

NOTAS DE METEOROLOGÍA

Mapas de humedad específica como auxiliares del análisis del tiempo

Por JUAN BAUTISTA LÓPEZ CAYETANO

Meteorólogo Jefe del Centro del Pirineo Oriental

Preliminares.—En este artículo me refiero al trabajo publicado por Giorgio Fea en la *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, del Ufficio Editoriale Aeronautico de Roma, año V, número 2, abril-mayo-junio 1941-XIX.

La citada publicación sale a la luz bajo la firma de Giorgio Fea, y como resultado de los trabajos verificados en C. M. R. de Lido de Roma, donde dos veces al día, a 8,00 y 19,00 horas, se han trazado durante tres años, por el doctor Montanari y sus colaboradores, los mapas de "humedad específica" en el suelo.

Los autores encuentran los mapas de humedad específica como un poderoso medio auxiliar para el estudio de la distribución de las "masas de aire", introducido por Schinze, de por sí bastante laborioso, y más laborioso e indeterminado todavía si se tiene en cuenta la restricción de observaciones meteorológicas que, en clave internacional, se transmiten y reciben en los países no beligerantes, dificultando de manera extraordinaria un análisis concreto de las masas de aire en los mapas del tiempo, con la consiguiente falta de seguridad en las previsiones.

Estas dificultades actuales en España, donde sólo poseemos datos de las Azores, colonias españolas, Marruecos español, Canarias, Baleares y Península Ibérica, se nos presentan tres veces al día al trazar los mapas de 7,00, 13,00 y 18,00 horas para las previsiones, donde rara vez, y de no tratarse de una masa muy marcada o caracterizada, es imposible delimitarla "à priori", y por tanto, estudiar su evolución y sus efectos, lo que resta eficacia a la previsión, sobre todo si su plazo de validez es superior a 48 horas.

Resumen del método.—Las tentativas de eliminar las alteraciones de temperatura que las masas de aire experimentan en el suelo por inversiones u otros efectos, quedan localizadas con una corrección que se debe dar a la temperatura observada en el suelo, para que la humedad relativa adquiera siempre el mismo valor (con transformación a presión constante). El dato de temperatura que se obtiene llevando la masa de aire a una "humedad de masa" del 70 por 100 resuelve bastante bien el problema propuesto y suministra un dato característico para las diversas masas de aire.

Fundamento teórico.—Entre las variables meteorológicas de una masa de aire determinada que esté sujeta a menos variaciones en el suelo, es una la humedad específica. La humedad específica s es el contenido de vapor en gramos por kilogramo de masa y dada por la relación siguiente con suficiente aproximación:

$$s \approx 623 \frac{e}{p} \approx 6,23 \frac{U \cdot E(t)}{p} \quad (1)$$

donde e es la tensión de vapor en milibares, $E(t)$ tensión del vapor saturado a la temperatura t , U la humedad relativa en % y p la presión en milibares.

Fijeza de la humedad específica y su comparación con otras variables.—Si una masa de aire permanece un cierto tiempo sobre un terreno sobrecalentado por radiación solar o pasa sobre un terreno más caliente que el de procedencia, da lugar a un aumento de temperatura y a una disminución de la humedad relativa, mientras que la humedad específica permanece constante.

Si la masa de aire se estaciona sobre un lugar enfriado, por ejemplo, por radiación nocturna, o pasa por un lugar más frío que el de su origen, nos dará una disminución de temperatura y un aumento de la humedad relativa, mientras que la humedad específica sufre variaciones casi imperceptibles. Únicamente se nota una disminución ligera, de la que corresponde a la masa de aire, si el descenso de temperatura llegara a ocasionar condensaciones en forma de niebla, rocío, llovizna, etc.

Influyen de manera sensible sobre la humedad específica algunas alteraciones de carácter local, siendo sus valores superiores con precipitaciones persistentes e inferiores al verdadero por efecto de corrientes descendentes. Estas variaciones, debidas a las corrientes descendentes (efecto Joehn y algunos casos particulares de subsidencia), se ponen de manifiesto con el trazado del mapa general sinóptico y pueden corregirse o rectificarse durante el trazado teniendo en cuenta los valores de s , modificados por la influencia de niebla o precipitaciones, marcados con sus signos correspondientes por w y W (respectivamente, tiempo pasado y presente).

Como la humedad específica decrece rápidamente con la altura, es evidente que si se presentan corrientes descendentes y las masas altas sustituyen a los estratos bajos, habrá un descenso notable de la humedad específica en el suelo. En los efectos típicos de Joehn sobre una cadena montañosa tendremos a barlovento aumento de nubosidad e incluso condensaciones, mientras que a sotavento habrá disminuido notablemente el contenido de vapor.

La causa más importante de variación de la humedad específica, dando aumento considerable de la misma, es la permanencia o paso de las masas de aire sobre grandes extensiones de mar; pero estas variaciones no deben importarnos, ya que estas variaciones notables de s están ligadas entonces a verdaderas transformaciones de la masa, por lo menos en los estratos bajos, y se trata, por tanto, de caracteres propios adquiridos por la masa, dándonos en tal

caso el mapa de humedad específica utilísimas indicaciones sobre estas transformaciones.

Posibilidades del método.—Los autores han encontrado tanta utilidad en el trazado de estos mapas, que lo efectúan ya diariamente, por lo menos para las cuatro horas internacionales, y se vislumbran posibilidades de deducir la altura del cero y señalar las zonas peligrosas de formación de hielo en las aeronaves, para trazar con más aproximación las isolíneas y fijar la dirección de los vientos en la altura cuando no se disponen de sondeos con globos pilotos, etc.

Aproximación teórica suficiente.—Si suponemos constante la presión e igual a 1.000 milibares, tendremos para la humedad específica una aproximación suficiente y ampliamente comprobada, convirtiéndose la expresión (1) en

$$s \simeq 0,623 \cdot e \simeq 0,00623 \cdot U \cdot E(t). \quad (2)$$

Por otro lado, de la definición de humedad relativa

$$U = 100 \frac{e}{E(t)} \quad (3)$$

se ve que si U fuese constante, $E(t)$ variará proporcionalmente a e . Si sobre la superficie de los mares tiene e una variación regular, también lo será $E(t)$, y, por tanto, también serían regularmente análogas las variaciones de t .

Temperatura y humedad de masa.—Se ha buscado cuál debe ser la variación Δt_m de temperatura que sufre la masa de aire a presión constante, para convertirse en una temperatura t_m tal que con la humedad específica o la tensión de vapor existente, la humedad relativa sea constante en todos los puntos. La nueva temperatura t_m así obtenida se llama "temperatura de masa de aire", y este dato reproducirá la distribución de la masa de aire, aproximándose en general bastante a la temperatura que debe tener la masa de aire si no existieran inversiones, sobrecalentamiento, etc. La humedad tipo a la que se refiere la masa de aire U_m , llamada humedad de masa, es próxima al valor medio diurno y que los italianos refieren al valor del 70 por 100.

Objeciones.—Los autores objetan que no es, ni mucho menos, necesario que las masas de aire tengan en su origen la misma humedad relativa y que, por tanto, el dato de temperatura obtenido, después de la corrección, no sea significativo cuantitativamente; pero para un estudio distributivo de las masas de aire este hecho no tiene ninguna importancia, ya que el referirse a uno u otro valor de la humedad de masa, cambia el valor de la temperatura de masa, pero no su distribución, que es precisamente lo que interesa para conocer la distribución de las diversas masas de aire.

Por lo pronto, el método es sencillo y da buenos resultados y es una primera tentativa muy útil que ya han aplicado para el cálculo de las isolíneas y para la cota de los cero grados.

También prevén mayor utilidad y mayor aproximación a la realidad cuando, una vez identificada la masa, se refiera a la humedad particular de cada masa, según su naturaleza, su historia o vida y la estación del año, con lo que se obtendría un dato de temperatura más próximo al de la propia masa, ideas que ya proponen para un segundo paso de perfeccionamiento.

Cálculo de la corrección y de la temperatura de masa.—Supongamos simplemente por el momento que la tensión del

vapor saturado a una temperatura t es función exponencial de ella por la relación aproximada

$$E(t) = E(0) \cdot 10^{C \cdot t} \quad (4)$$

Esta aproximación es suficiente, ya que los datos que suministra el meteo radiado redondea las temperaturas a grados enteros, y la humedad relativa, en decenas. Aunque c no es constante, vemos en la tabla I que tomando el valor de c correspondiente a los cero grados centígrados se comete un error máximo entre $+30^\circ$ y -30° del 14 por 100.

TABLA I

VALORES DE LA CONSTANTE $C \cdot 10^3$

t	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°
$C \cdot 10^3$	36,3	34,6	33,0	31,7	30,4	29,2	28,1

Despejemos t de la expresión (4), para lo cual pasamos primero a la expresión logarítmica, y tendremos:

$$\log E(t) = \log E(0) + C \cdot t; \quad (5)$$

de donde

$$t = \frac{1}{C} \log \frac{E(t)}{E(0)}; \quad (6)$$

De la expresión (3) podemos despejar $E(t)$:

$$E(t) = 100 \frac{e}{U}, \quad (7)$$

que después de definida la humedad relativa de masa tendremos para ella:

$$E(t_m) = 100 \frac{e}{U_m}, \quad (8)$$

y sustituyendo en ella el valor de e dado por la (7):

$$E(t_m) = \frac{E(t) \cdot U}{U_m}. \quad (9)$$

Queda ahora por determinar el valor de t_m , para lo cual bastará poner en lugar de $E(t)$ dado por (6) el valor de $E(t_m)$ obtenido en (9) del siguiente modo:

$$t_m = \frac{1}{C} \log \frac{E(t_m)}{E(0)} = \frac{1}{C} \log \frac{E(t) \cdot U}{E(0) \cdot U_m} = \quad (10)$$

$$= \frac{1}{C} \log \frac{E(t)}{E(0)} + \frac{1}{C} \log \frac{U}{U_m}, \quad (11)$$

que comparada con la (6) nos dice que:

$$t_m = t + \frac{1}{C} (\log U - \log U_m), \quad (12)$$

o sea:

$$t_m = t + \Delta t_m. \quad (13)$$

Por consiguiente, la temperatura de masa se obtendrá añadiendo a la actual un término correctivo Δt_m , cuyo valor

$$\Delta t_m = \frac{1}{C} \log \frac{U}{U_m} \quad (13)$$

es independiente de la temperatura y que sólo depende de la constante C y de las humedades U (observada) y U_m (prefijada).

Se ve en seguida que Δt_m será positivo o negativo, según que la humedad observada sea mayor o menor que U_m , que en este caso es del 70 por 100.

La tabulación de t_m será muy útil, ya que con los valores redondeados de humedad y temperatura pueden obtenerse y escribirse sobre cada estación, sin esforzar la memoria ni hacer operaciones complicadas, los valores de t_m .

Unidos los puntos de igual t_m , tendremos sobre las isobaras, núcleos de variación, etc., las "isotermas de masa", y, por consiguiente, la distribución de las masas de aire.

La tabla II suministra para cada humedad del meteoro el término correctivo Δt_m , de que hay que afectar la temperatura actual para que ésta se convierta en t_m .

Para C se ha empleado el valor correspondiente a los cero grados centígrados y que es 31,6.

TABLA II

Cifra telegráfica de U...	Valor medio de U en %	HUMEDAD DE MASA EN % (U_m)							
		65	70	75	80	85	90	95	100
		0	97,5	6	5	4	3	2	1
9	92,0	5	4	3	2	1	0	0	-1
8	84,5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2
7	74,5	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4
6	64,5	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-6
5	54,5	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-8
4	44,5	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-10	-11
3	34,5	-9	-10	-11	-12	-12	-13	-14	-15
2	24,5	-13	-14	-15	-16	-13	-18	-19	-19
1	9,5	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-32

Si pusiéramos $U_m = 100\%$ en lugar del 70 %, tendríamos el mapa de las "temperaturas de rocío", que ya se utilizan (N. A. Morsellino, "Evolución del tiempo en el Africa Italiana"; Riv. Met. "Aeron", vol. III, núm. 2, páginas 12 y siguientes. Roma, 1939).

Influencia de la variación de C en el valor de t_m .—Si se quieren tener en cuenta las variaciones de C, que hasta aquí hemos supuesto constante, recurriremos a la fórmula de Magnus:

$$E(t) = E(0) \cdot 10^{\frac{7,45 \cdot t}{235 + t}} \quad (14)$$

donde:

$$C = f(t) = \frac{7,45}{235 + t} \quad (15)$$

convirtiéndose, por tanto, la (12) en:

$$t_m = t + \frac{235 + t}{7,45} (\log U - \log U_m) \quad (16)$$

o sea:

$$t_m = t \left[1 + \frac{1}{7,45} (\log U - \log U_m) \right] + \frac{235}{7,45} (\log U - \log U_m) \quad (17)$$

que comparada con la (13) nos da sucesivamente:

$$t_m = t \left(1 + \frac{\Delta t_m}{235} \right) + \Delta t_m \quad (18)$$

$$t_m = t + \Delta t'_m \quad (19)$$

En rigor, el término correctivo resulta función de t, suministrándonos la tabla III los valores de $\Delta t'_m$ para $U_m = 70$ por 100.

TABLA III

$\Delta t'_m$

t	U									
	97,5	92,0	84,5	74,5	64,5	54,5	44,5	34,5	24,5	9,5
-30	4,0	3,3	2,3	0,7	-1,0	-3,0	-5,4	-8,5	-12,5	-23,8
-25	4,1	3,4	2,3	0,8	-1,0	-3,1	-5,6	-8,7	-12,8	-24,4
-20	4,2	3,4	2,4	0,8	-1,0	-3,1	-5,7	-8,9	-13,2	-24,8
-15	4,2	3,5	2,4	0,8	-1,0	-3,2	-5,8	-9,1	-13,5	-25,5
-10	4,3	3,6	2,5	0,8	-1,1	-3,3	-5,9	-9,3	-13,8	-26,1
-5	4,4	3,7	2,5	0,8	-1,1	-3,4	-6,1	-9,5	-14,1	-26,7
0	4,5	3,7	2,6	0,9	-1,1	-3,4	-6,2	-9,7	-14,4	-27,3
5	4,6	3,8	2,6	0,9	-1,1	-3,5	-6,3	-9,9	-14,7	-27,9
10	4,7	3,9	2,7	0,9	-1,1	-3,6	-6,5	-10,1	-15,0	-28,5
15	4,8	4,0	2,7	0,9	-1,2	-3,7	-6,6	-10,3	-15,3	-29,0
20	4,9	4,1	2,8	0,9	-1,2	-3,7	-6,7	-10,5	-15,6	-29,6
25	5,0	4,2	2,9	0,9	-1,2	-3,8	-6,9	-10,7	-15,9	-30,2
30	5,1	4,2	2,9	1,0	-1,2	-3,9	-7,0	-10,9	-16,3	-30,8

En esta tabla se observa que no es necesario aquilatar tanto y que basta, por tanto, con la aproximación suficiente de la expresión (12).

Ejemplos de este tipo de mapa.—Los autores dan dos ejemplos: uno, correspondiente al 1 de enero de 1939 a 8,00 horas, y el otro, correspondiente al 1 de agosto de 1939 a 8,00 horas, y presentan por separado y para cada fecha dos mapas: en uno se dibujan las isobaras y frentes, y en el otro, las temperaturas de masa.

Con objeto de que se vea mejor la correlación existente entre la temperatura de masa y la situación analizada, he creído más conveniente superponer las figuras que ellos dan por separado, ya que en la práctica diaria es conveniente trazar las temperaturas de masa sobre el mismo mapa de isobaras.

La figura 1 se refiere al 1 de enero de 1939. Señalo en ella solamente las isobaras correspondientes a los centros de acción. Hay tres núcleos de altas presiones: uno, al NW. de Islandia, otro hacia Finlandia y Rusia, y un tercero, en el N. de Africa. Se señala un centro de altas relativas al N. de Italia. En la figura se dibuja también el centro principal de bajas presiones, cuya posición es exactamente entre las Islas Británicas e Irlanda. Una segunda depresión se extiende desde Grecia a Rumania, pero es de menor importancia.

El trazado de las t_m está hecho de seis en seis grados, habiendo intercalado también la de 15° C. El trazado más conveniente es de tres en tres grados.

En la figura 2 se dibuja la situación correspondiente al 1 de julio de 1941 a 8,00 horas.

En ambas figuras, las zonas sombreadas representan las masas de aire.

Tipos de masas de aire.—Para clasificar cada tipo de masa de aire bastará tener presente las temperaturas correspondientes. Estos valores se distribuyen en la tabla IV.

mente, las objeciones citadas anteriormente, teniendo que efectuar las correspondientes correcciones o desplazamientos de las líneas de igual t_m , según que recorramos zonas de lluvia, nieve, niebla, etc.

Es muy acertada la intención de los autores de iniciar

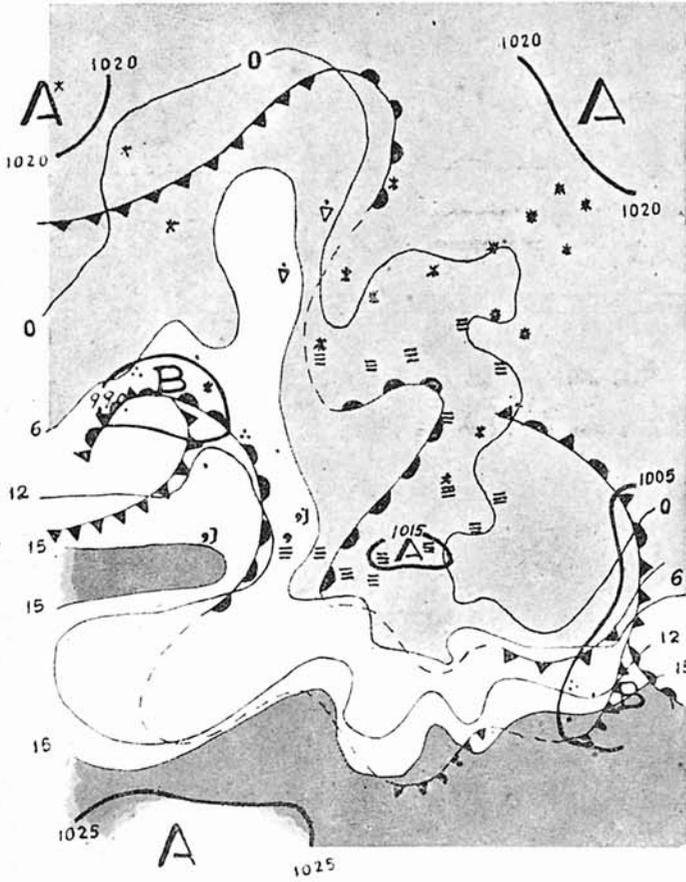


Figura 1.

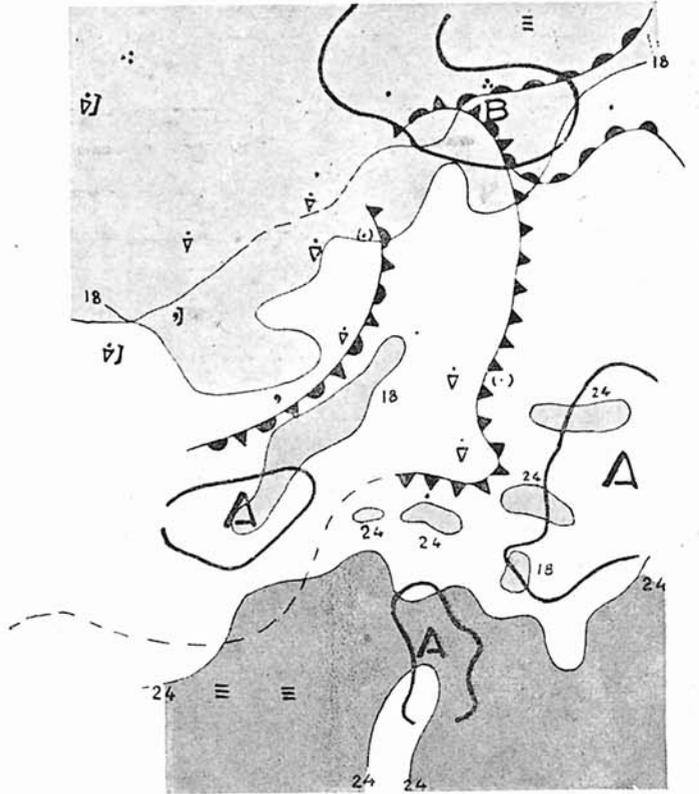


Figura 2.

Signos Convencionales.	
• Lluvia	A Altas presiones
, Llovizna	B Bajas presiones
* Nieve	▼ Frente frío
= Niebla	◡ Frente caliente
∇ Chubascos	◡◡◡ Oclusión.

TABLA IV

	AL	GK	GW	TL
INVIERNO				
Europa central.....	0-3	5-8	9-11	14-16
Mediterráneo.....	3-6	6-9	10-12	14-16
VERANO				
Europa central.....	14-16	17-19	10-20	22-23
Mediterráneo.....	16-18	19-20	20-22	22-25

Conclusiones y observaciones.—El método lo encuentro muy útil para el análisis de las masas de aire, no sólo por lo que los autores han comprobado, sino por haberlo experimentado en mapas del Servicio Meteorológico Nacional.

En la mayoría de los mapas de invierno he notado una correlación muy pronunciada, teniendo en cuenta, natural-

mente, un estudio refiriendo la humedad de masa, no a la que han empleado ahora del 70 por 100, sino a la humedad característica de cada tipo de tiempo.

Creo, por mi parte, que sería también muy útil el estudiar cuantitativamente las correcciones que deben hacerse en el trazado de t_m , según los diversos fenómenos de precipitaciones, efecto Joehn, etc., pues me he encontrado en los mapas que he estudiado anomalías extraordinarias, por influencia orográfica, cuya importancia en nuestra Península no es necesario recalcar.

Los autores hacen notar que para la costa norte de Africa (y tanto más para el interior de esta zona) los datos obtenidos no corresponden a la realidad; hacen notar también que, con respecto al Mediterráneo, hay que tener en cuenta si la masa de aire se ha estacionado o no, pues podría adquirir la masa carácter "mediterráneo" y las líneas t_m responderán a la realidad.

Téngase en cuenta, sin embargo, para todas las estaciones, que las isotermas relativas a la temperatura del agua se deforman hacia el Norte, formando tres máximos típicos: uno, muy amplio, desde la costa africana hacia Baleares, y los otros dos, más estrechos y agudos, en los mares Tirreno y Adriático, por lo cual no deben considerarse como sectores calientes los que aparecen en la vecindad de estas isotermas.