permitió la adquisición de un nuevo grupo de ideas interesantísimo para la previsión, mediante la aplicación a la atmósfera de la teoría de la *deformación* de los *medios continuos*.

Demostrado que en la atmósfera, en los *macromovimientos* no hay variación de volumen, resulta que la *deformación* ha de ser tal, que las *lineales* de los tres ejes no sean del mismo signo: ha de haber o una extensión y dos contracciones, o una contracción y dos extensiones; en cualquier caso, los planos del medio, fuera de casos de excepción, tienden siempre a colocarse, a consecuencia de la *deformación*, *normales al eje* de la *máxima contracción*.

Por consiguiente, un movimiento de *deformación* en un medio que sea heterogéneo, en el que *existan* verdaderamente planos de diferenciación en lo que se refiere a temperatura, planos que pueden ser los de igual *temperatura potencial*, tendrá como consecuencia la disposición de esos planos normalmente al eje de la *máxima contracción*.

Si es un movimiento con ascendencia cuyos ejes pueden suponerse: uno, el terreno, y el otro, inclinado a consecuencia del incremento de viento con la altura (en realidad se trata de medio sistema), figura 3.^a, entonces tiende a formarse una acumulación de discontinuidad de temperatura paralelamente al plano de ascendencia, es decir, la situación sería de *frontogénesis*, puesto que se acentuaría la discontinuidad.

Si se trata de un movimiento con superficie de *subsistencia*, figura 4.^a, entonces la acumulación de discontinuidades sería en dirección horizontal: la situación sería de *frontolisis*, es decir, de disolución de fenómenos frontales, y en cambio habría *inversio génesis*, presentándose inversiones.

Bien es sabido el gran valor de previsión que tienen las consecuencias indicadas.

Igualmente queda explicado por qué un *punto neutro*, en diagnosis cinemática o *collado barométrico*, es siempre situación apropiada para la formación de depresiones, puesto que equivaliendo a una *contracción* y una *extensión*, se estará en el caso de *frontogénesis*.

Y dando, con estas ideas, por terminada la exposición de lo más interesante que se ha recogido en el viaje, se va a hacer aplicación de ello a un asunto de palpitante actualidad: el viaje Cuba-Méjico del avión *Cuatro-Vientos*.

Se toma como base para *diagnosticar* el tiempo la carta del Atlántico correspondiente a *1h T. M. G.* del día 20 de junio formulada con los datos recogidos por el Servicio de Protección del Vuelo.

En ella se han marcado los frentes y la separación de masas frías y calientes, viéndose que toda la nación de Méjico, con el Golfo de este nombre, estaban ese día bajo la acción de una invasión de aire polar, como lo demuestra:

- 1.º La diferencia de 10 grados y más de ambos aires.
- 2.º La dirección de los vientos.
- 3.º El ciclón de los 61º L. y 45º l. ya *ocluido*, indicando una masa fría muy enérgica.
- 4.º El ciclón anterior a éste con sector caliente de poca amplitud.
- 5.º La presencia de un anticiclón en las regiones subpolares al Norte de los Estados Unidos.
- 6.º Otras zonas de alta en el Golfo de México.
- 7.º El régimen de tormentas que venía desarrollándose.
- 8.º Que el régimen de lluvias fuese de menos intensidad en la costa del Pacífico, donde, supuesta la invasión dicha, el régimen de Föhn explica esa diferencia.
- 9.º Las isanomales de temperatura dadas en el Boletín de la nación mejicana.

En estas condiciones se comprende que el régimen había de ser de inestabilidad, con nubes tipo *Cu* y *Cu-Ni*, por asociarse el efecto tropical, y el de un aire polar sobre regiones continentales soleadas; ese régimen sería muy intenso sobre estas regiones continentales, y, como se comprende, las horas en que habían de manifestarse con más intensidad los fenómenos de aguaceros, serían las de las primeras de la tarde.

Si ahora se piensa en que el paso del avión *Cuatro Vientos* está perfectamente comprobado sobre Carmen antes de mediodía, como corresponde a la velocidad y hora de salida; en que a las doce se señala una tormenta en Villahermosa que se acercaba en dirección N. N. E.; en que ha aparecido una cámara de automóvil que iba en el *Cuatro Vientos* en la desembocadura del Río Chiltepec; en que es muy admisible que el avión tomase el rumbo hacia Veracruz desde Carmen, cortando sobre el mar, dado que verían los nublados sobre tierra; en que salieron de Villahermosa aviones mejicanos al encuentro del *Cuatro Vientos* y hubieron de volverse por el mal tiempo; si se reúnen todos estos elementos de juicio, hacen pensar que la causa de la desaparición del *Cuatro Vientos* es el haberse sumergido en el mar por la acción de una tormenta, ya que en estas tormentas se desarrollan efectos dinámicos—como se demostraba en el trabajo que presenté al Congreso de Seguridad Aérea de París en 1930—suficientes para hacer caer un avión.

El que las corrientes del Golfo sean en la región considerada de dirección Este, justifican también la aparición de la cámara en relación con el lugar de caída que se supone.

Con todo ello creemos suficientemente explicada la desaparición de los malogrados aviadores Barberán y Collar, que, a nuestro juicio, fueron víctimas de un arrojito sin límites ante los elementos invencibles de la Naturaleza.

Un brillante vuelo de la escuadra número 1

CON motivo del traslado a Valencia de los restos del *Ceximio Blasco Ibáñez* había de marchar a dicha capital, para rendirle honores en representación del Arma de Aviación, la escuadra número 1, de guarnición en Getafe y León. El jefe de dicha escuadra, teniente coronel Camacho, quiso aprovechar este desplazamiento para que las unidades realizaran diversos ejercicios de orden militar y, con este objeto, señaló, a cada uno de los grupos que constituyen la escuadra, un tema táctico que debía ser desarrollado en ruta. El grupo de reconocimiento estratégico número 31 recibió la orden de bombardear Tarragona y Reus, siguiendo desde allí a Valencia; el grupo de reconocimiento número 21 tenía como objetivos para sus tres escuadrillas, bombardear Cuenca y San Clemente y reconocer Minglanilla, y después, el grupo reunido, bombardear Utiel; el grupo de caza número 11 debía montar una línea de vigilancia entre Valencia y Sagunto.

La salida de la escuadra tuvo lugar, en el aerodomo de Getafe, el día 26 del pasado, exactamente a las horas previstas.

El grupo número 31 despegó a las ocho horas y treinta y cinco minutos al mando del comandante Maza, yendo mandadas las escuadrillas por los capitanes Vives y Tourné. A las ocho horas y cuarenta y cinco minutos salió el grupo número 11 mandado por el capitán Aboal, y las escuadrillas por los capitanes Avertano González y Tasso. El grupo número 21 emprendió la marcha a las

nueve horas y quince minutos a las órdenes del capitán Puente, mandando las escuadrillas los capitanes F. Serrano, Jofre y Moreno Miró. La patrulla de Plana Mayor de la escuadra, compuesta por el teniente coronel Camacho, capitán Mejías y teniente Reus, salió, directamente para Valencia, a las dos y media de la tarde.

Todas las misiones fueron realizadas con absoluta exactitud, reuniéndose la escuadra completa en el aeropuerto de Manises, con un total de 78 aparatos. Para descongestionar ese campo, el grupo número 31, se trasladó al aeropuerto de Castellón el día 28.

El día 29, durante la ceremonia del desembarco y conducción de los restos del gran novelista, las escuadrillas volaron durante más de dos horas en formación muy cerrada, efectuando vuelos acrobáticos en formación las escuadrillas de caza.

El regreso a Getafe y León, se realizó por grupos, haciéndolo el día 31 el número 11, y el día 1 los 21, 31 y la Plana Mayor, efectuándose los vuelos de vuelta con la misma puntualidad que a la ida.

Durante todo el viaje las unidades han puesto de manifiesto su perfecto grado de instrucción y sólido entrenamiento, mereciendo ser registrado el hecho de que en el gran número de horas totalizadas, sólo se ha registrado una avería de motor y ningún desperfecto en el material de vuelo, no obstante haberse utilizado dos campos que carecen de instalaciones de toda clase.