

UNIVERSIDAD DE BARCELONA

FACULTAD DE FÍSICA

EPISODIOS DE LLUVIAS COPIOSAS EN CATALUÑA :
GENESIS, EVOLUCION Y FACTORES COADYUVANTES

Trabajo presentado para optar al grado de
Doctor en Física

por

MARÍA DEL CARMEN LLASAT BOTIJA

Director: Prof. Dr. Manuel Puigcerdà Zanón
Cátedra de Física de la Atmósfera

Febrero 1987

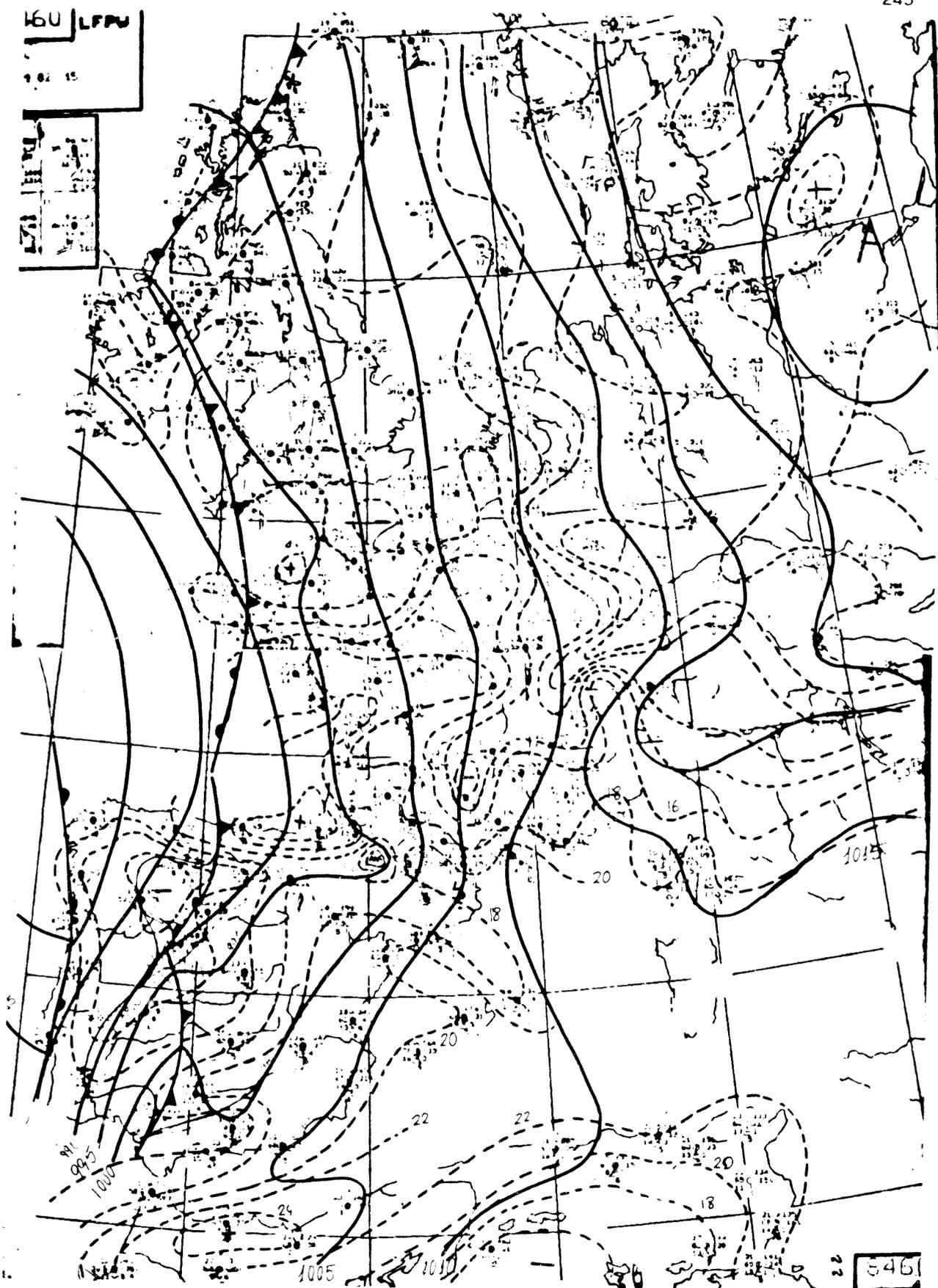


Fig.IV.2.21. Análisis en superficie del 6 de Noviembre de 1982 a 15 TMG

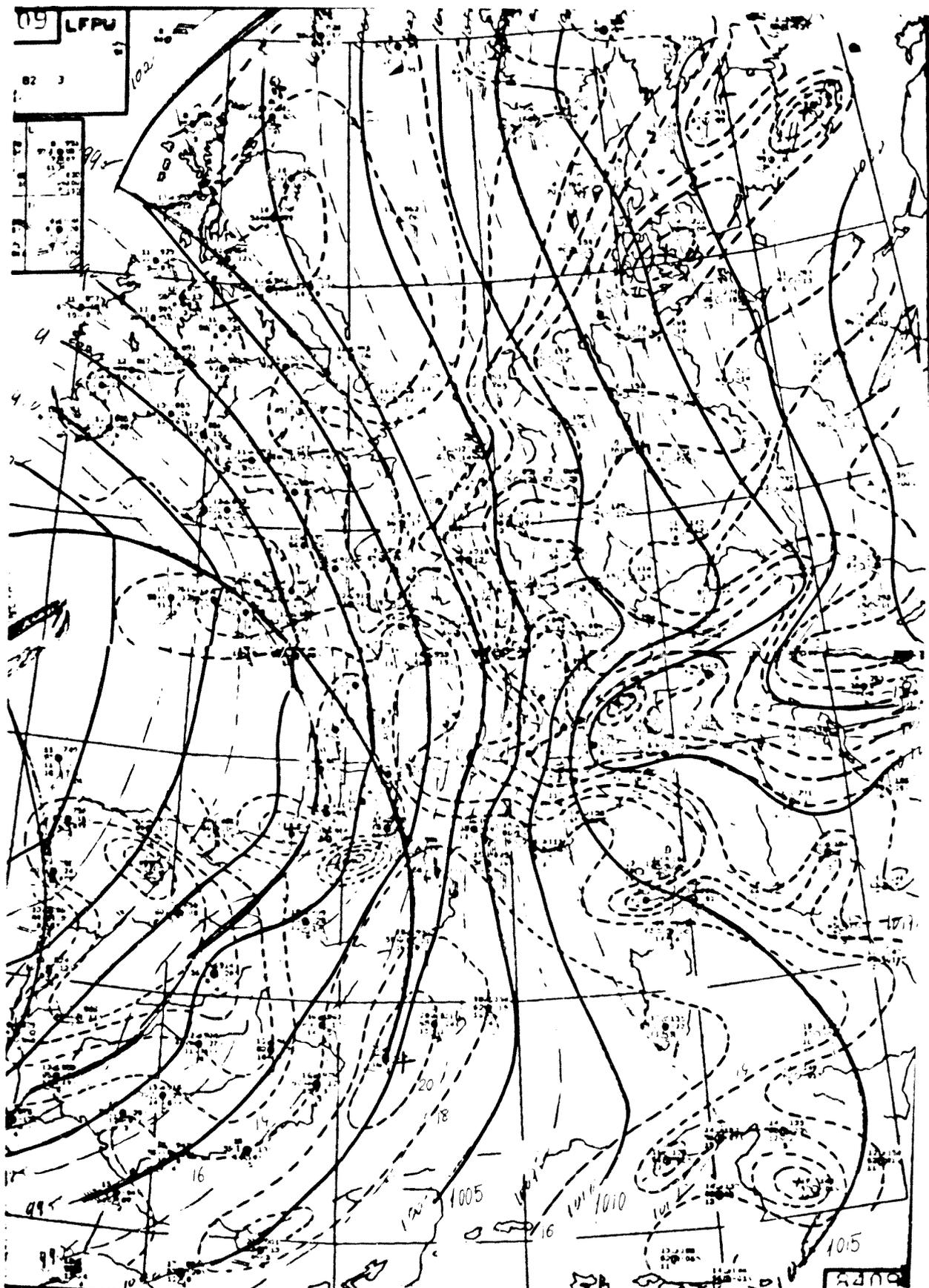


Fig.IV.2.23. Análisis en superficie del 7 de Noviembre de 1982 a 03 TMG

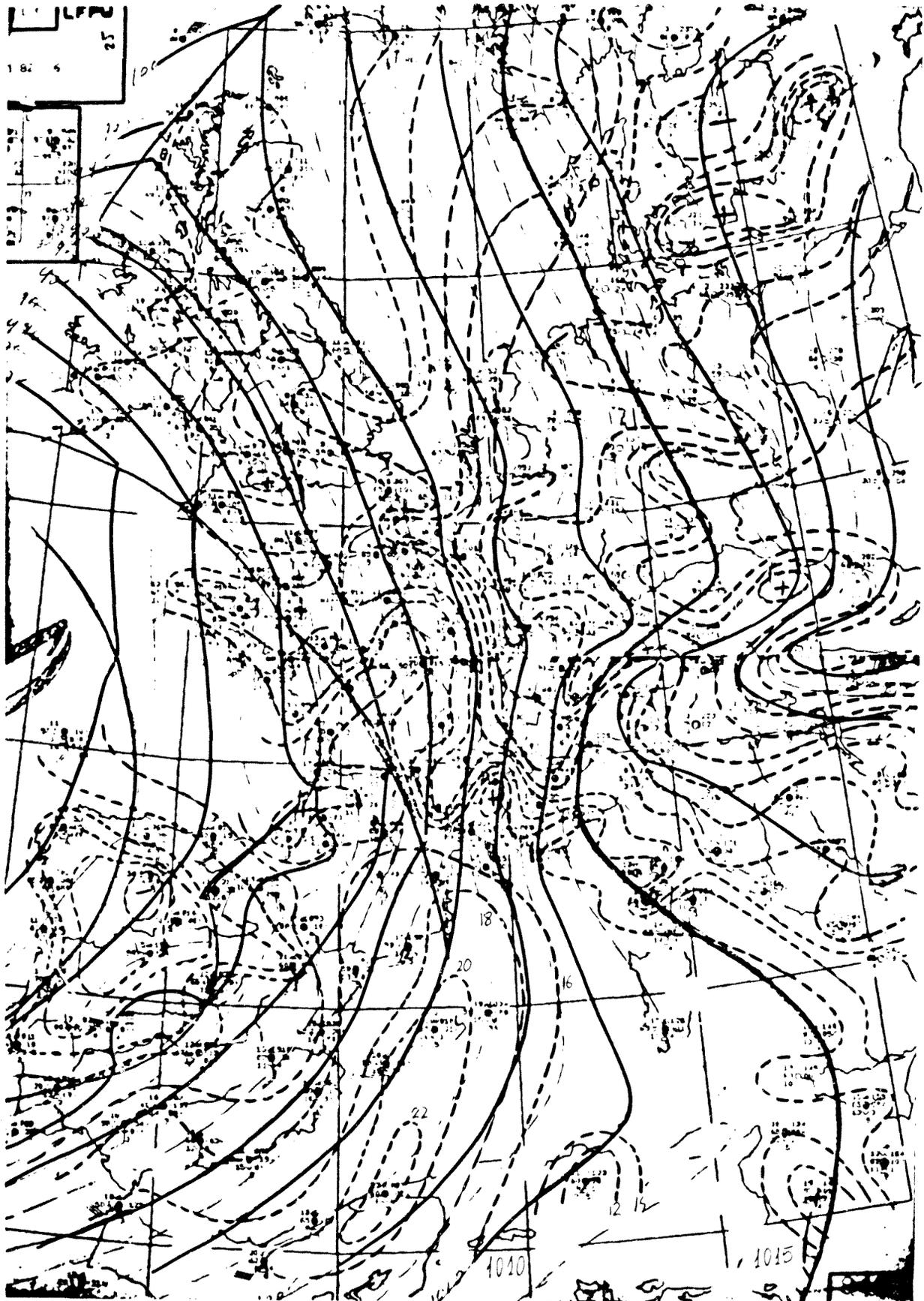


Fig.IV.2.24. Análisis en superficie del 7 de Noviembre de 1982 a 06 TMG

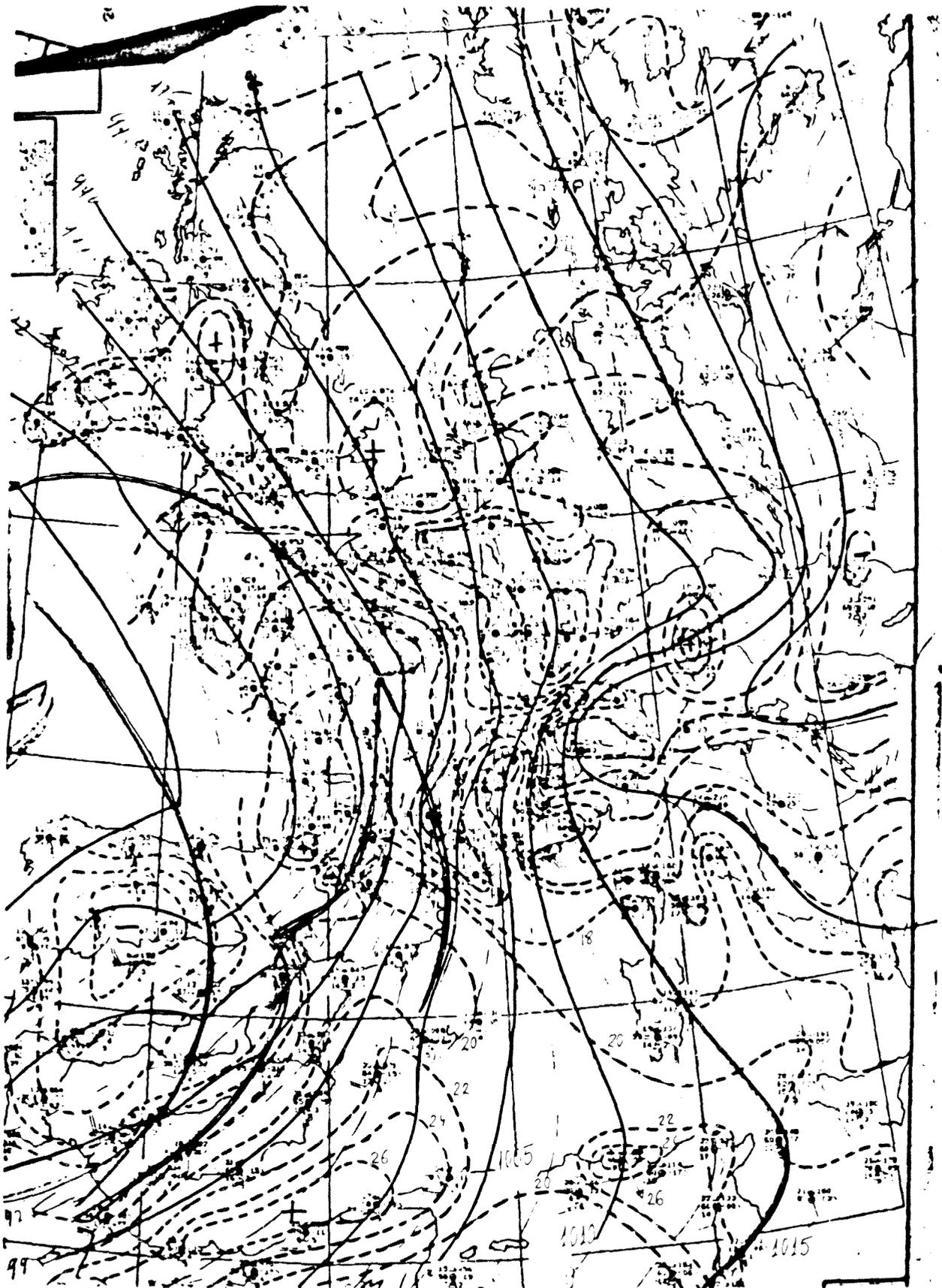


Fig.IV.2.25. Análisis de superficie del 7 de Noviembre de 1982 a 12 TMG

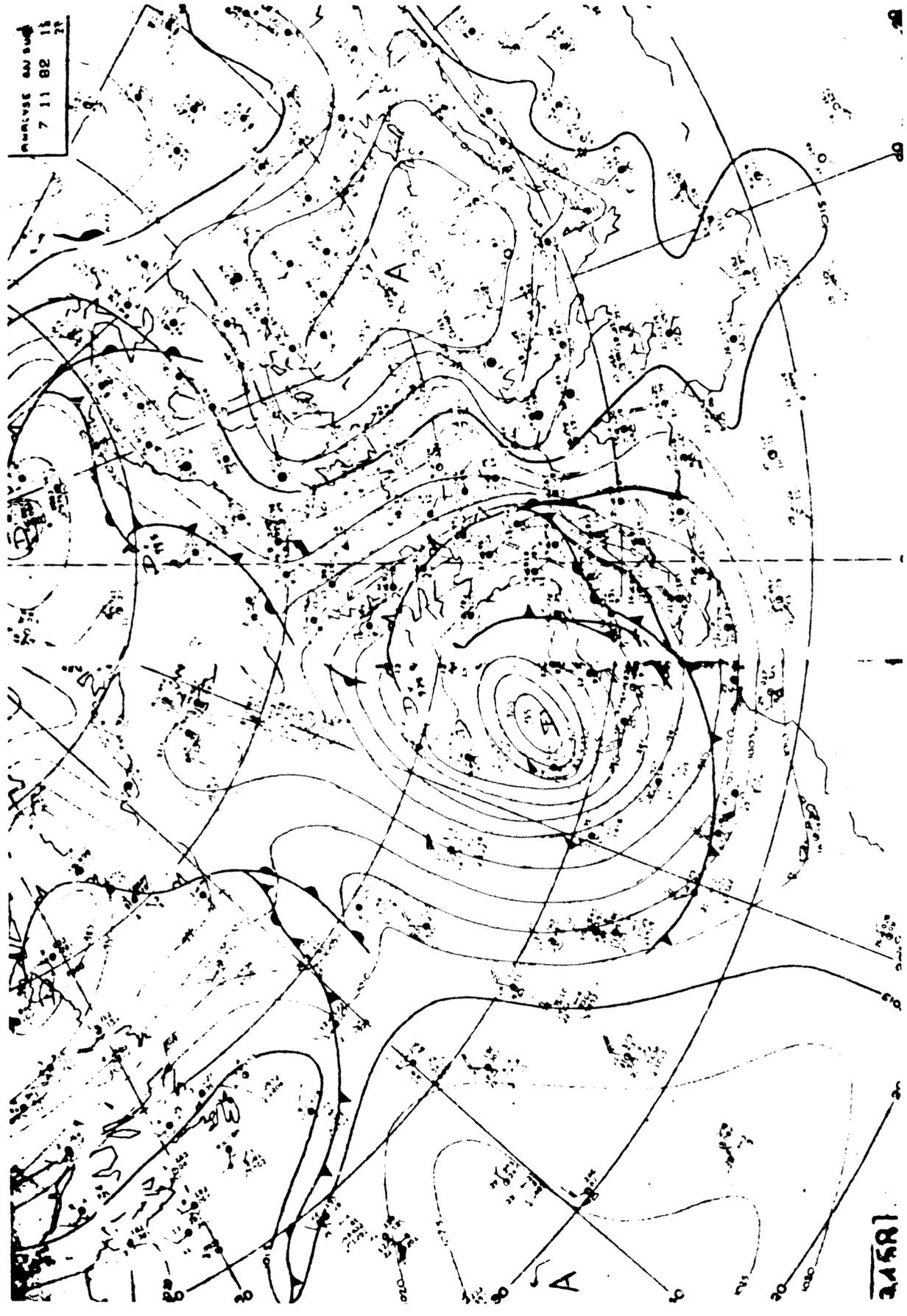


Fig. IV.2.26. Análisis en superficie del día 7 de Noviembre de 1982 a 12 TMG

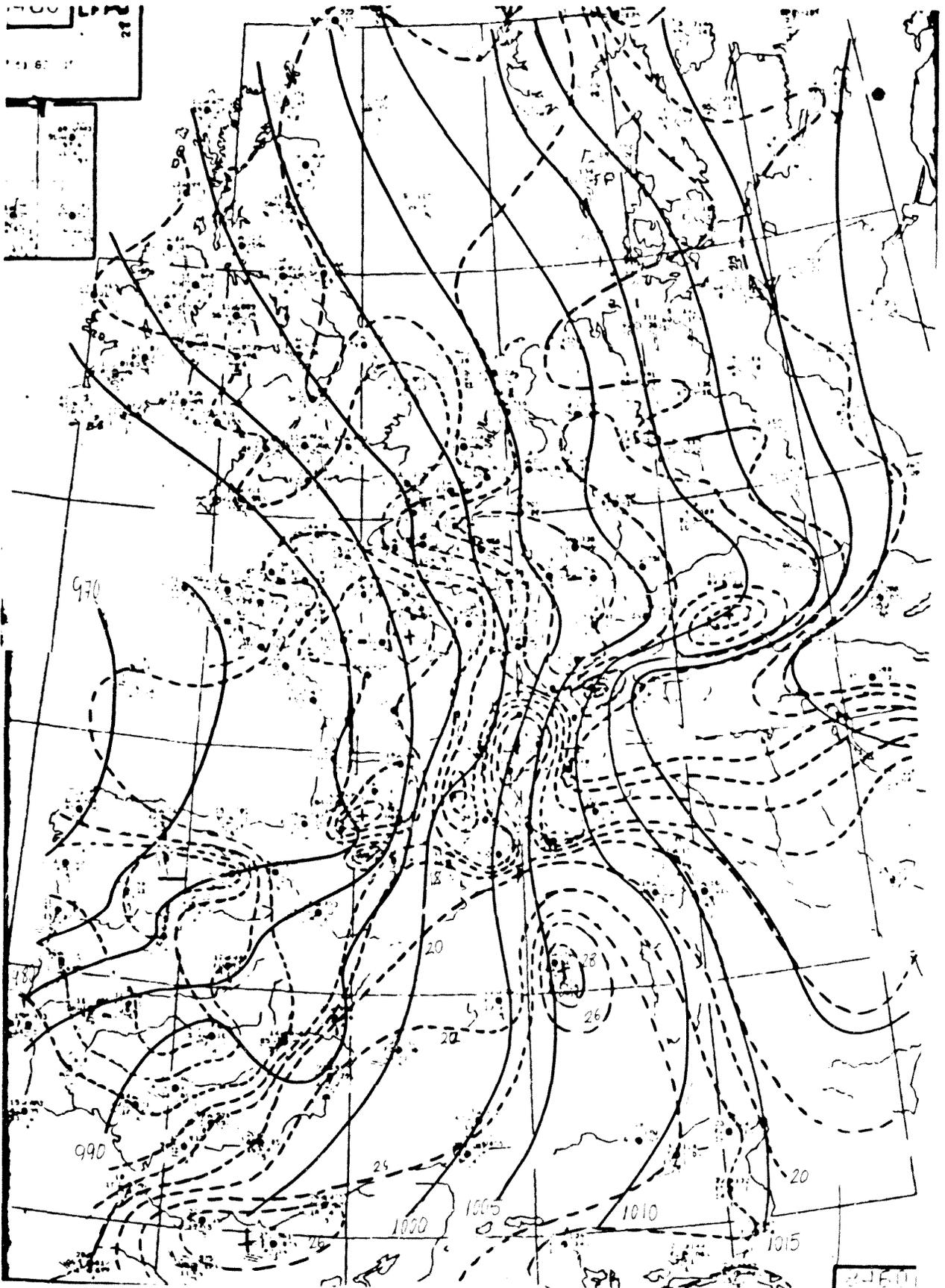


Fig.IV.2.27. Análisis en superficie del 7 de Noviembre de 1982 a 15 TMC

tañosas. En efecto, al llegar a los Alpes, la corriente del Sureste adquiere una componente este muy marcada para poder rodear el obstáculo, en tanto que al Oeste se halla la borrasca de los Pirineos, lo que fuerza una confluencia entre ambos macizos y una aceleración neta del viento del Golfo de León al Macizo Central.

La circulación en torno a la baja arrastra aire frío sobre la parte noroccidental de la Península Ibérica, mientras que en el Mediterráneo se sitúa frente a Levante una masa de aire muy cálido, cuya temperatura se incrementa notablemente a lo largo del día. A las 12 TMG se registran dos máximos de 27°C en el Norte de Argelia, la temperatura en Palma es de 22°C y en Levante y Cataluña oscila entre 19 y 21°C. Obsérvese el notable gradiente de temperatura en dirección Sureste-Noroeste, desde el Norte de Africa hasta la parte noroeste de la Meseta. Asimismo, es importante la penetración de una lengua de aire cálido y húmedo sobre el Pirineo Oriental, que probablemente llega hasta el Atlántico, lo que podría justificar la existencia de las elevadas temperaturas en el Suroeste de Francia (el fuerte gradiente que se observa en el Pirineo Central es debido al dato de la estación situada en el Pic de Midi, por encima de los 3000 m de altura, por lo que no es representativo). La presencia del Macizo Central francés fuerza la bifurcación de la lengua cálida, cuya segunda rama penetra por el valle del Ródano, atravesando el continente hasta el mar del Norte.

La penetración cálida prosigue durante la noche de forma tal que a las 00 TMG del día 8 (fig.IV.2.28) la temperatura apenas ha variado con respecto a 12 horas antes e incluso ha aumentado en algunos puntos.

Durante la mañana del día 8 (figs.IV.2.29-IV.2.31) permanece el anticiclón de bloqueo, aunque el centro de la baja se ha trasladado al Sur de Inglaterra, con 970 hPa, y el anticiclón ha descendido ligeramente en latitud, si bien manteniéndose a 1028 hPa. La rama de aire cálido que atravesaba los Pirineos se ha debilitado, en tanto se ha reforzado la que penetraba en Francia por el valle del Ródano y que llega hasta los Países Bajos. Sobre los Alpes, la advección de aire frío alcanza su máximo. De esta forma, el aire cálido del Sur queda aprisionado entre las lenguas de aire frío que avanzaban desde el Este y el Oeste, lo que, junto al relieve, favorece su ascenso e inestabilización. Al mediodía (IV.2.32-IV.2.33) la masa cálida sobre el Mediterráneo se extiende desde Argelia hasta Cerdeña, sin llegar a penetrar en el con-

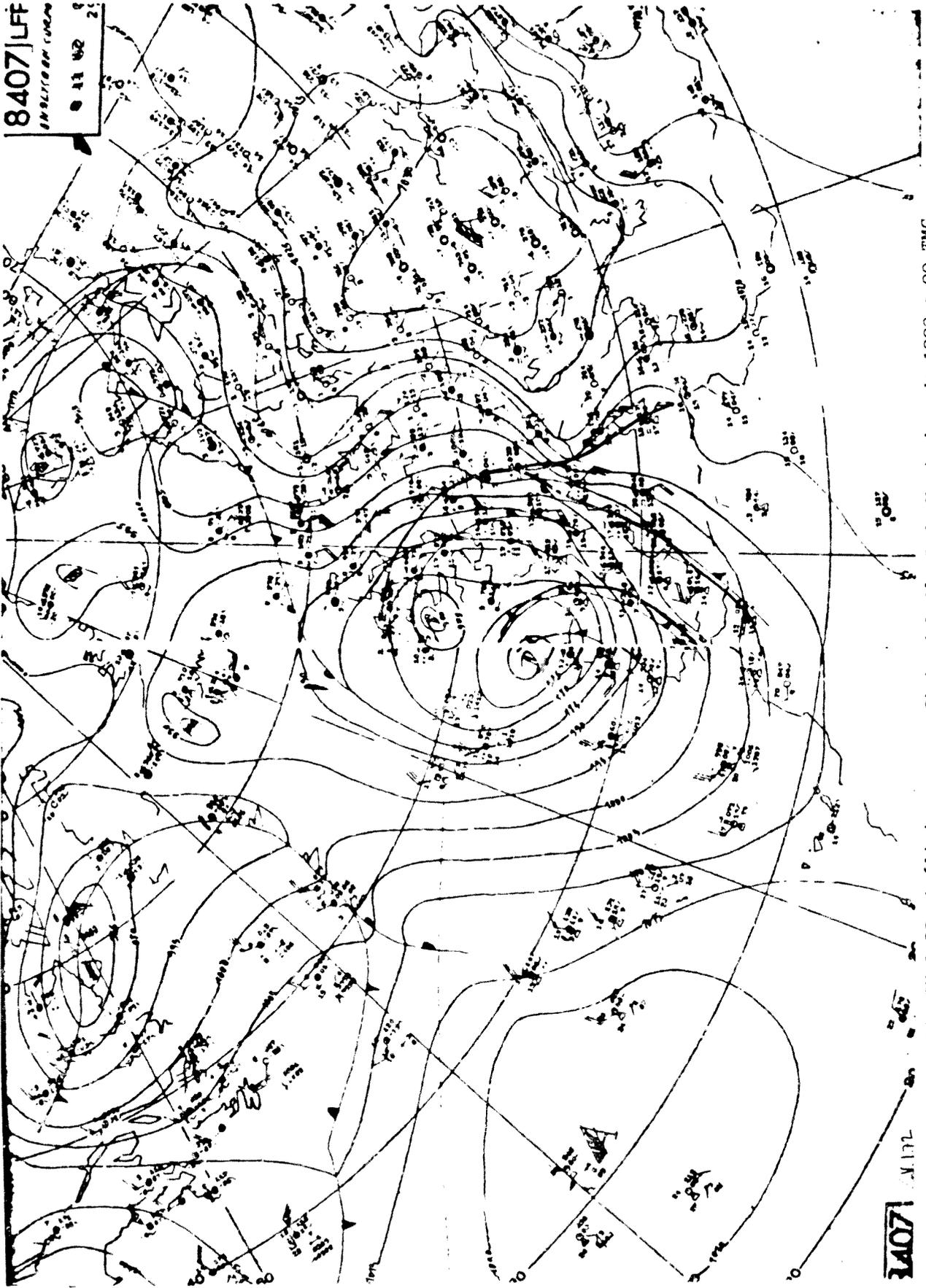


Fig.IV.2.28. Análisis en superficie del día 8 de Noviembre de 1982 a 00 TMG

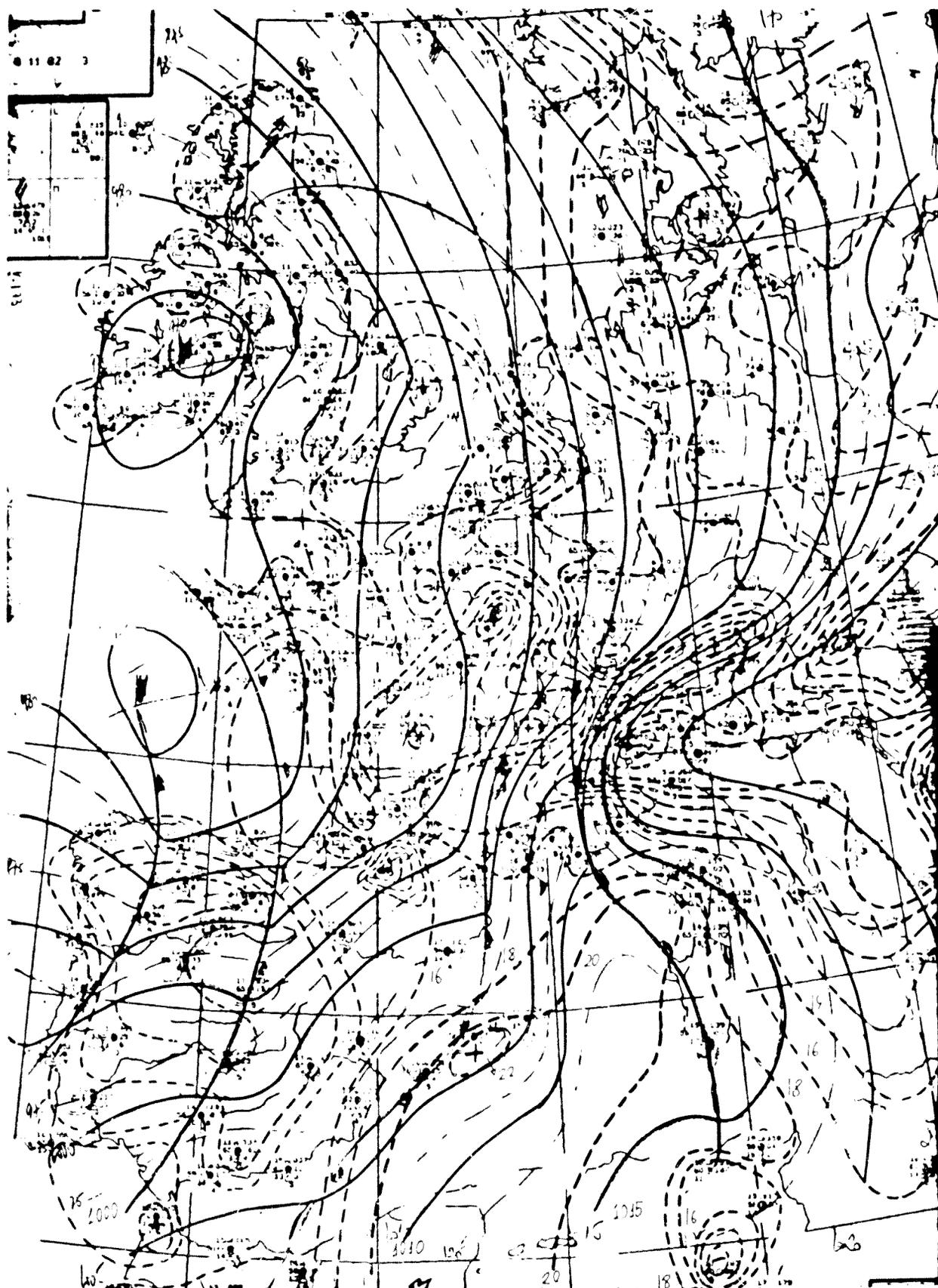


Fig.IV.2.29. Análisis en superficie del 8 de Noviembre de 1982 a 03 TMG

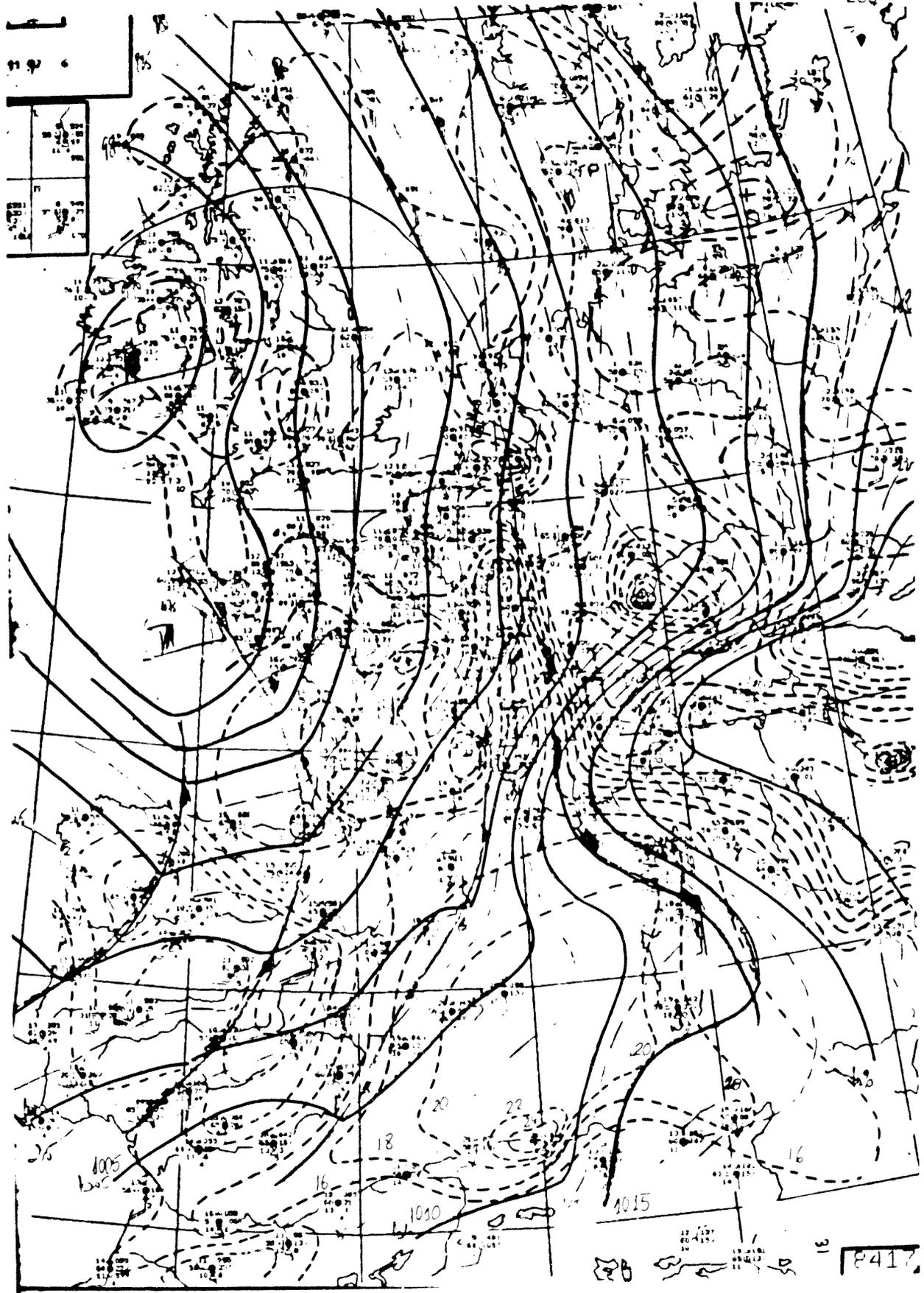


Fig.IV.2.30. Análisis en superficie del 8 de Noviembre de 1982 a 06 TMG

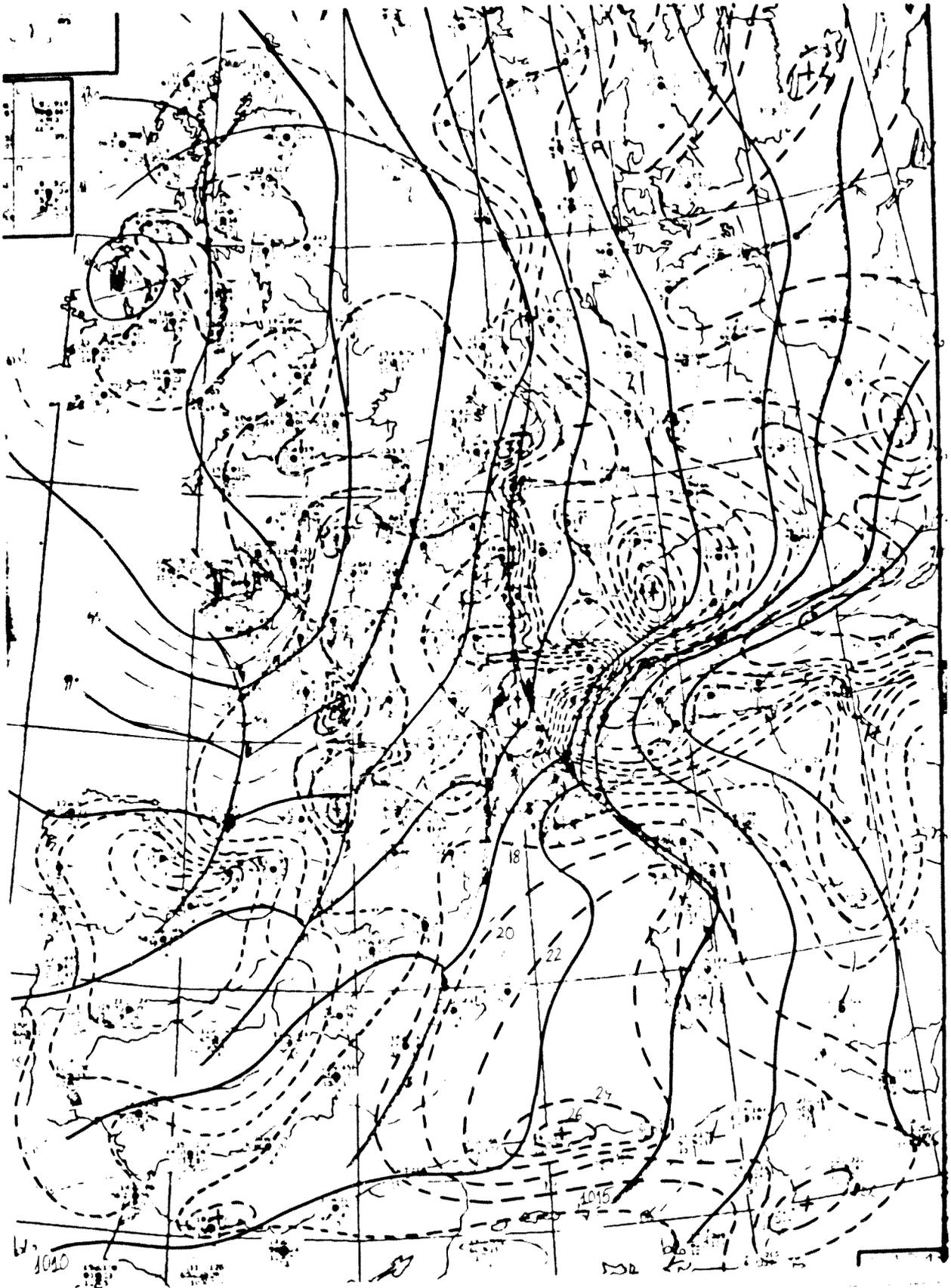


Fig.IV.2.31. Análisis en superficie del 8 de Noviembre de 1982 a 09 TMG

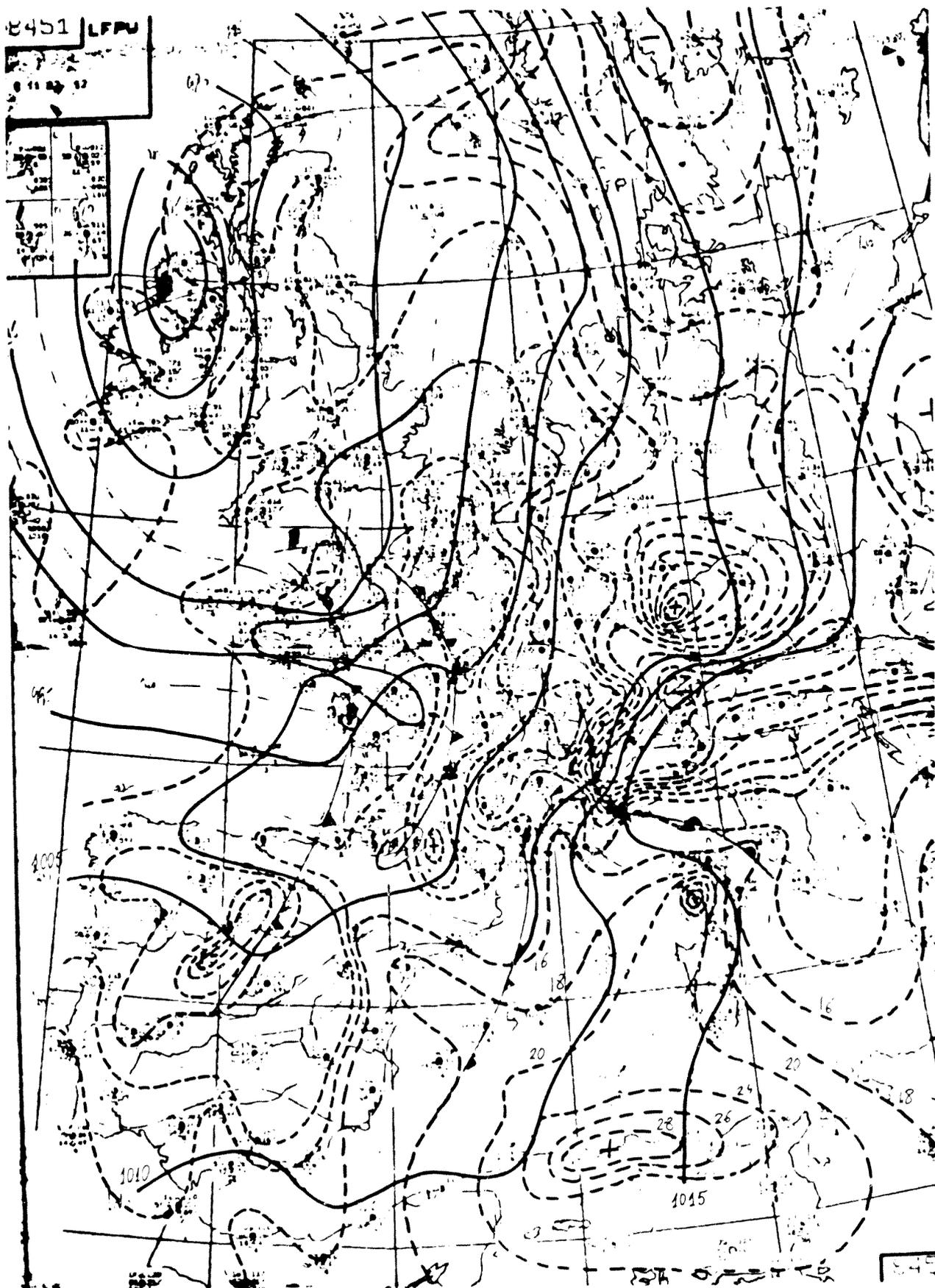


Fig.IV.2.32. Análisis en superficie del 8 de Noviembre de 1982 a 12 TMG

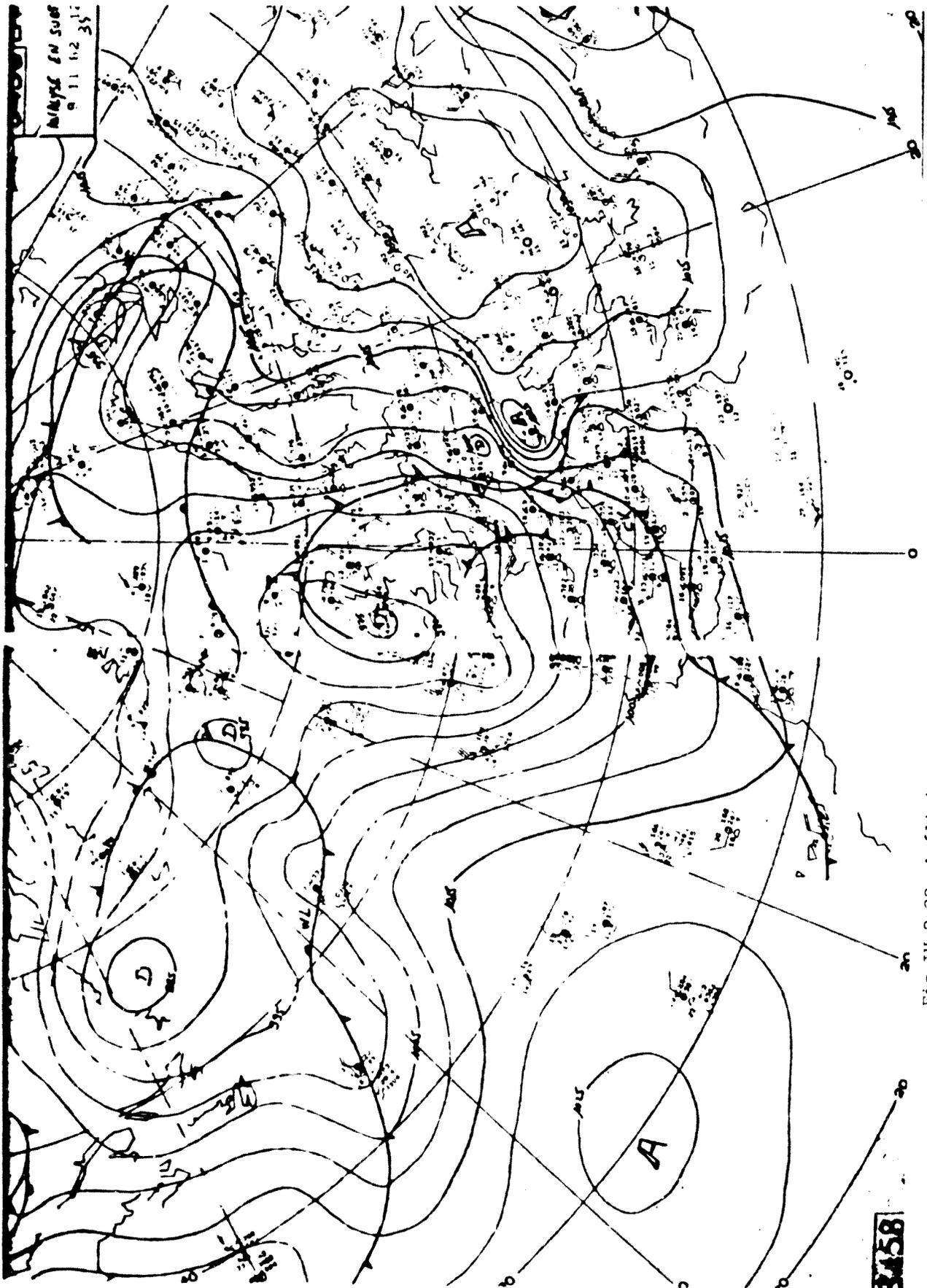


Fig.IV.2.33. Análisis en superficie del día 8 de Noviembre de 1982 a 12 TMG

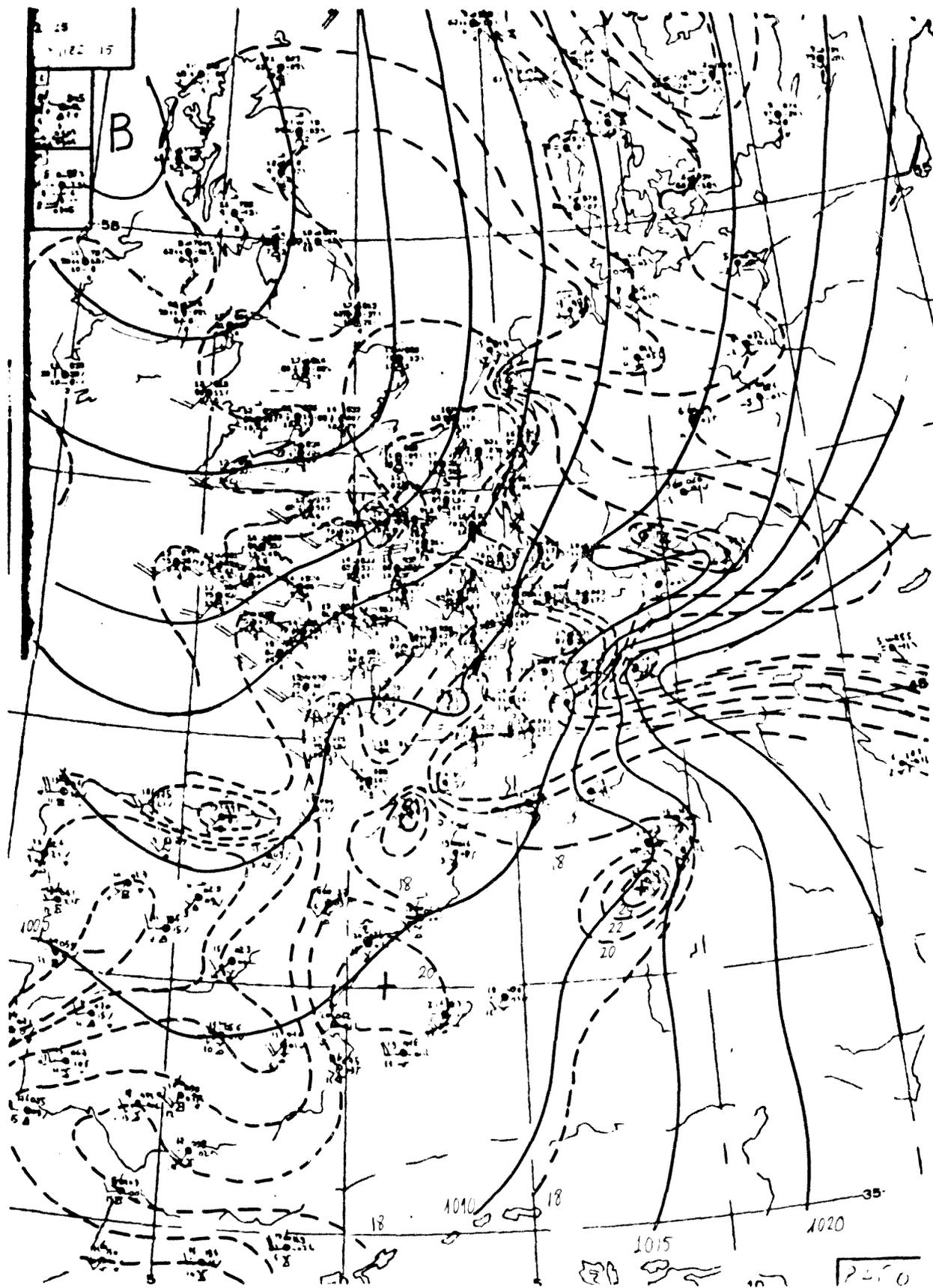


Fig.IV.2.34. Análisis en superficie del 8 de Noviembre de 1982 a 15 TMG

tinente, en donde, sin embargo, todavía quedan indicios del aire cálido. Mientras tanto, el anticiclón se va debilitando paulatinamente.

En este día apenas llueve en el Pirineo, mientras que en el departamento de Orange se inician las precipitaciones hacia las seis de la tarde.

A lo largo de todo el episodio se ha observado una dorsal orográfica muy marcada sobre los Alpes, responsable de la advección de aire frío, y otra en los Pirineos.

La distribución de máximos de temperatura sobre Europa muestra un extraordinario efecto Foëhn, que se llegó a notar a más de 500 km de la línea de crestas. Este recalentamiento del aire tropical del Sureste hizo que se alcanzaran temperaturas entre las más altas registradas en la mitad norte de Francia, Bélgica, Norte de Suiza y Sur de Alemania.

Tabla IV.2.5

Toulouse-Blagnac	23° 9
Constance	22°
Paris-Montsouris	20° 3
Bourges	21° 6
Dunkerque	19° 2
Zurich	21°

El día 9 (fig,IV.2.35) el anticiclón se ha situado al Este de Italia y prácticamente toda Europa se halla bajo el dominio de la borrasca situada al Norte de Escocia, apareciendo una depresión relativa en el Mediterráneo.

En cuanto a la distribución de hidroisotermas a las 12 TMG (figs.IV.2.36-IV.2.44), los días 6 y 7 se observan los máximos valores en la costa catalana, en tanto que el día 8 se han trasladado al Sur de Francia, si bien el más alto se encuentra frente a Argelia. Estos resultados corroboran la penetración de aire cálido y húmedo a bajos niveles generalmente hacia el Noroeste, el día 7, y atravesando por tanto los Pirineos, mientras que al día siguiente ha virado hacia el Norte, penetrando por el Valle del Ródano. Probablemente este cambio de dirección en la corriente general determinó el fin del episodio.

Ninguno de los frentes observados durante el episodio justifican la

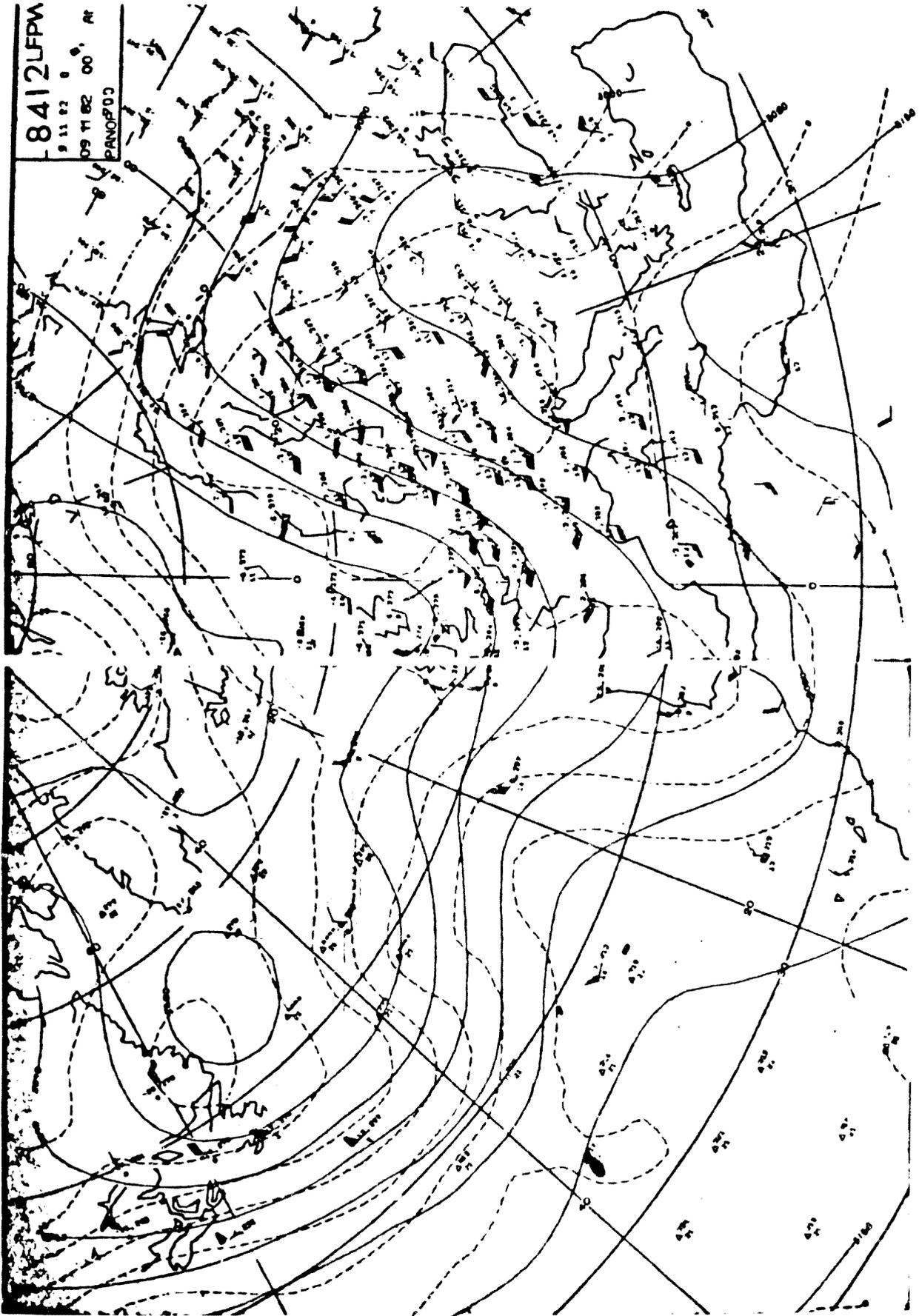


Fig.IV.2.35. Análisis en superficie del 9 de Noviembre de 1982 a 00 TMG



Fig.IV.2.36. Temperatura del punto de rocío en superficie el día 6 a las 12 TMG



Fig.IV.2.37. Depresión del punto de rocío en superficie el día 6 a las 12 TMG



Fig.IV.2.38. Temperatura del punto de rocfo en superficie el dfa 7 a las 12 TMG

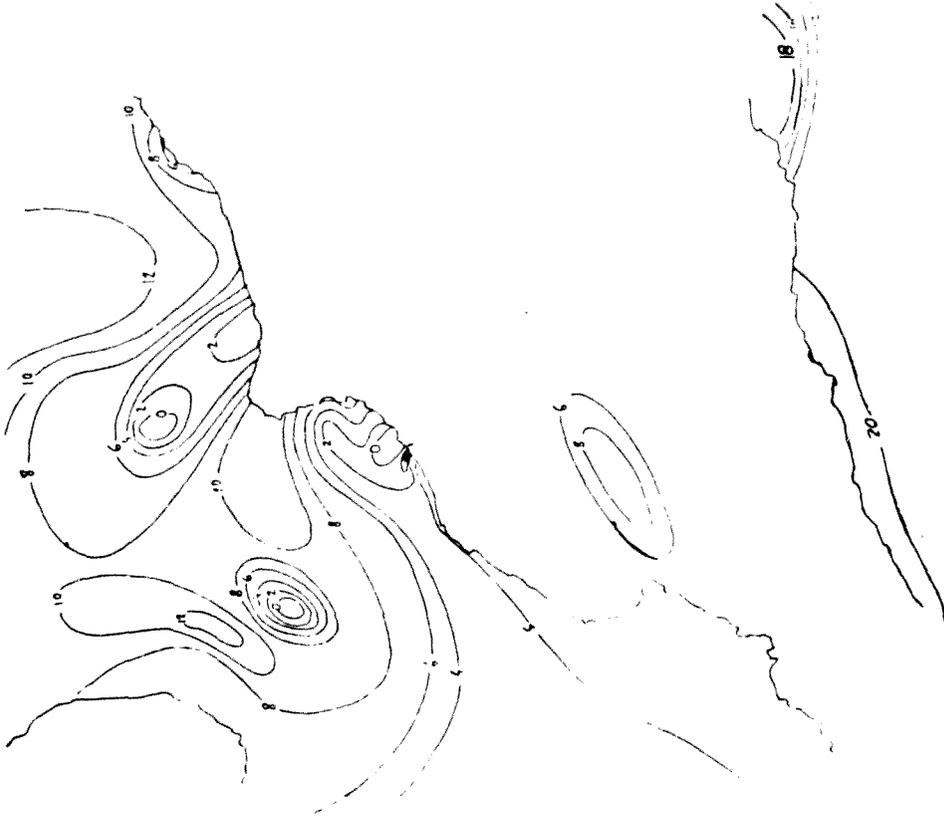


Fig.IV.2.39. Depresión del punto de rocfo en superficie el dfa 7 a las 12 TMG



Fig. IV.2.40. Temperatura del punto de rocfo en super_ ficie el dfa 8 a las 12 TMG



Fig. IV.2.41. Depresión del punto de rocfo en super- ficie el dfa 8 a las 12 TMG

intensidad del fenómeno. La llegada de un frente hacia las 9 de la noche el día 6 favoreció la elevación del aire húmedo, desencadenando el desarrollo de la inestabilidad potencial. La onda frontal asociada a la baja llegó como oclusión fría, pero sobre el mar y la costa se originó el día 7 a las 00 TMG un frente cálido atípico, sobre el Mediterráneo, debido a la penetración mencionada de aire muy cálido.

b. Curvas de evolución de la temperatura, punto de rocío, humedad y presión a lo largo del episodio

Se ha podido disponer de los datos de 8 estaciones completas situadas en Cataluña, proporcionados por el Centro Meteorológico Zonal de Barcelona. Estos datos han sido utilizados para completar los análisis de superficie y analizar la evolución del episodio. Las estaciones mencionadas son: Barcelona (Centro, Fabra, El Prat), Turó de l'Home, Vallgorguina, Figueras, Gerona, Tarragona, Lérida y Vandellós. Lamentablemente, no hay datos de ninguna estación completa en la zona más afectada por las inundaciones.

b.1 Temperatura

Se observa un fuerte decrecimiento en todas las estaciones el día 8 a las 13 h, lo que puede ser debido a la evaporación del agua de lluvia principalmente. Entre el día 6 y el día 8 apenas se nota la variación de temperatura debida al ciclo de calentamiento diurno (fig.IV.2.42).

Con excepción de Figueras y del Turó de l'Home, se observa un brusco aumento de temperatura entre las 7 y las 13 del día 6, lo que, dada la abundante nubosidad (6-8/8) parece debe atribuirse a la advección cálida.

b.2 Temperatura de punto de rocío

La evolución es muy parecida a la de la temperatura, si bien el descenso del día 8 no es tan marcado. En este caso, hay mayor discrepancia entre los valores alcanzados en las diversas estaciones, lo que indica que la humedad sólo fue alta en algunas de ellas. Por ejemplo, en Lérida, donde apenas llovió, la temperatura de punto de rocío casi no varía. El descenso se inicia antes en Vandellós y Tarragona, mientras que en Figueras se registra un aumento, lo que se explica por el viraje hacia el Norte del flujo cálido. (Fig.IV.2.43).

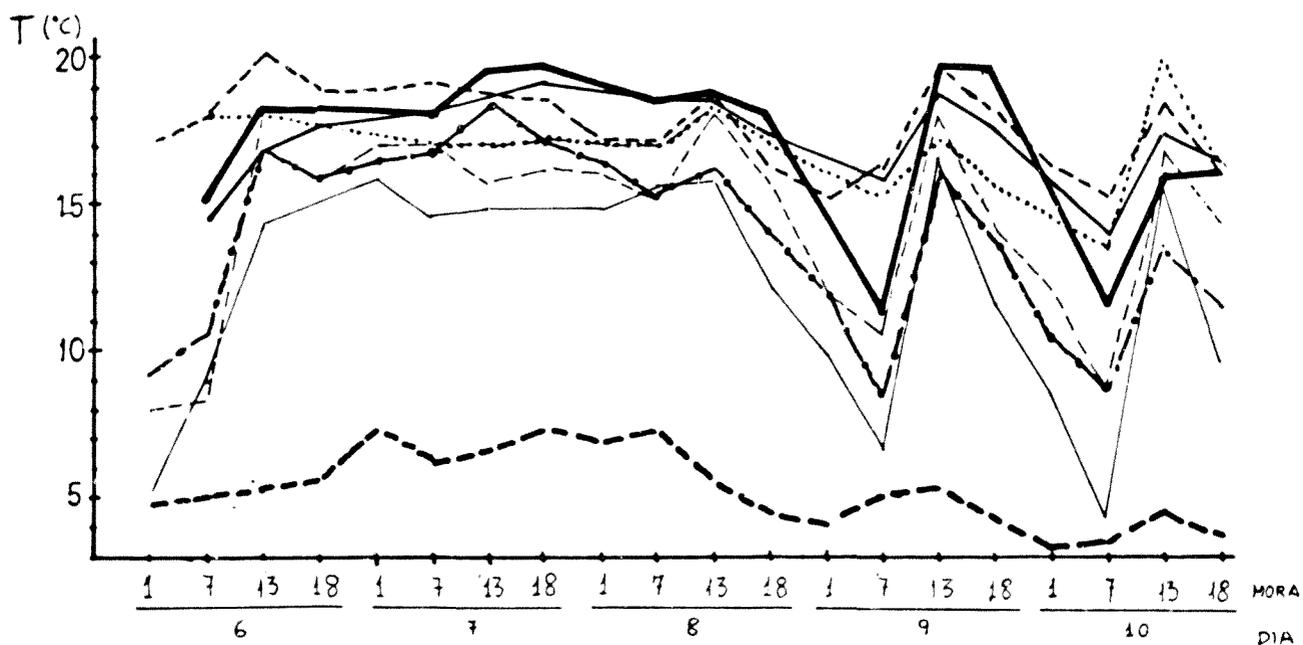
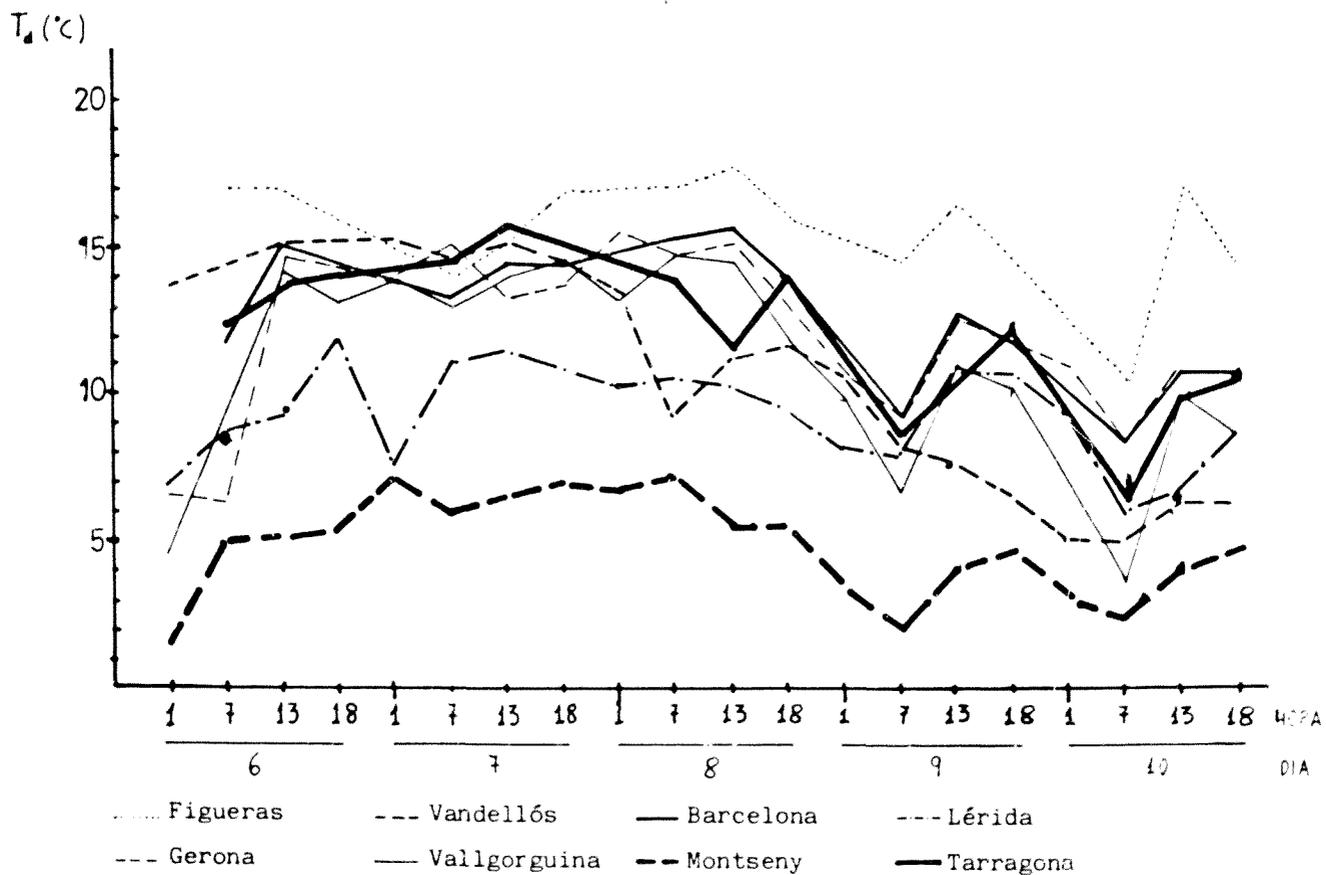


Fig. IV.2.43. Evolución de la depresión del punto de rocío a lo largo del episodio



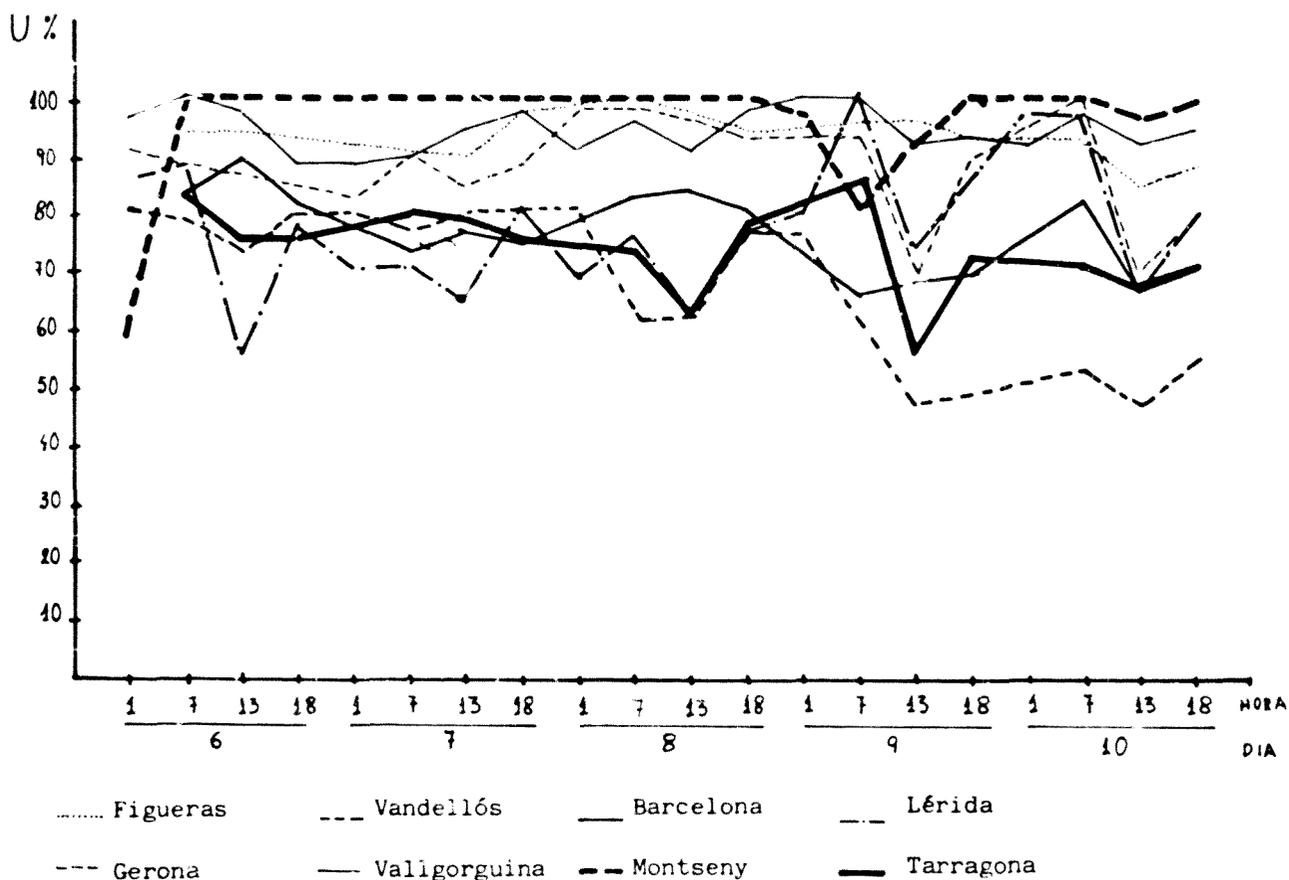


Fig.IV.2.44. Evolución de la humedad a lo largo del episodio

b.3 Humedad relativa

En el Turó de l'Home, la humedad fue del 100 % durante todo el episodio, lo que indicaría la formación de nubes a la altura de dicha estación, empezando a disminuir el día 8 a las 6 de la tarde. El día 9 vuelve a ser del 100 %, debido probablemente a evaporación, si bien no se registran precipitaciones (fig.IV.2.44). En Valigorguina, estación situada entre el Montnegre y el Montseny, la humedad se mantuvo siempre por encima del 89 %, incluso una vez acabado el episodio, lo que tampoco es extraño, por estar situada en un lugar que generalmente ya es muy húmedo.

En Figueras el resultado es más significativo, alcanzándose los mayores valores de humedad entre el día 7 a las 6 de la tarde y el día 8 a la misma hora. Sin embargo, no decrece notablemente hasta el día 10.

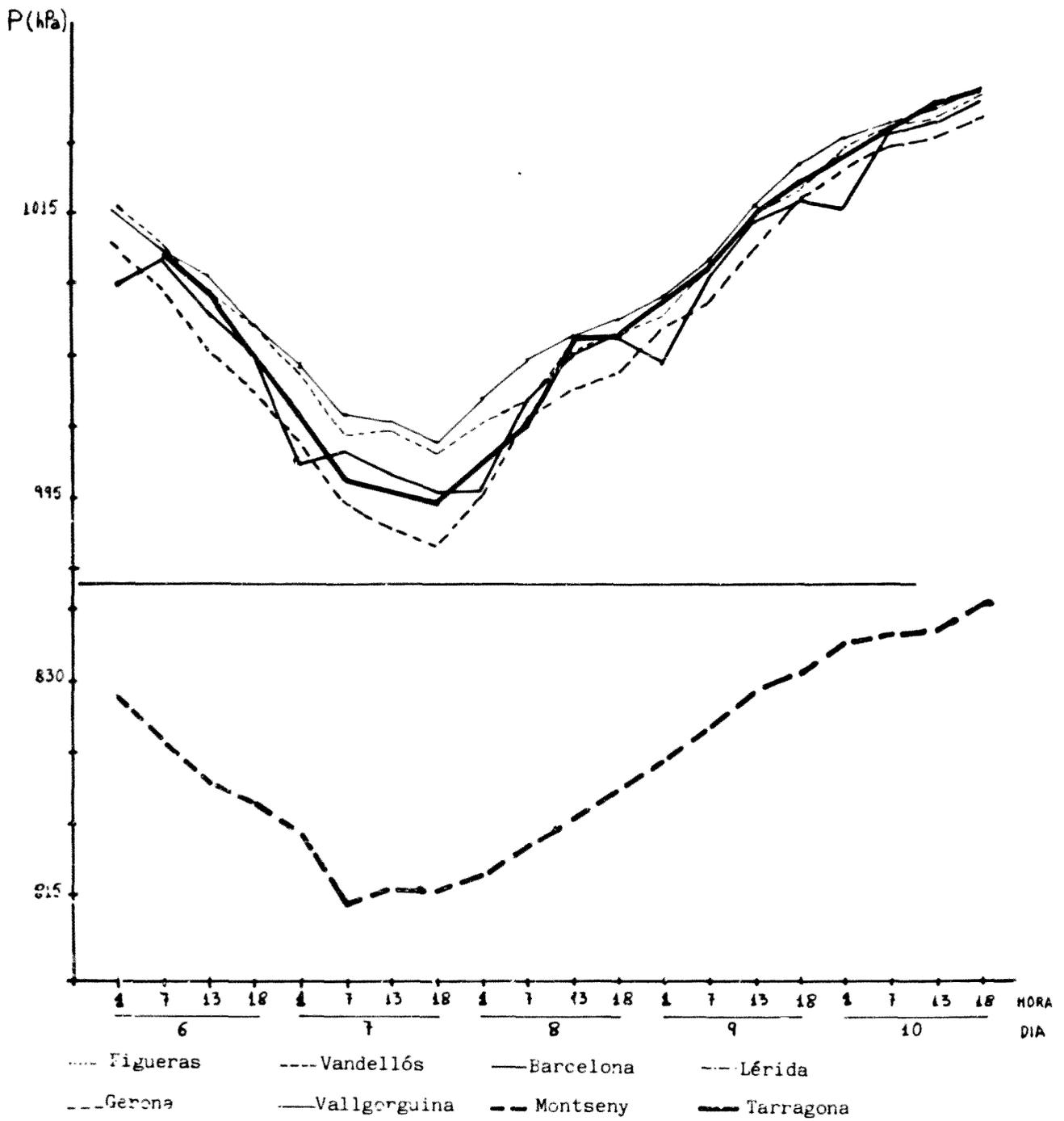


Fig.IV.2.45. Evolución de la presión a lo largo del episodio

Mayor variación se registra en Gerona. El episodio se inicia con una disminución de humedad hasta el día 7 a la 1 de la mañana, momento a partir del cual inicia su crecimiento, manteniéndose por encima del 90 % durante el día 8 y disminuyendo bruscamente el día 9 a las 7 de la mañana. Este mínimo se registra también en Lérida, Tarragona y Vandellós, estaciones en donde la humedad fue durante el episodio inferior al 85 %, al igual que Barcelona.

b.4 Presión

Esta es análoga para todas las estaciones, tanto si estuvieron afectadas o no por las fuertes lluvias. Con excepción del Montseny, el valor mínimo se alcanza el día 7 a las 6 de la tarde, iniciándose a partir de ese momento un ascenso bastante pronunciado que muestra la presencia de altas presiones el día 10. (Fig.IV.2.45).

Esta evolución es debida a la presencia y reforzamiento de la baja cerca de Galicia y su posterior traslación hacia Inglaterra.

c. Topografías de 850 hPa

El día 5 se inicia un proceso de advección de aire frío al este de los Alpes que prosigue hasta el día 7 a las 12 TMG, pasando de 10° C en la llanura del Pô a las 00 TMG de este día a -2° C a las 12 TMG del día 7. Mientras tanto la diferencia de geopotencial entre Milán y La Coruña se incrementa desde 45 mgp hasta 396 mgp en el periodo mencionado. Esto refuerza el flujo del Sur sobre el NE de la Península y el W de Europa, produciéndose una penetración de aire cálido a partir del día 7, que, tras atravesar los Pirineos llega hasta el Mar del Norte.

El día 6 a las 00 TMG (fig.IV.2.47) ya se distingue el núcleo anticiclónico sobre Alemania con 1520 mgp, en tanto que la depresión se sitúa a las 12 TMG en las proximidades del Cabo de Finisterre (fig.IV.2.47b) y allí se mantiene hasta el día 8. Entre este día y el 9, la depresión se mueve rápidamente a unos 35 kt hasta situarse al N de Inglaterra y quedar afectada toda Europa Occidental por la circulación ciclónica que crea.

La distribución de hidroisotermas muestra el día 6 una lengua seca que se extiende a toda la costa mediterránea española. Al día siguiente, se ha trasladado al E afectando plenamente al Mediterráneo Occidental,

mientras que en el Golfo de Vizcaya se sitúa un máximo. Analizando la depresión del punto de rocío se comprueba la penetración de aire húmedo por la parte suroeste de la Península hasta el S de Inglaterra, en tanto que Cataluña queda bajo la influencia del aire seco que se ha situado sobre el Mediterráneo ($\Delta T_p = 11^\circ \text{C}$ en Palma). Esto facilitará notablemente el ascenso del aire húmedo que hay en superficie (figs. IV.2.48a y IV.2.48b)

Debido a la entrada de aire muy cálido, se registran fuertes variaciones de la temperatura del punto de rocío en los Países Bajos, donde por ejemplo, se pasa de -25°C el día 7 a 3°C el día 8, ambos a 00 TMG (fig. IV.2.49)

d. Configuración de las líneas de corriente a 850 hPa

Las líneas de corriente son curvas tangentes en cada punto al correspondiente vector velocidad en el instante t en que hayan sido construídas, es decir, son comparables a una fotografía del campo de velocidades.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\Psi}(r, t) \quad (\text{IV.1})$$

Como el elemento de línea de corriente ha de ser tangente al vector velocidad, se verifica:

$$\frac{dx}{\Psi_x(x, y, z, t)} = \frac{dy}{\Psi_y(x, y, z, t)} = \frac{dz}{\Psi_z(x, y, z, t)} dt \quad (\text{IV.2})$$

que constituyen las ecuaciones diferenciales de la línea de corriente.

Suponiéndolas integrables, la solución se escribe:

$$\begin{aligned} x &= \phi_1(x_0, y_0, z_0, t_0, t) \\ y &= \phi_2(x_0, y_0, z_0, t_0, t) \\ z &= \phi_3(x_0, y_0, z_0, t_0, t) \end{aligned} \quad (\text{IV.3})$$

donde x_0, y_0, z_0 son constantes de integración que representan la posición inicial de la partícula móvil y x, y, z , denotan su posición en el instante t . La t_0 no es una constante de integración, sino un valor particular arbitrario del tiempo (instante inicial). Las funciones ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 representan la integral general de (IV.3).

Este enfoque debido a Euler se diferencia del enfoque de Lagrange en que este último consiste en situarse "sobre" una partícula atmosférica y seguirla en su movimiento; se obtienen así las trayectorias, es decir, el lugar geométrico de los posiciones sucesivas de una partícula en el espacio. La trayectoria debe satisfacer las ecuaciones del movimiento:

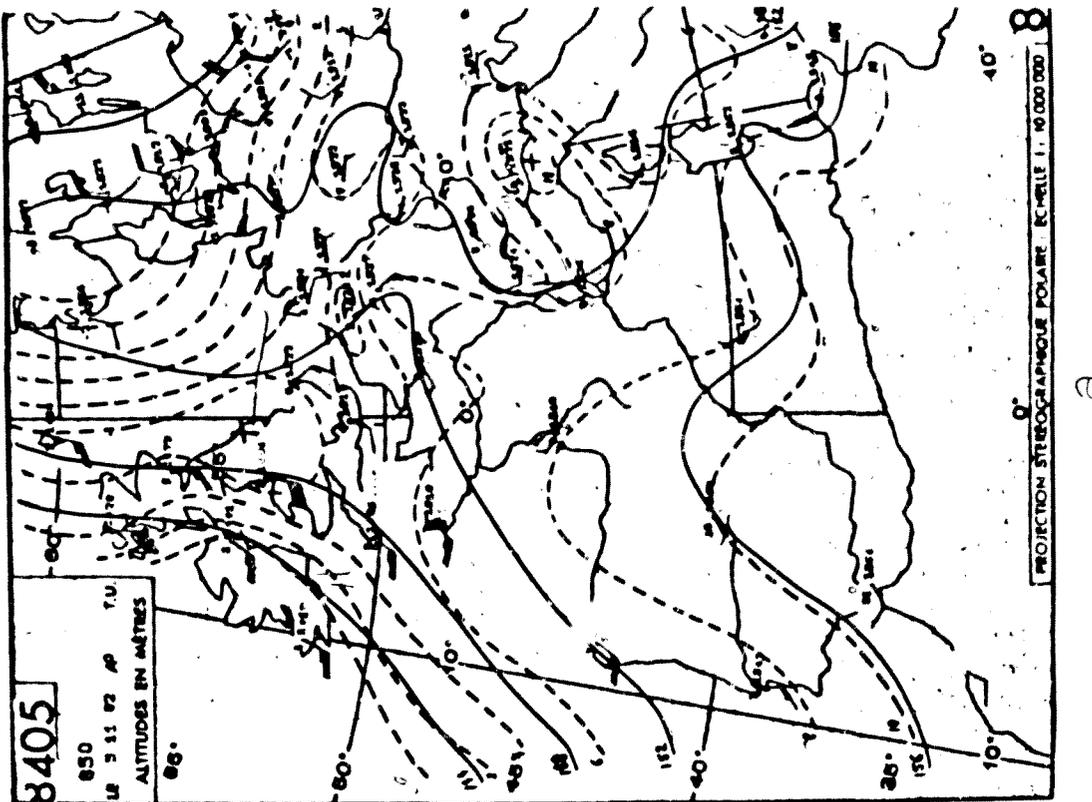
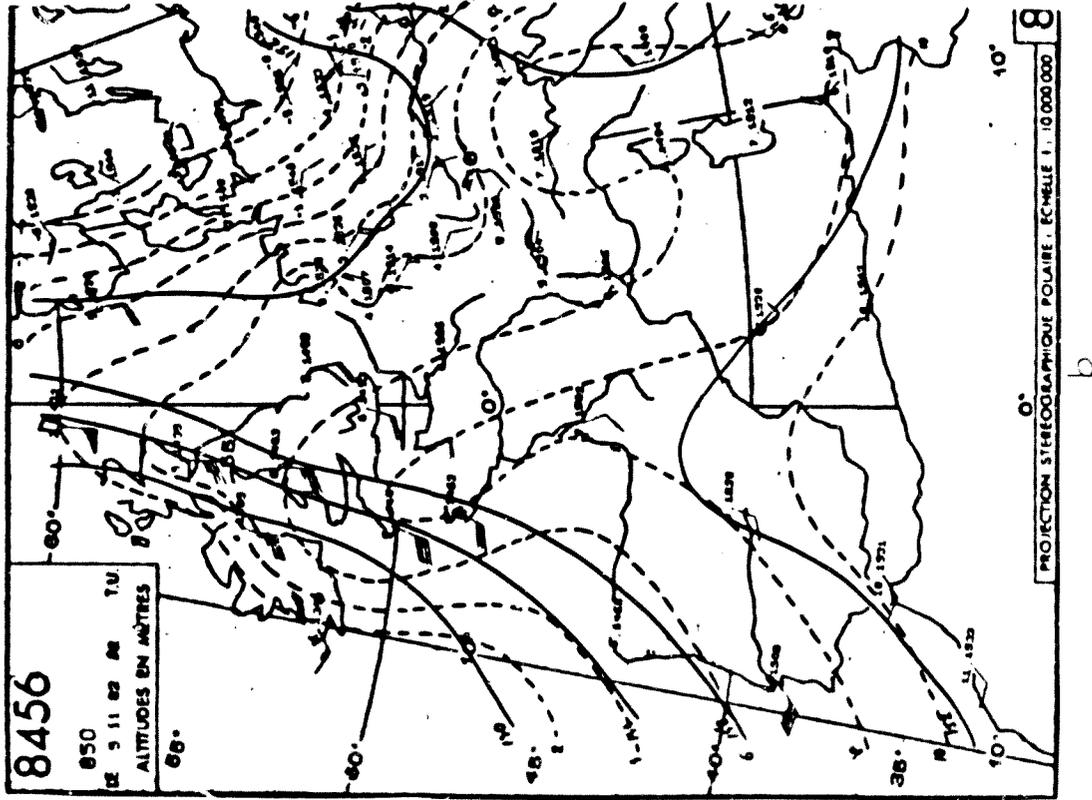
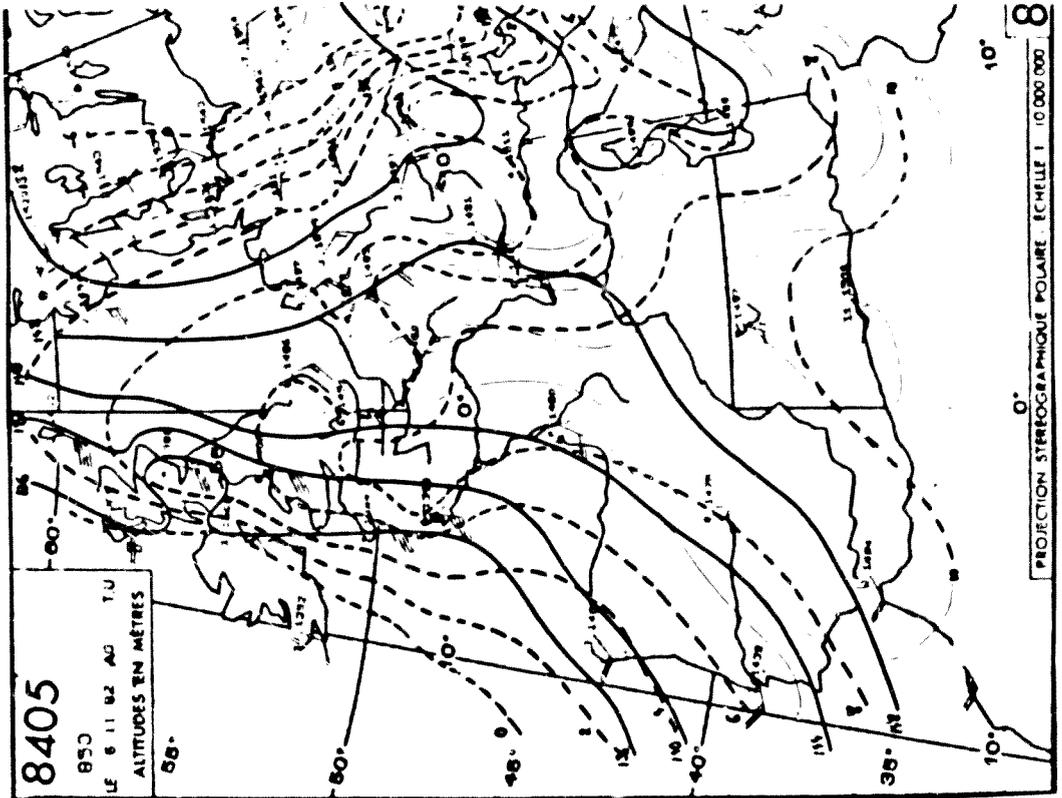
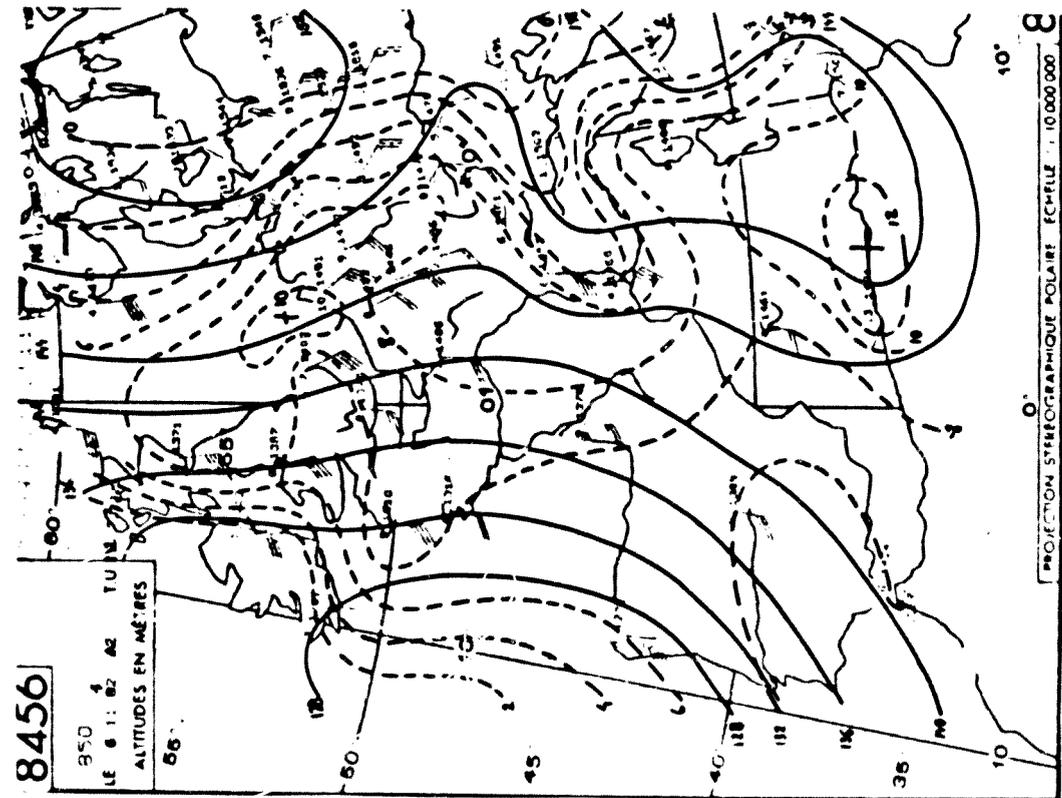


Fig.IV.2.46. Topografías a 850 hPa del 5 de Noviembre de 1982. a)00 TMG; b)12 TMG

b

a



a

b

Fig. IV.2.47. Topografias a 850 hPa del 6 de Noviembre de 1982. a)00 TMG, b)12 TMG

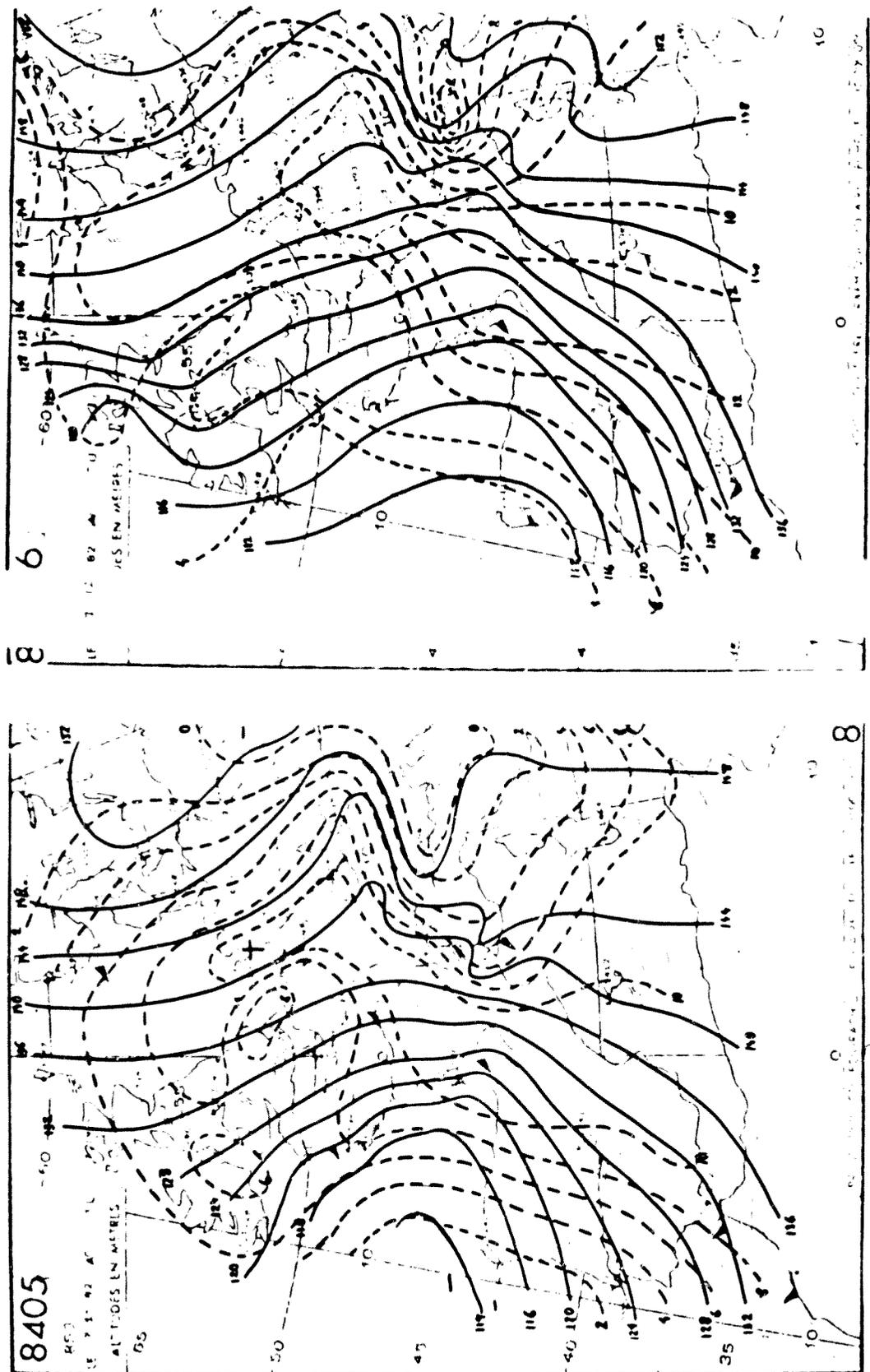


Fig. IV.2.48. Topografías a 850 hPa del 7 de Noviembre de 1982. a) 00 TMG, b) 12 TMG

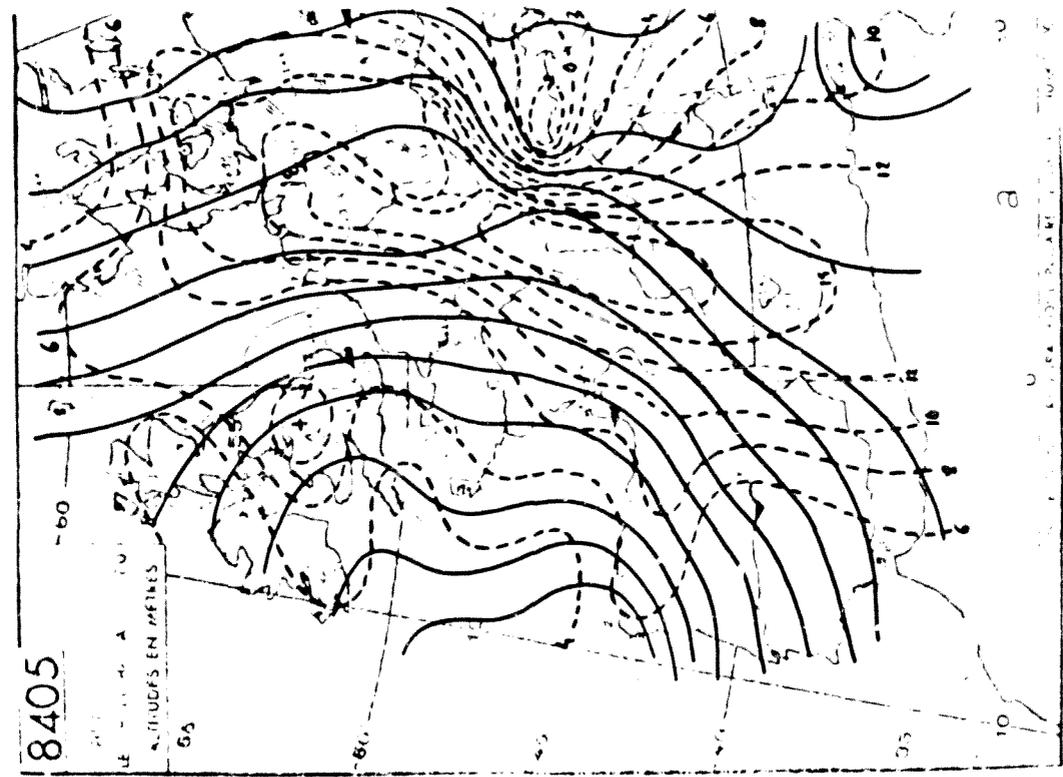
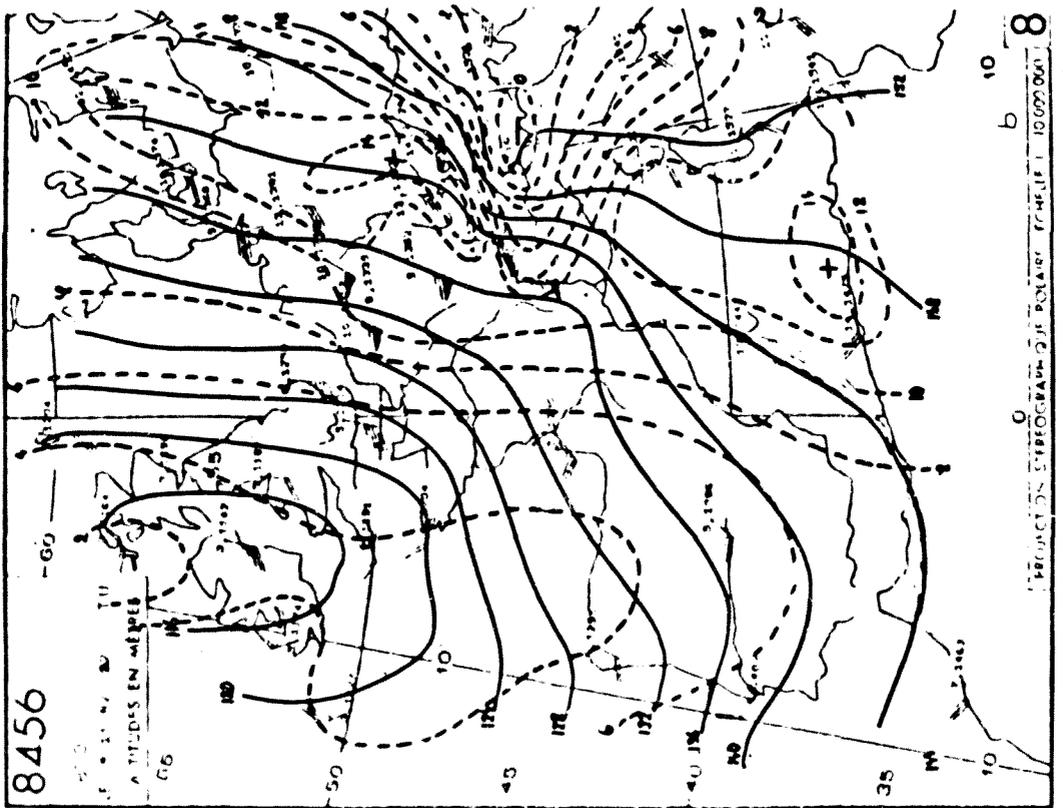


FIG. IV.2.49. Topografías a 850 hPa del 8 de Noviembre de 1982. a) 00 TMG, b) 12 TMG

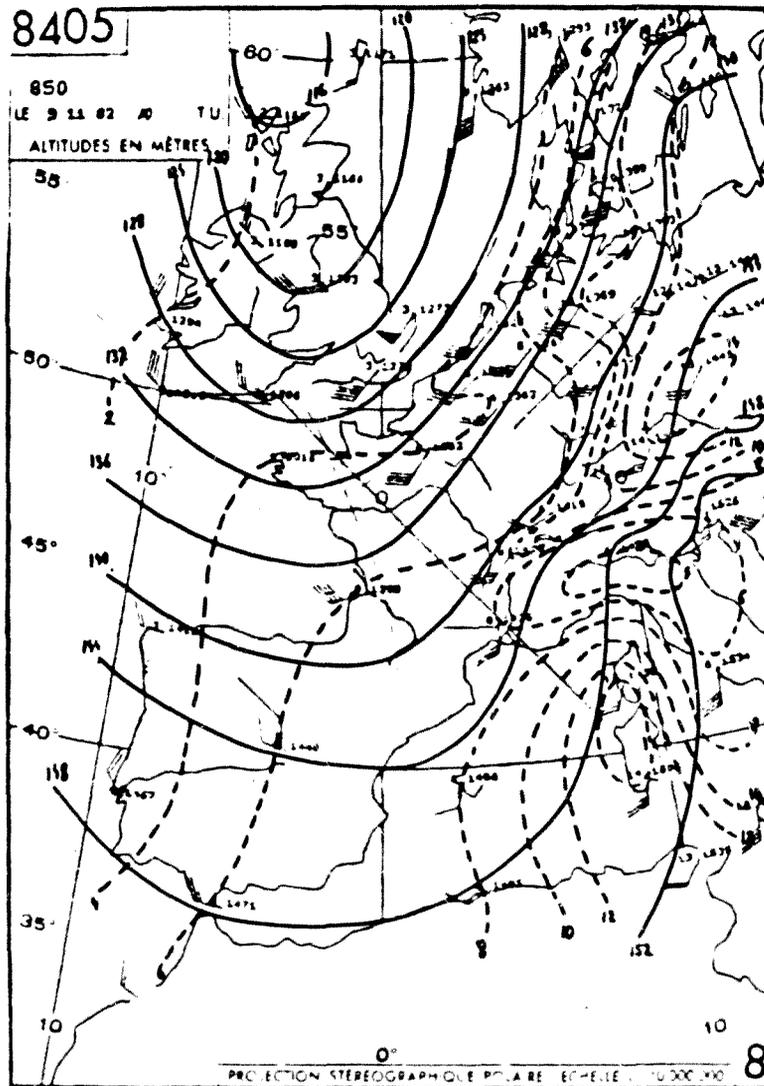


Fig.IV.2.50. Topografía de 850 hPa del día 9-XI-82

$$d_t x = u(x, y, z, t) ; d_t y = v(x, y, z, t) ; d_t z = w(x, y, z, t) \quad (\text{IV.4})$$

sistema que resuelto para condiciones iniciales, da:

$$x = x(x_0, y_0, z_0, t) ; y = y(x_0, y_0, z_0, t) ; z = z(x_0, y_0, z_0, t) \quad (\text{IV.5})$$

que son las ecuaciones paramétricas de la trayectoria, o bien

$$\vec{r} = \vec{\varphi}(\vec{r}_0, t_0, t) \quad (\text{IV.6})$$

que da el vector posición de cada partícula individual en función del tiempo y de la posición en el instante inicial t_0 .

En un punto dado, el elemento de trayectoria coincide con el elemento de línea de corriente que pasa por ese punto en el instante en que la partícula pasa por él. Si el campo de viento es estacionario, ambos tipos de líneas coinciden.

Las líneas de corriente presentan la ventaja de que pueden ser construidas utilizando sólo los datos proporcionados por la red sinóptica. Para ello es necesario dibujar previamente las isógonas o líneas de igual dirección del viento y, a partir de ellas, las líneas de corriente. El análisis se complica cuando aparecen puntos singulares que, generalmente van de dos en dos. Suelen inscribirse también, las isotacas o líneas de igual velocidad del viento.

El nivel de 850 hPa es el que, en altura, puede haber una mayor discrepancia entre la dirección del viento y las isobaras, por lo que se ha considerado oportuno representar las líneas de corriente a dicho nivel.

Como muestran las figuras IV.2.51 a IV.2.53, se observa un notable cambio de dirección del día 5 al 6, durante el cual, sobre la zona afectada por las inundaciones, se registra confluencia con vientos del SE a E. Obsérvese la incidencia perpendicular a la línea de la costa tanto en Cataluña como al suroeste de Andalucía. Este parece ser el primer impulso de advección de aire seco que se superpone a la capa inferior de aire húmedo.

A las 12 TMG esta perpendicularidad ha desaparecido, así como la confluencia sobre los Pirineos, la cual se ha trasladado al Oeste del Macizo Central francés. Sobre Cataluña el viento es del Sur, procediendo del N de Marruecos. El día 7 (figs. IV.2.54-IV.2.55), la circulación ciclónica creada por la baja atlántica es muy marcada con lo que el viento recupera su componente SE. A las 12 TMG un "chorro" se sitúa sobre Levante, volviéndose a registrar una incidencia perpendicular a la costa catalana con advección más húmeda. No hay confluencia.

El día 8 (figs. IV.2.56-IV.2.57), el viento, más del Sur, procede del norte de Africa por lo que es más seco y cálido, mientras que el chorro se ha trasladado ligeramente al W. Sobre el Atlántico se observan dos vórtices ciclónicos. A las 12 TMG, el máximo viento se observa al N de Francia, siendo el responsable de las altas temperaturas antes mencionadas. El día 9 (fig. IV.2.58), el aire que llega a Cataluña ha atravesado ya toda la Península, siendo de componente SW.

Troposfera media

e. Topografías de 700 hPa

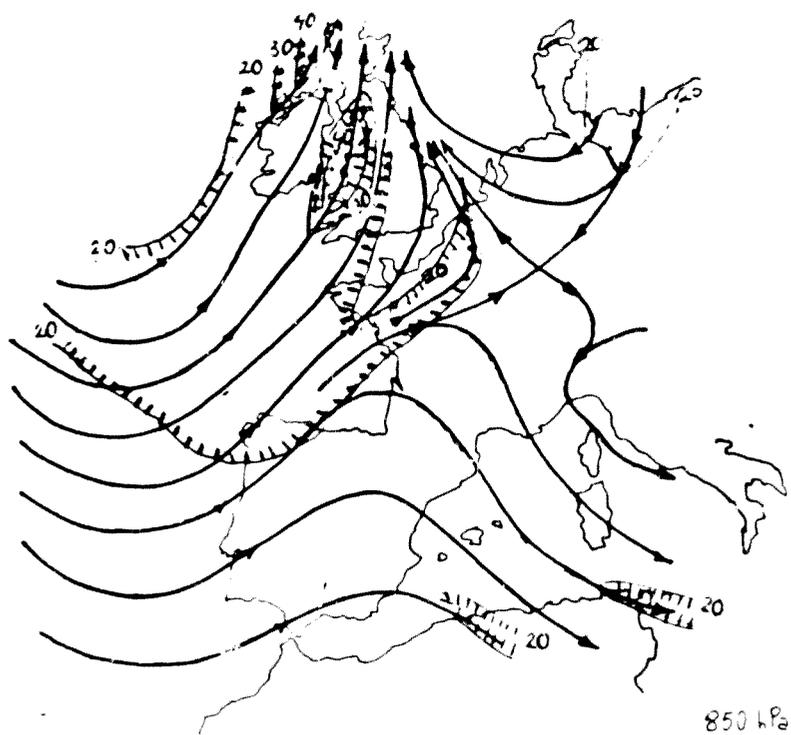


Fig.IV.2.51. Líneas de corriente del 5-XI-82 a 00 TMG

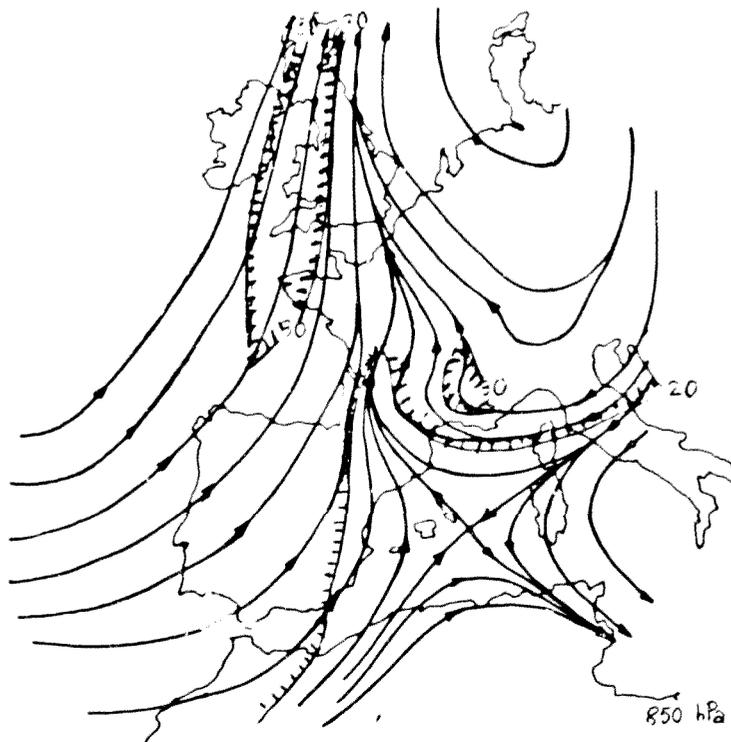


Fig.IV.2.52. Líneas de corriente del 6-XI-82 a 00 TMG

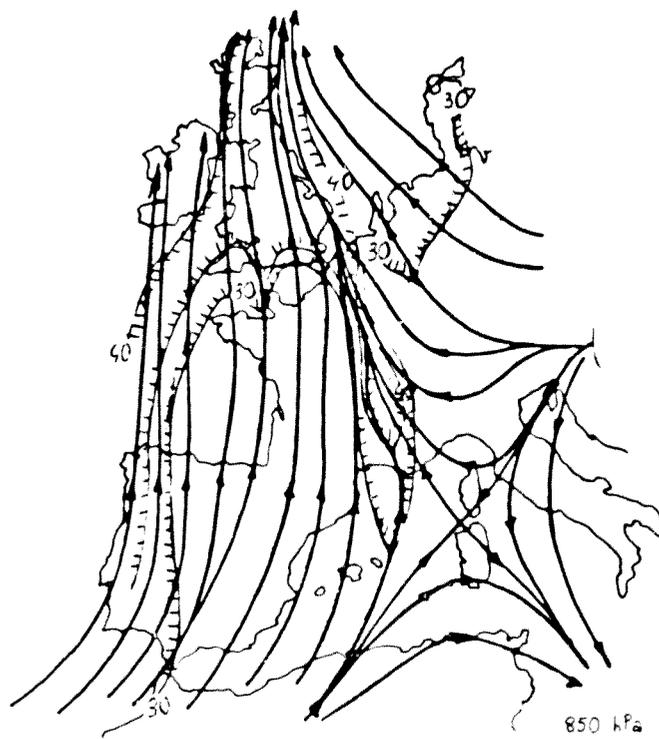


Fig.IV.2.53. Líneas de corriente del 6-XI- 82 a 12 TMG

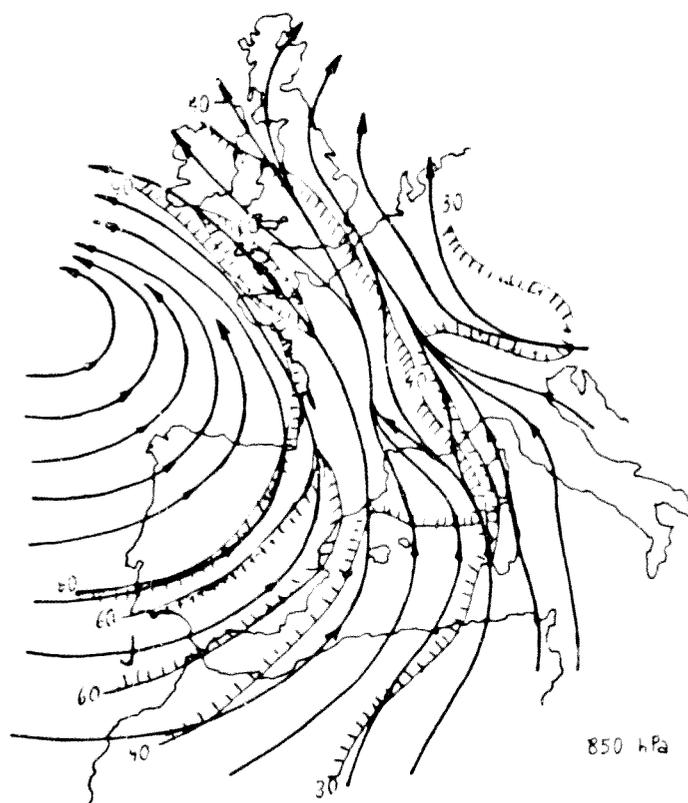


Fig.IV.2.54. Líneas de corriente del 7-XI-82 a 00 TMG

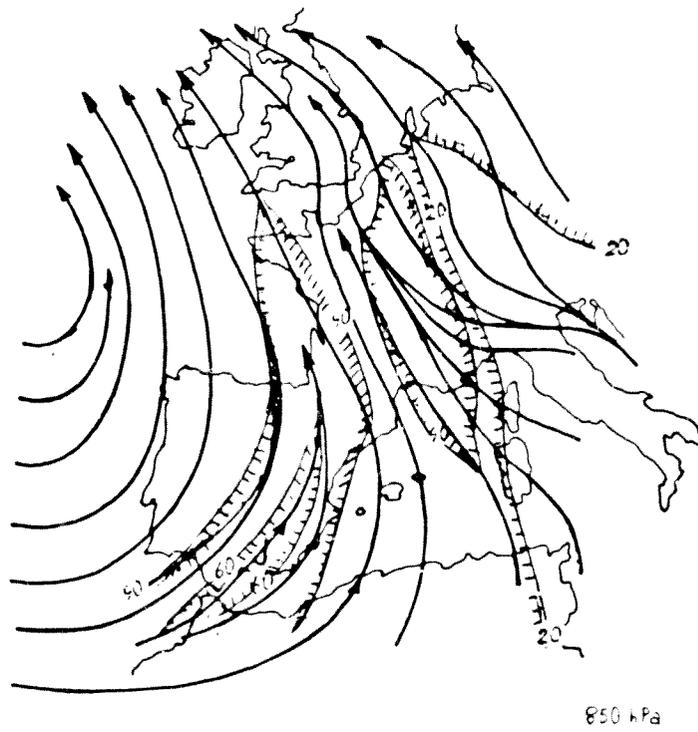


Fig.IV.2.55. Líneas de corriente del 7-XI-82 a 12 TMG

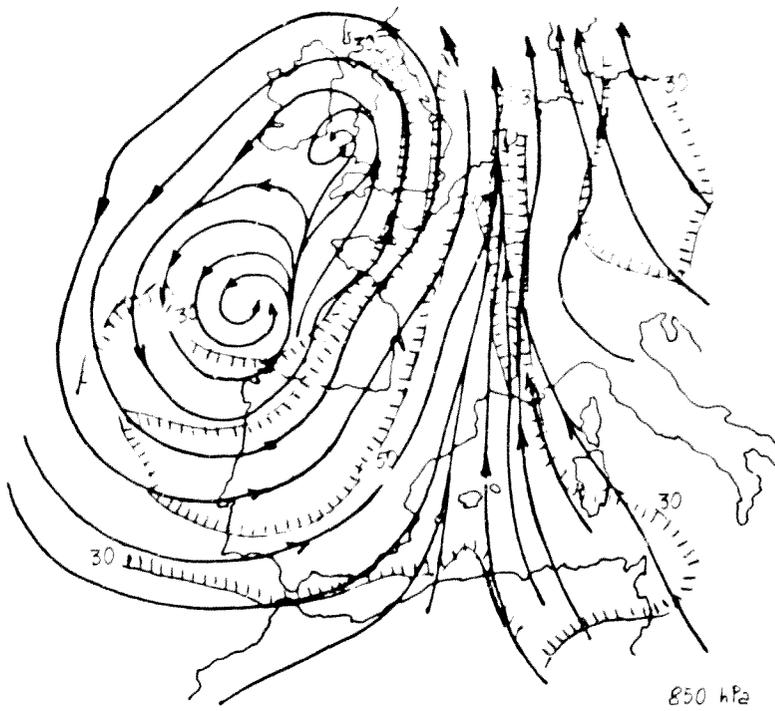


Fig.IV.2.56. Líneas de corriente del 8-XI-82 a 00 TMG

La situación es esencialmente la misma que a 500 hPa, la cual se comenta a continuación. Como es de esperar la velocidad del viento es menor que a dicho nivel, correspondiendo los valores más altos a Gibraltar en donde se alcanzan el día 7 a las 12 TMG los 75 kt (figs.IV.2.59 a IV.2.68).

f. Topografías de 500 hPa

El día 5 se inicia la penetración de aire cálido sobre Europa marcándose fuertemente la dorsal anticiclónica a las 12 TMG (figs.IV.2.59 y IV.2.60). Doce horas después ya se distingue un núcleo cerrado sobre los Países Bajos y Dinamarca, que se mantiene hasta el día 7 a las 12 TMG. Esta entrada de aire cálido sobre Europa se prolonga hasta el día 9 alcanzando latitudes superiores a los 60° N.

El día 7 a las 00 TMG (fig.IV.2.63) ya se detecta una baja profunda al NW de Galicia que se mantiene en la misma posición durante 24 horas, ascendiendo luego en latitud y debilitándose, para desaparecer el día 9. En el centro del mínimo el geopotencial es el día 7 inferior a 5100 mgp, frente al mínimo de 5110 mgp obtenido en un estudio estadístico de 30 años (Cailleau y Santurette, 1983) en el punto K.

Entre las 12 TMG del día 6 y las 00 TMG del día 7, se produce una advección de aire muy frío a lo largo del Cabo de Finisterre, por la que se llegan a alcanzar en La Coruña los -28° C.

La marcada situación en Ω obliga a la corriente en chorro a rodear la baja y rebasar la dorsal, adquiriendo sobre Europa una circulación meridiana. Los vientos más fuertes se encuentran en la parte occidental de Europa, de los días 6 al 8. La máxima velocidad se registra en Madrid el día 7 con 95 kt, en tanto que el día 9 el chorro atraviesa Centroeuropa aunque sin superar la anterior velocidad.

Por lo que respecta a la temperatura del punto de rocío, se observa el día 6 que la loma es esencialmente de aire seco (-43° C) en el Mediterráneo Occidental y en el Mar del Norte (-57° C). La depresión del punto de rocío en el Mediterráneo se va reduciendo. El día 8, la temperatura del punto de rocío ha aumentado 24° C sobre Córcega y 27° C en Holanda, mientras que ha disminuido en el centro de la Península y suroeste de Inglaterra.

La situación es esencialmente la misma que a 500 hPa, la cual se comenta a continuación. Como es de esperar la velocidad del viento es menor que a dicho nivel, correspondiendo los valores más altos a Gibraltar en donde se alcanzan el día 7 a las 12 TMG los 75 kt (figs.IV.2.59 a IV.2.68).

f. Topografías de 500 hPa

El día 5 se inicia la penetración de aire cálido sobre Europa marcándose fuertemente la dorsal anticiclónica a las 12 TMG (figs.IV.2.59 y IV.2.60). Doce horas después ya se distingue un núcleo cerrado sobre los Países Bajos y Dinamarca, que se mantiene hasta el día 7 a las 12 TMG. Esta entrada de aire cálido sobre Europa se prolonga hasta el día 9 alcanzando latitudes superiores a los 60° N.

El día 7 a las 00 TMG (fig.IV.2.63) ya se detecta una baja profunda al NW de Galicia que se mantiene en la misma posición durante 24 horas, ascendiendo luego en latitud y debilitándose, para desaparecer el día 9. En el centro del mínimo el geopotencial es el día 7 inferior a 5100 mgp, frente al mínimo de 5110 mgp obtenido en un estudio estadístico de 30 años (Cailleau y Santurette,1983) en el punto K.

Entre las 12 TMG del día 6 y las 00 TMG del día 7, se produce una advección de aire muy frío a lo largo del Cabo de Finisterre, por la que se llegan a alcanzar en La Coruña los -28° C.

La marcada situación en Ω obliga a la corriente en chorro a rodear la baja y rebasar la dorsal, adquiriendo sobre Europa una circulación meridiana. Los vientos más fuertes se encuentran en la parte occidental de Europa, de los días 6 al 8. La máxima velocidad se registra en Madrid el día 7 con 95 kt, en tanto que el día 9 el chorro atraviesa Centroeuropa aunque sin superar la anterior velocidad.

Por lo que respecta a la temperatura del punto de rocío, se observa el día 6 que la loma es esencialmente de aire seco (-43° C) en el Mediterráneo Occidental y en el Mar del Norte (-57° C). La depresión del punto de rocío en el Mediterráneo se va reduciendo. El día 8, la temperatura del punto de rocío ha aumentado 24° C sobre Córcega y 27° C en Holanda, mientras que ha disminuido en el centro de la Península y suroeste de Inglaterra.

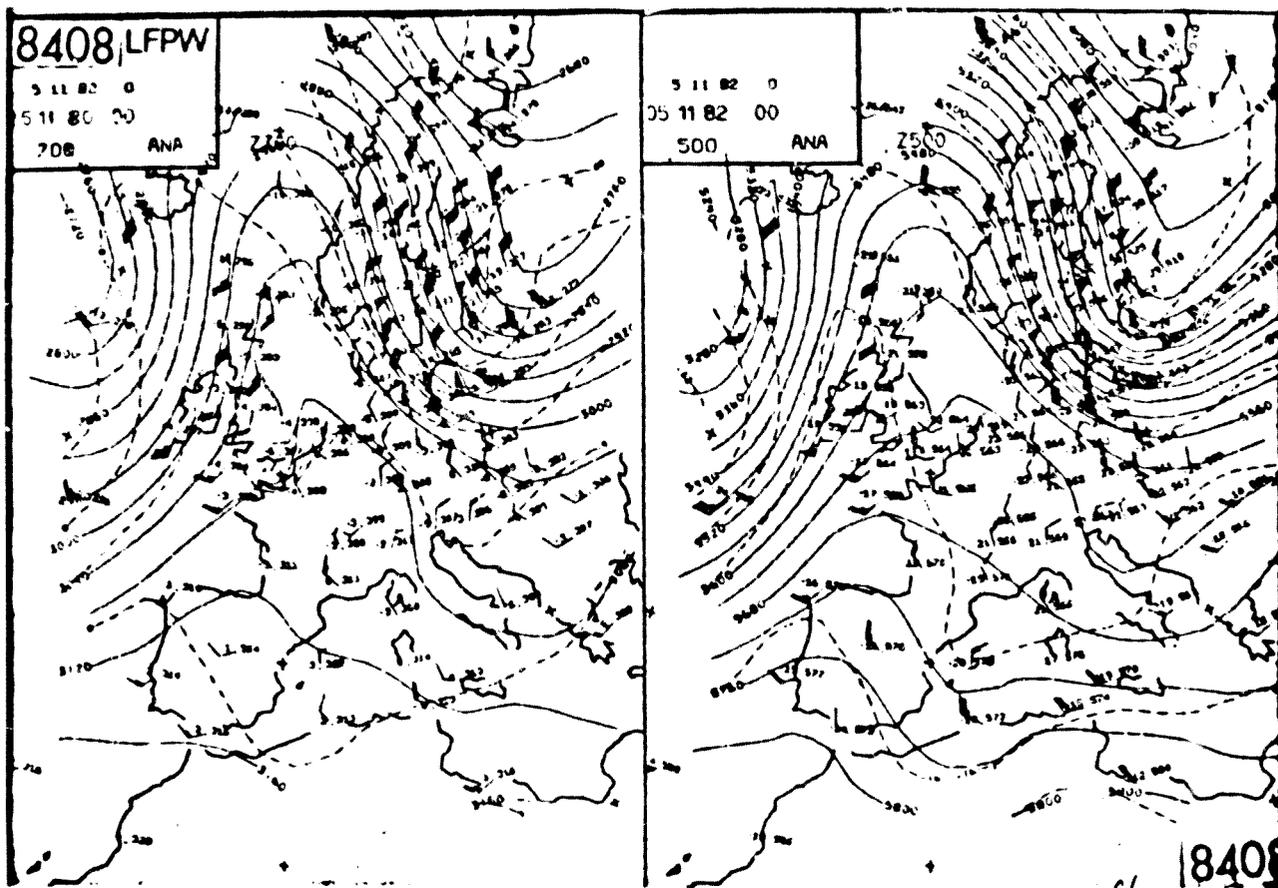


Fig.IV.2.59. Topografías de 500 v 700 hPa del 5-XI-82 a 00 TMG F

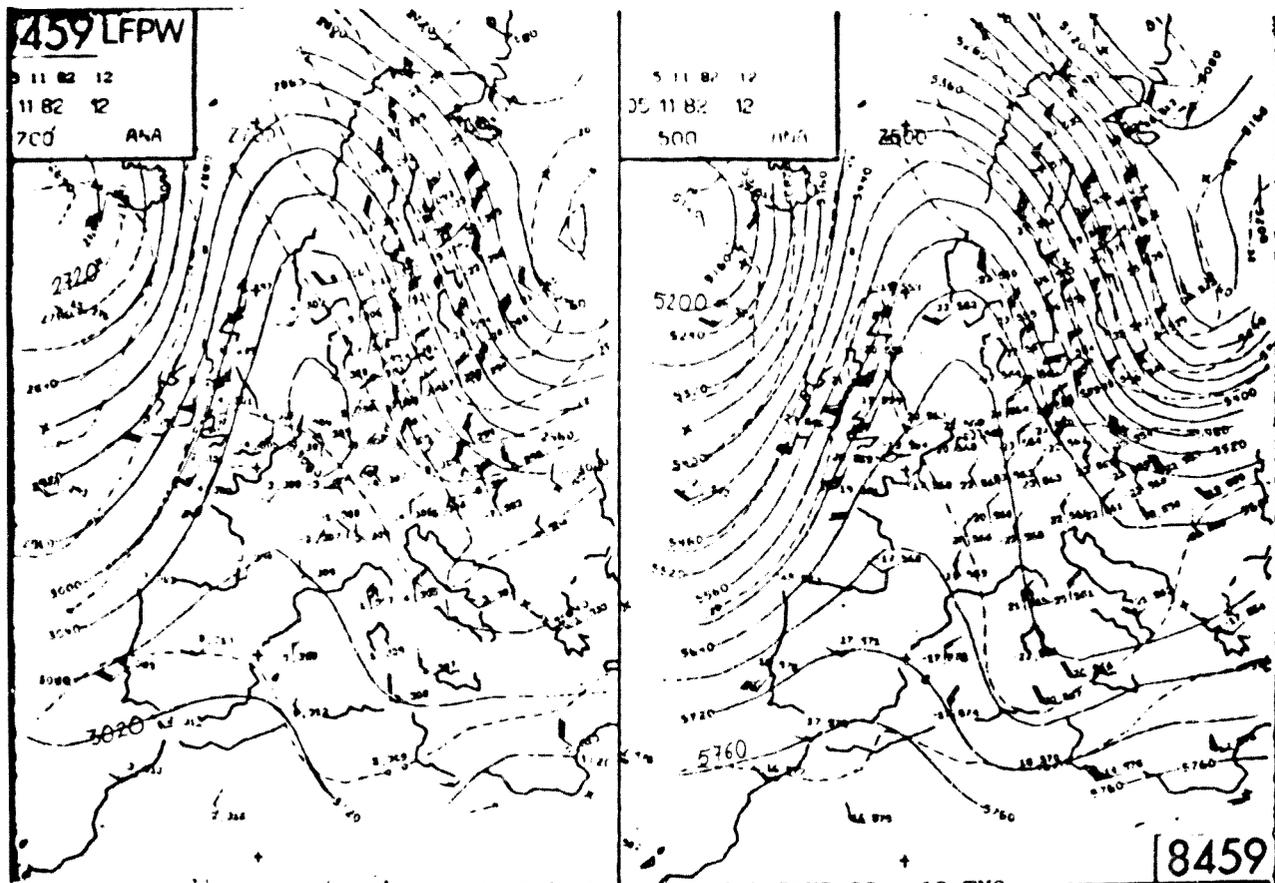


Fig.IV.2.60. Topografías de 500 y 700 hPa del 5-XI-82 a 12 TMG

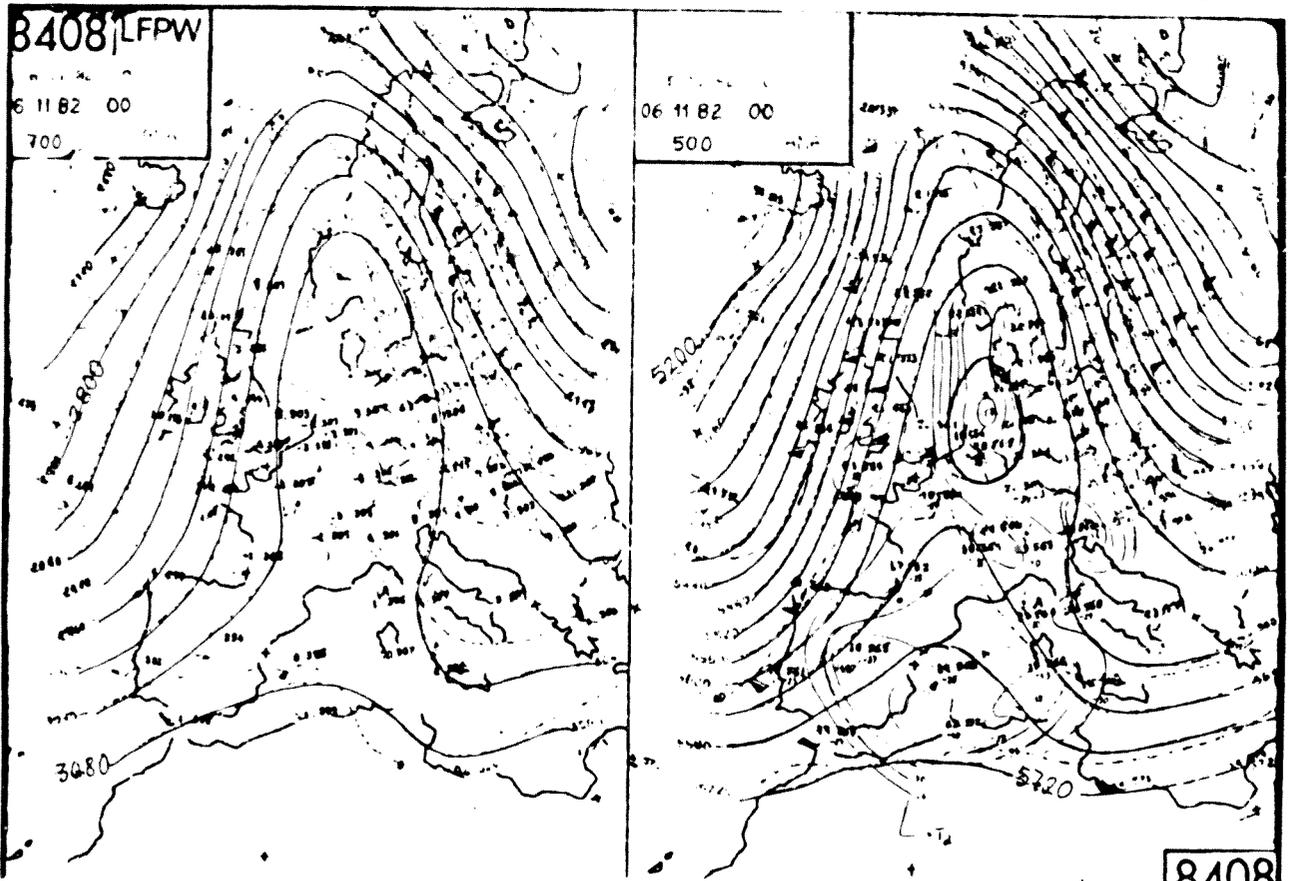


Fig.IV.2.61. Topografías de 500 y 700 hPa del 6-XI-82 a 00 TMG

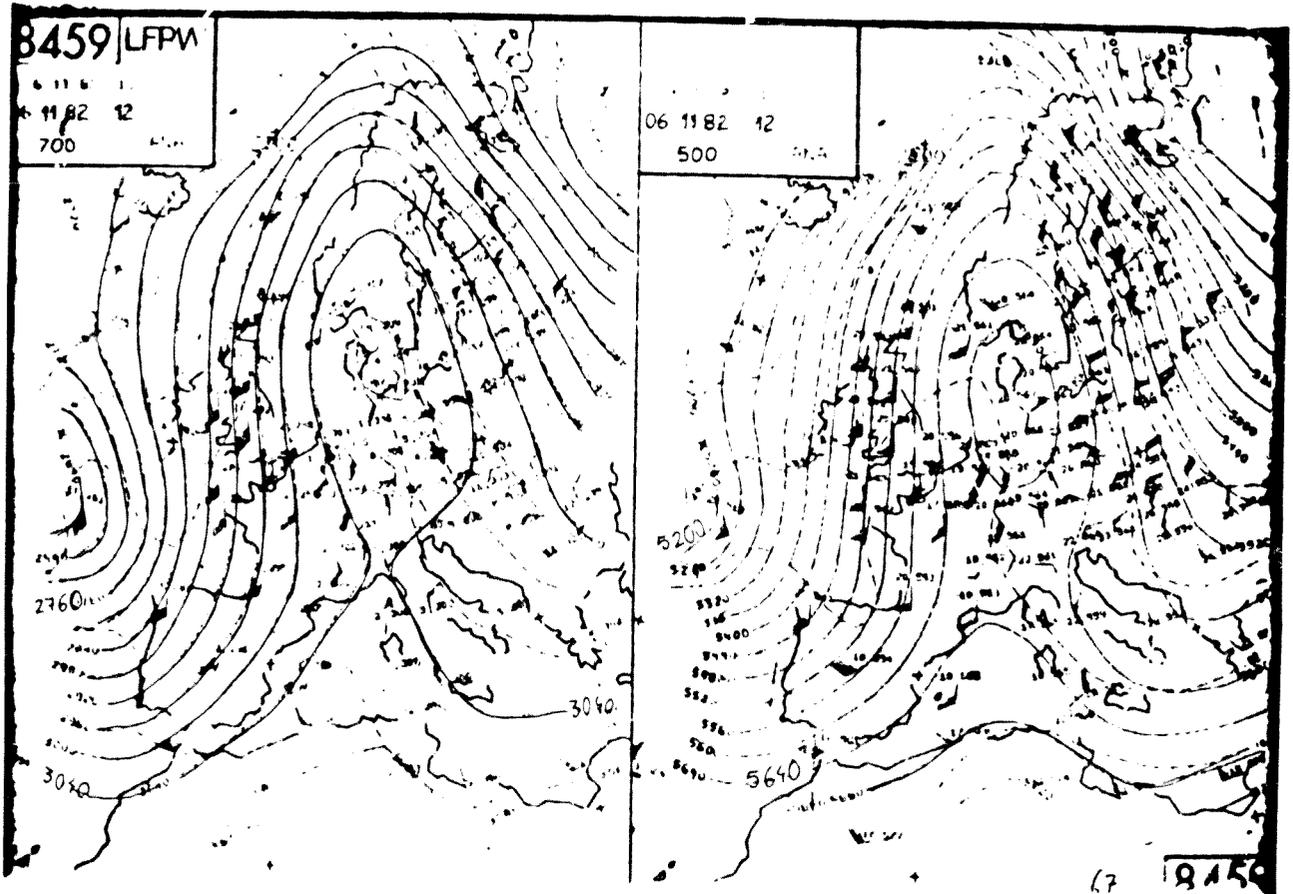


Fig.IV.2.62. Topografías de 500 y 700 hPa del 6-XI-82 a 12 TMG

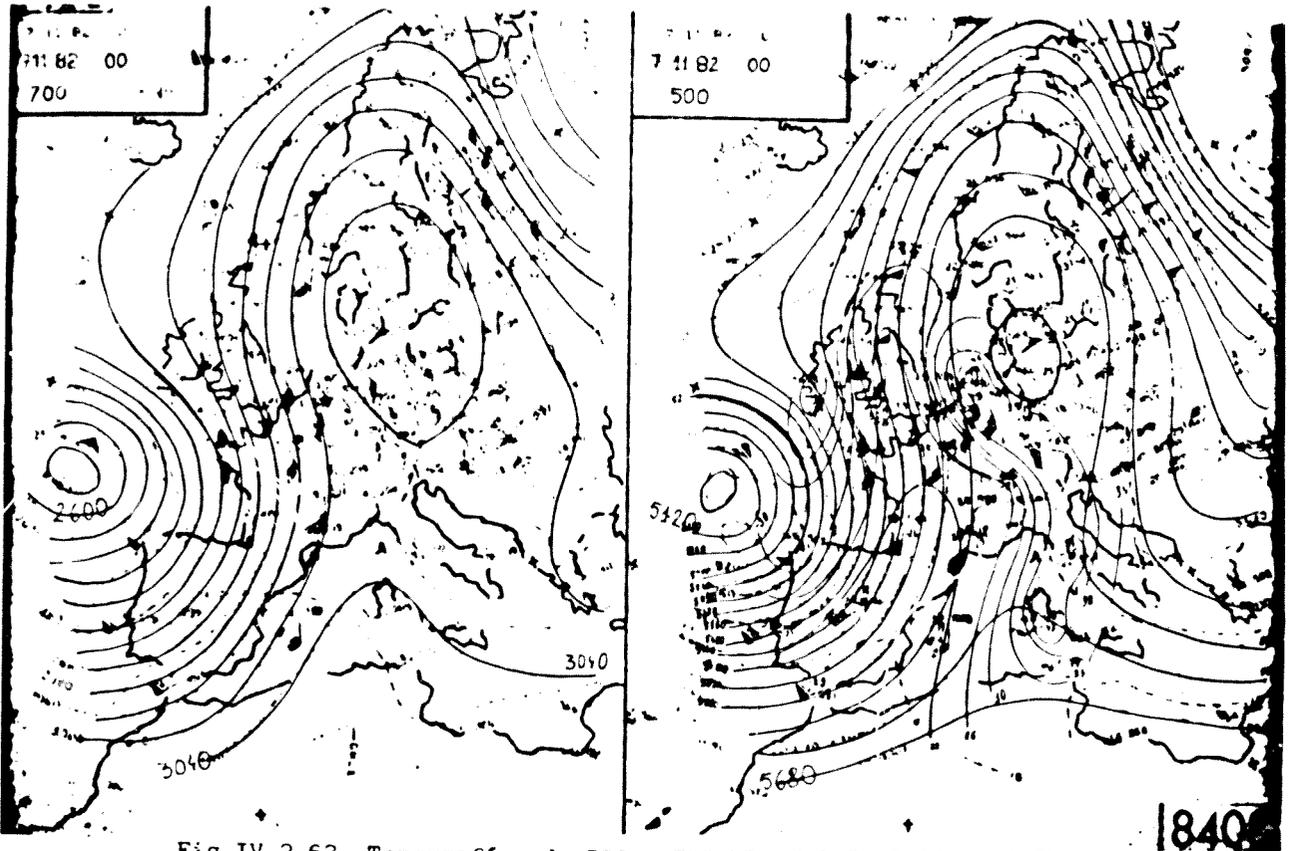


Fig.IV.2.63. Topografias de 500 y 700 hPa del 7-XI-82 a 00 TMG

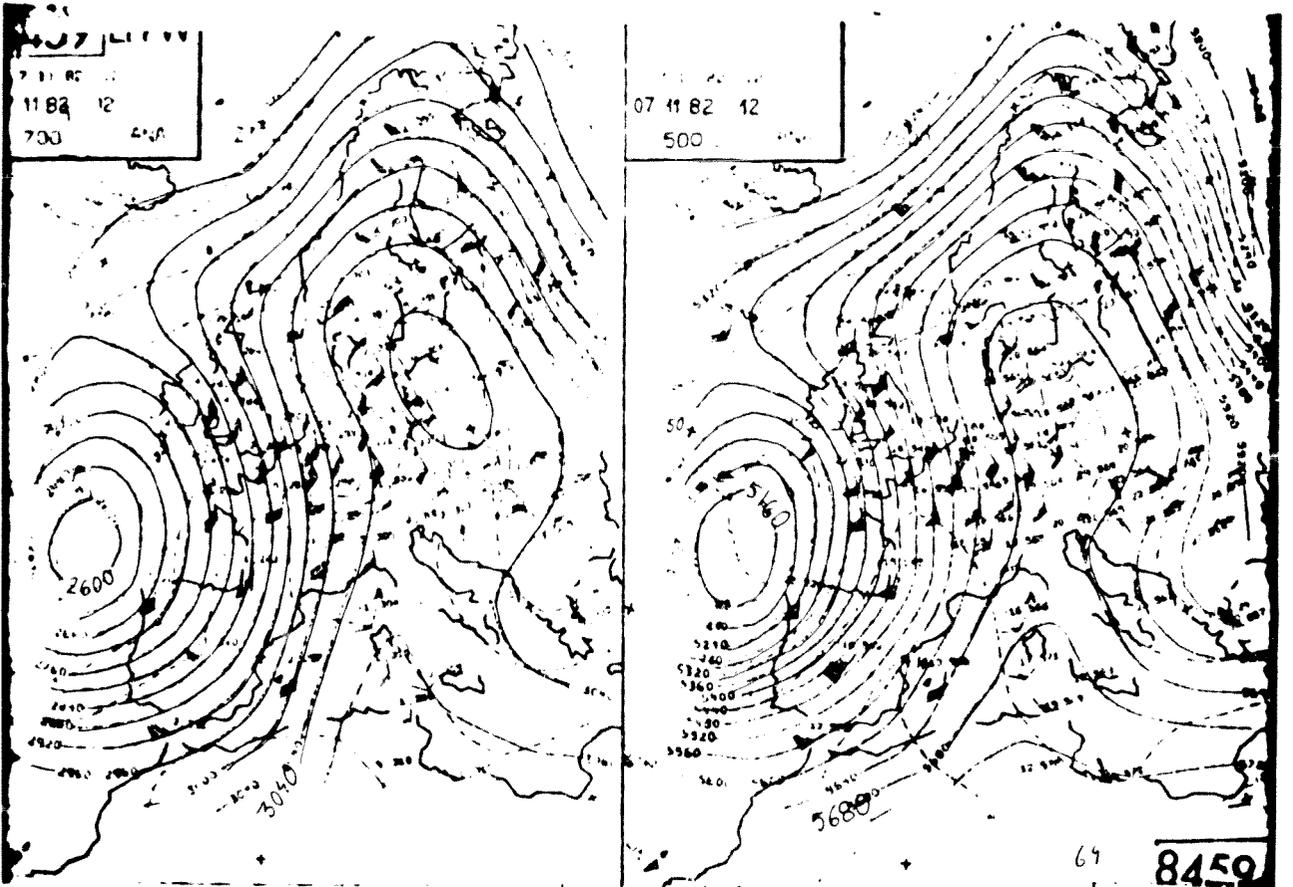


Fig.IV.2.64. Topografias de 500 y 700 hPa del 7-XI-82 a 12 TMG

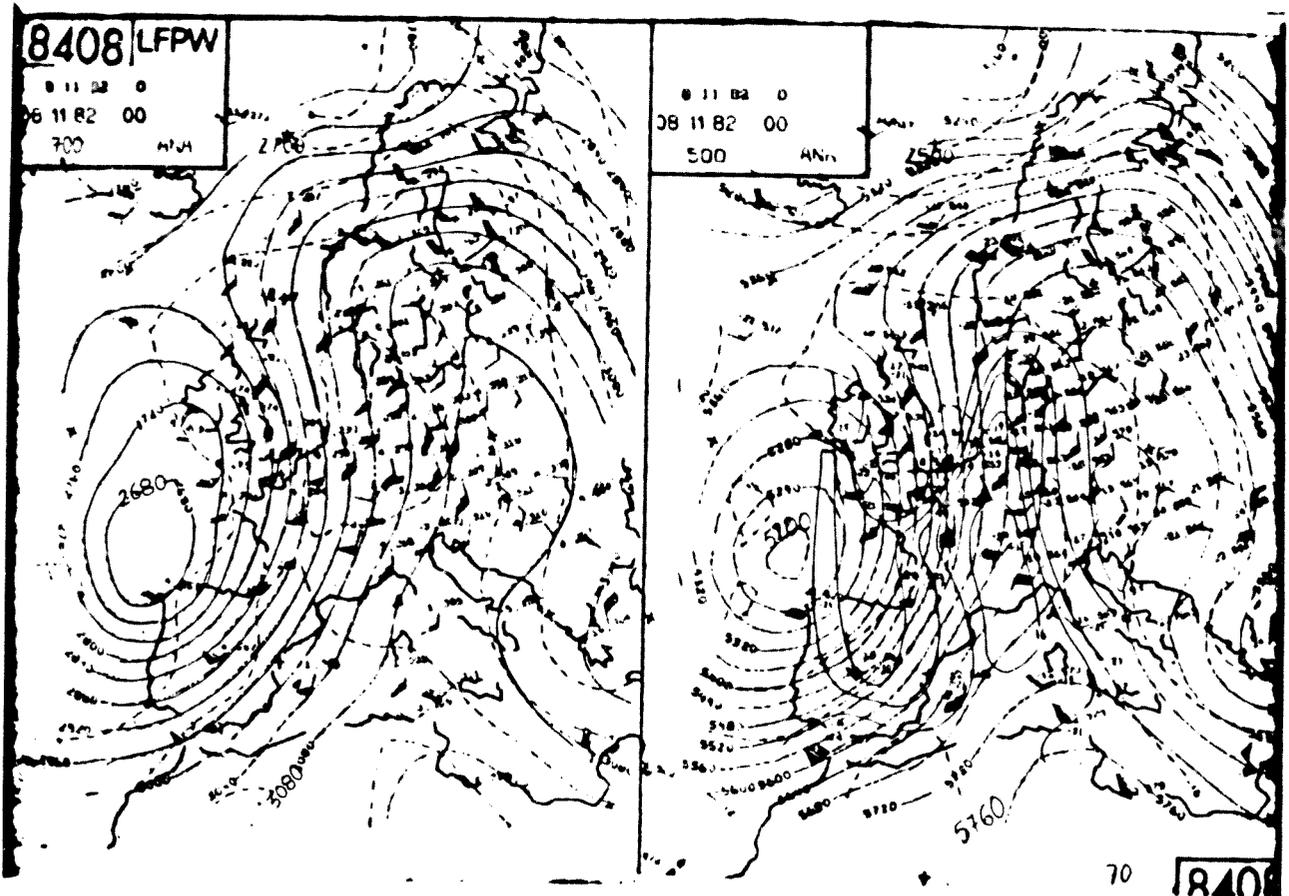


Fig.IV.2.65. Topografias de 500 y 700 hPa del 8-XI-82 a 00 TMG

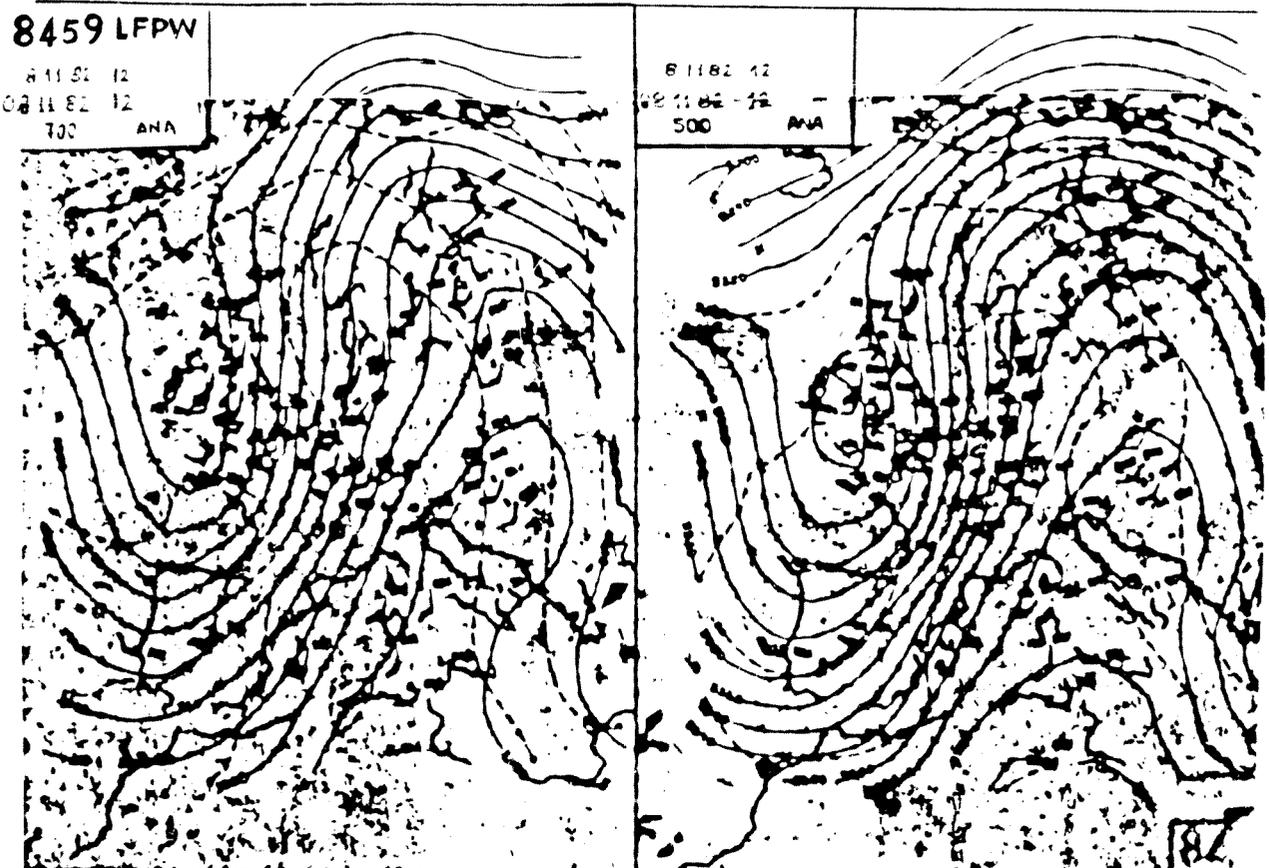


Fig.IV.2.66. Topografias de 500 y 700 hPa del 8-XI-82 a 12 TMG

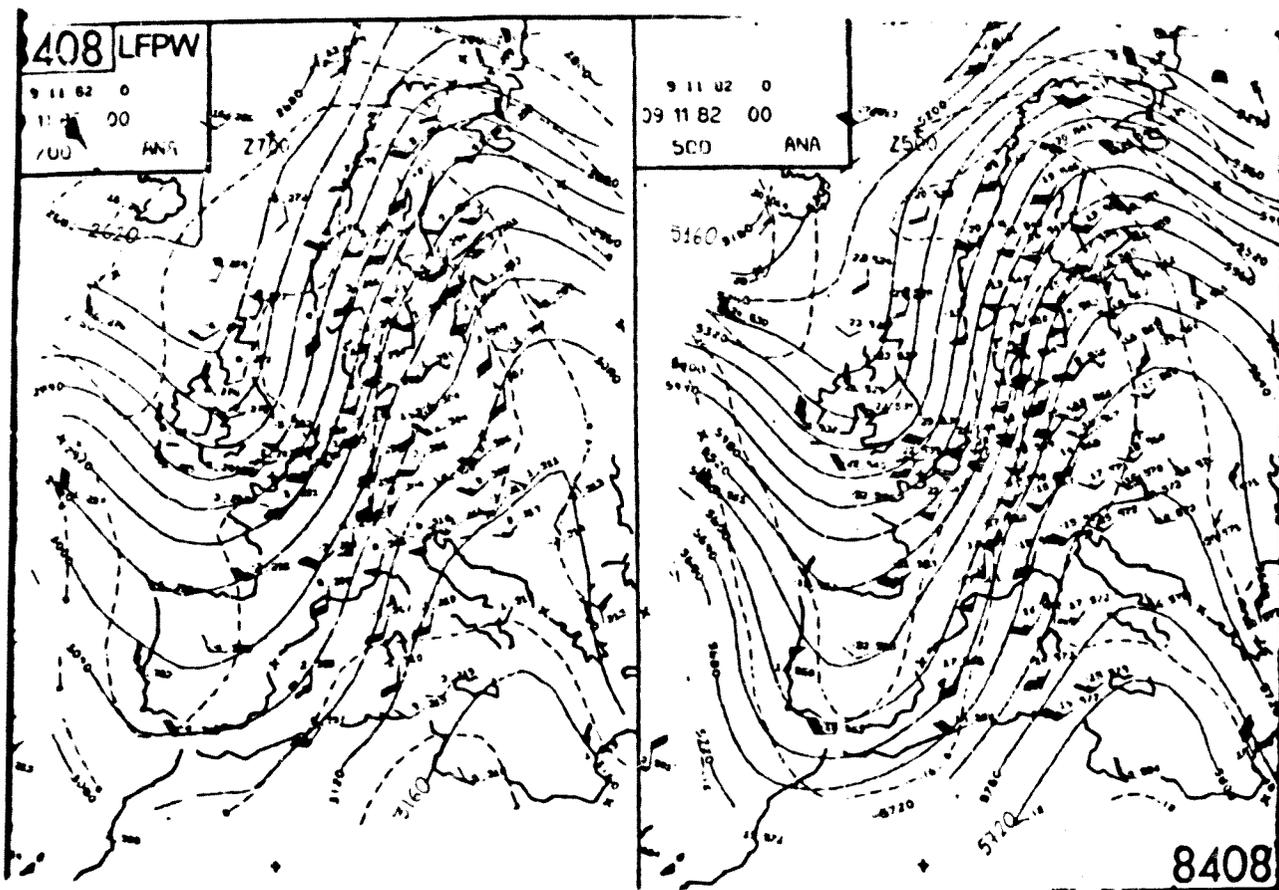


Fig.IV.2.67. Topografías de 500 y 700 hPa del 9-XI-82 a 00 TMG

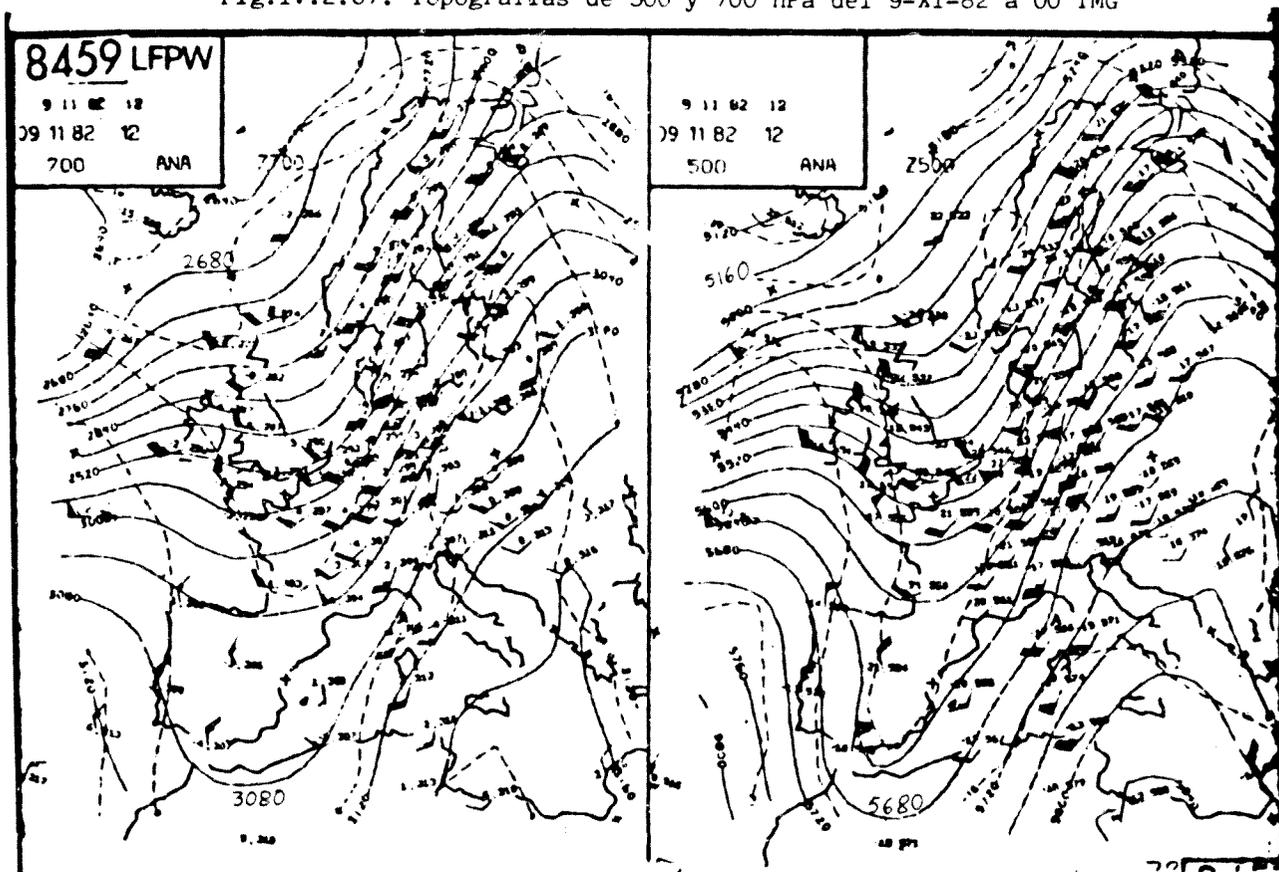


Fig.IV.2.68. Topografías de 500 y 700 hPa del 9-XI-82 a 12 TMG

g.. Investigación de la producción de vorticidad al nivel del mar

Recordemos que en la interpretación debida a Petterssen (1956) de la teoría del crecimiento de Sutcliffe (1947), el índice de crecimiento

$$I = D_1 - D_0 \quad (\text{IV.7})$$

que es la diferencia entre las contribuciones a la divergencia del viento horizontal al nivel 1 y al nivel 0, se simplifica escogiendo el primero coincidente con el nivel de divergencia nula (NDN) troposférico con lo que $D_1 \equiv 0$ y queda:

$$I = -D_0 \quad (\text{IV.8})$$

donde el nivel 0 se toma coincidente con el del mar a fin de explorar la ciclogénesis en superficie.

Si se prescinde de los términos de verticalización y de advección vertical de vorticidad, el teorema de vorticidad se escribe para el NDN

$$\dot{\theta}_1 = -D_1 \theta_1 = 0 = \partial_t \theta_1 + \vec{v}_1 \cdot \nabla \theta_1 \quad (\text{IV.9})$$

donde $\theta = z + f$ representa la vorticidad absoluta.

Suponiendo válida la aproximación geostrófica,

$$\theta_1 = \theta_0 + z_r \quad (\text{IV.10})$$

con $z_r =$ vorticidad térmica (es decir, vorticidad relativa del viento térmico), la (IV.9) puede escribirse:

$$\partial_t \theta_0 + \partial_t z_r + \vec{v}_1 \cdot \nabla \theta_1 = 0$$

o bien

$$\partial_t \theta_0 = -\partial_t z_r - \vec{v}_1 \cdot \nabla \theta_1 \quad (\text{IV.11})$$

cuyo primer miembro es muy aproximadamente la producción de vorticidad al nivel del mar, $\dot{\theta}_0$, ya que las isopletas de vorticidad al nivel del mar tienden a ser paralelas a las isobaras (o a las equipotenciales) y por tanto $\vec{v}_0 \cdot \nabla \theta_0 \approx 0$. Se tiene pues

$$\dot{\theta}_0 = -\partial_t \theta_0 - \partial_t z_r - \vec{v}_1 \cdot \nabla \theta_1 \quad (\text{IV.12})$$

La advección de vorticidad al NDN se calcula fácilmente, en primera aproximación, a partir del mapa de 500 hPa (convenientemente ajustado) y las isopletas de vorticidad a este nivel. Para obtener la velocidad de producción de vorticidad al nivel del mar (primer miembro de (IV.12)) es preciso, pues, obtener una expresión manejable para la tendencia de vorticidad térmica $\partial_t z_r$. Mediante un razonamiento algo largo, Petterssen (loc.cit) obtiene

$$\partial_t z_r = \frac{1}{f} \nabla^2 A_e + \frac{f_1}{f} \nabla^2 \left\{ \ln \frac{P_0}{P_1} \left[\frac{1}{c_p} \overline{d_t Q} + \omega (\gamma_p - \alpha_p) \right] \right\} \quad (\text{IV.13})$$

donde A_e es la advección de espesor geopotencial, $\overline{d_t Q}$ representa la

velocidad media de intercambio diabático de calor, $\omega = \dot{p}$ y γ_p, α_p son respectivamente el coeficiente vertical de enfriamiento adiabático tomando la presión como coordenada vertical, y el coeficiente vertical de enfriamiento geométrico del ambiente en las mismas condiciones.

Resulta, por tanto, con (IV.12) y (IV.13)

$$\dot{\theta}_0 = -D_0 \theta_0 = -\vec{v}_0 \cdot \nabla \theta_0 + \vec{v}_1 \cdot \nabla \theta_0 - \frac{1}{f} \nabla' \lambda_p - \frac{r_1}{f} \nabla' \left\{ \ln \frac{p_0}{p_1} \left[\frac{1}{c_p} d_1 Q + \omega (\gamma_p - \alpha_p) \right] \right\} \quad (\text{IV.14})$$

donde el término $\vec{v}_0 \cdot \nabla \theta_0$ puede omitirse por la razón antes indicada.

La interesante discusión de la ecuación (IV.14) que puede verse "in extenso" en Petterssen (1957), indica que el término de estabilidad actúa en general frenando la producción de vorticidad al nivel del mar, mientras que el término diabático la favorece o la inhibe según la naturaleza y configuración de la fuente de calor. El término en laplaciana de la advección térmica actúa de guía del movimiento del sistema y contribuye poco o nada al crecimiento. Este se debe básicamente al término de advección de vorticidad al NDN cuando la configuración de las equipotenciales y de las isopletras de vorticidad es la adecuada.

En consecuencia, para investigar cualitativamente el crecimiento, analizaremos la advección de vorticidad sobre el Principado. Es preciso, en primer lugar, construir las isopletras de vorticidad geostrofica relativa

$$\xi_g = \partial_x v_g - \partial_y u_g \quad (\text{IV.15})$$

que se escribe, explicitando las componentes del viento geostrofico:

$$u_g = -\frac{1}{f} \partial_y \phi \quad v_g = \frac{1}{f} \partial_x \phi \quad (\text{IV.16})$$

en la forma

$$\xi_g = \frac{1}{f} \nabla_p' \phi - \frac{u_g}{f} \beta \quad (\text{IV.17})$$

donde β es el parámetro de Rossby

$$\beta = \partial_y f = \frac{2 \Omega \cos \varphi}{a} \quad (\text{IV.18})$$

con a = radio terrestre.

Como β es del orden de $10^{-11} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ y $f \approx 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ mientras que $u_g < 100 \text{ m/s}$, el segundo término de (IV.17) resulta del orden de 10^{-6} s^{-1} y se puede despreciar frente al primero, que es del orden de 10^{-4} a 10^{-5} . Resulta entonces

$$\xi_g \approx \frac{1}{f} \nabla_p' \phi \quad (\text{IV.19})$$

La laplaciana se puede obtener a partir de la configuración del campo de geopotenciales en el mapa. En efecto, la laplaciana se expresa en

diferencias finitas en una de las formas

$$\nabla_p^2 \phi = \frac{2\phi_i - 4\phi_0}{d^2} = 4 \frac{\bar{\phi} - \phi_0}{d^2} \quad (\text{IV.20})$$

donde ϕ_i son los geopotenciales leídos en los extremos de los brazos de la rejilla utilizada para discretizar, ϕ_0 es el valor en el centro, $\bar{\phi}$ el promedio de los ϕ_i y d es el brazo de la rejilla. Resulta entonces

$$z_g = \frac{1}{f} \nabla^2 \phi = \frac{4}{fd^2} (\bar{\phi} - \phi_0) \quad (\text{IV.21})$$

La aplicación directa de (IV.21) a los mapas de aire superior rara vez da buen resultado. Aparte de los errores de lectura en los nudos de la malla, muy fáciles de cometer incluso por un operador cuidadoso y experimentado, hay que tener en cuenta los del propio análisis del campo de geopotenciales. Para obtener la matriz de valores a la cual aplicar (IV.21), se ha procedido a suavizar el campo de geopotenciales de la manera siguiente:

- a. Se leen los valores del geopotencial en los nudos de la red. Esta se ha escogido de 3x3 grados de latitud tras algunos ensayos previos en los que se había intentado sin éxito emplear una malla más fina.
- b. Se transcriben los valores de cada fila de la matriz (latitud constante) a un gráfico en el que el geopotencial figura en ordenadas y la longitud en abscisas.
- c. Se construye una curva suavizada correspondiente a cada latitud. Si el análisis se ha hecho con cuidado y los valores del geopotencial se han leído correctamente, la curva suavizada pasa esencialmente por los puntos transcritos. En caso contrario, no sucederá así, y las curvas sirven además para detectar errores de lectura o de análisis.
- d. Se leen, sobre las curvas, los geopotenciales correspondientes a cada longitud. Se obtiene así una segunda matriz suavizada con respecto a la primera.
- e. A partir de ella, se construyen curvas análogas a las del paso 3 pero manteniendo ahora constante la longitud (es decir, se suavizan ahora las columnas de la matriz). Si los pasos 3 y 4 se han realizado cuidadosamente, las curvas del paso 5 pasan por los puntos transcritos y no se requiere ulterior suavizado. Caso contrario, se repite

el paso 4 con las curvas 5.

- f. Se aplica la ecuación (IV.21) a los valores de la matriz suavizada. El cálculo se ha llevado a cabo mediante un sencillo programa de ordenador que se presenta en el apéndice IV.
- g. Calculados todos los valores de la matriz de vorticidad geostrófica relativa se construyen las correspondientes isopletas.

Como puede verse en las figuras IV.2.69 a IV.2.72 la configuración en Ω de las equipotenciales es causa de que durante los días 6 y 7, la pequeña advección de vorticidad que se aprecia sobre Cataluña sea de signo desfavorable, es decir, haya advección débil de vorticidad relativa anticiclónica. Tan sólo en el día 8 se aprecia advección de vorticidad relativa ciclónica, que tendería a situar el máximo de vorticidad relativa ciclónica aproximadamente sobre Niza a las 06 TMG, pero el cambio de curvatura de las equipotenciales tendería simultáneamente a debilitarlo. La conclusión del análisis es contraria a la producción apreciable de vorticidad ciclónica al nivel del mar sobre el Principado.

Troposfera superior

h. Topografías de 300 hPa

El día 6 a las 00 TMG, la corriente en chorro se sitúa al N de los 50° N iniciándose una ondulación cuya loma se halla sobre el meridiano de Greenwich y cuya curvatura se pronuncia a medida que transcurre el tiempo. La baja, cada vez más profunda, penetra en la troposfera superior y obliga a la corriente en chorro a rodearla de tal forma, que desde el S de España hasta Inglaterra adquiere una circulación prácticamente meridiana (figs. IV.2.73 a IV.2.81) llegando a alcanzar la latitud de 35° N.

Las velocidades del viento a este nivel son más elevadas que a 200 hPa aunque los valores en el Mediterráneo Occidental suelen ser bajos hasta el día 8. El día 7 el eje del chorro se sitúa sobre Madrid con 120 kt.

El día 9 a las 00 TMG la baja ya ha desaparecido y el gradiente de geopotencial se ha suavizado. El eje del surco se extiende desde Gibraltar hasta el N de Inglaterra alcanzándose en centroeuropa velocidades entre 70 y 120 kt. Al atardecer, el surco, más suavizado, se halla so -

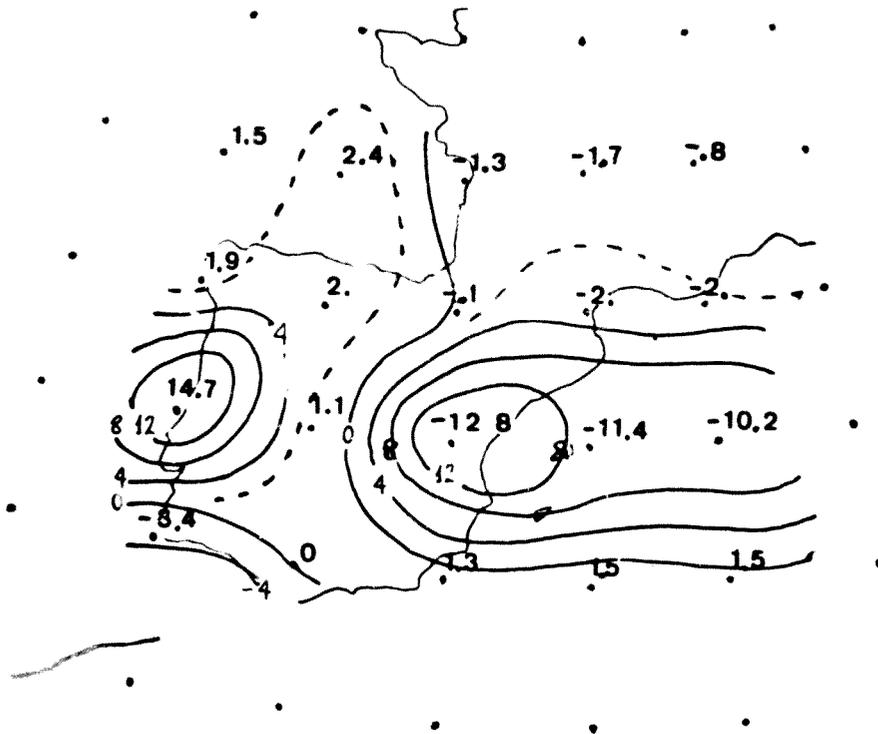


Fig.IV.2.69. Análisis de la vorticidad a 500 hPa el día 6 a las 12 TMG

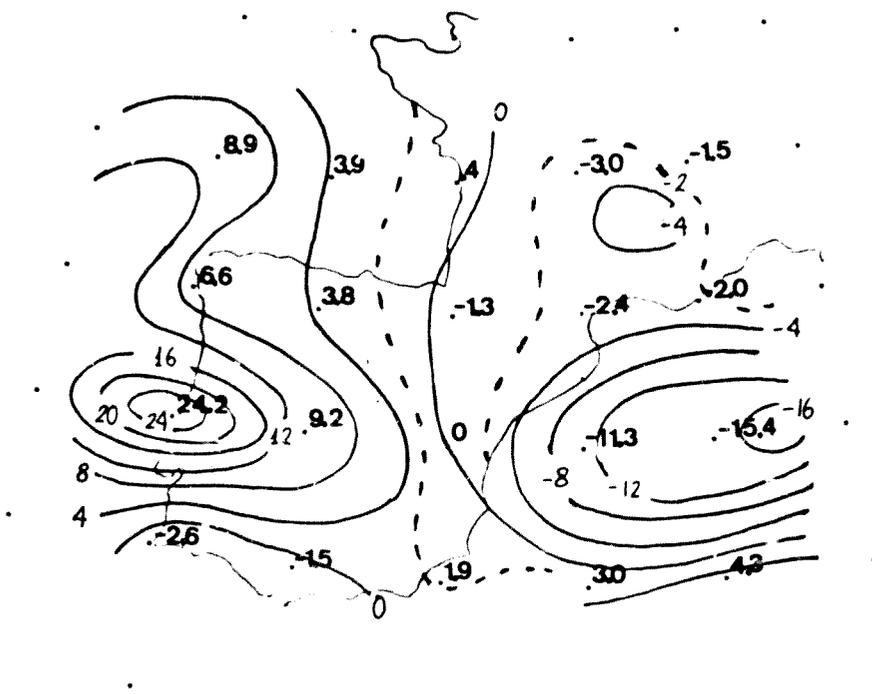


Fig.IV.2.70. Análisis de la vorticidad a 500 hPa el día 7 a las 00 TMG

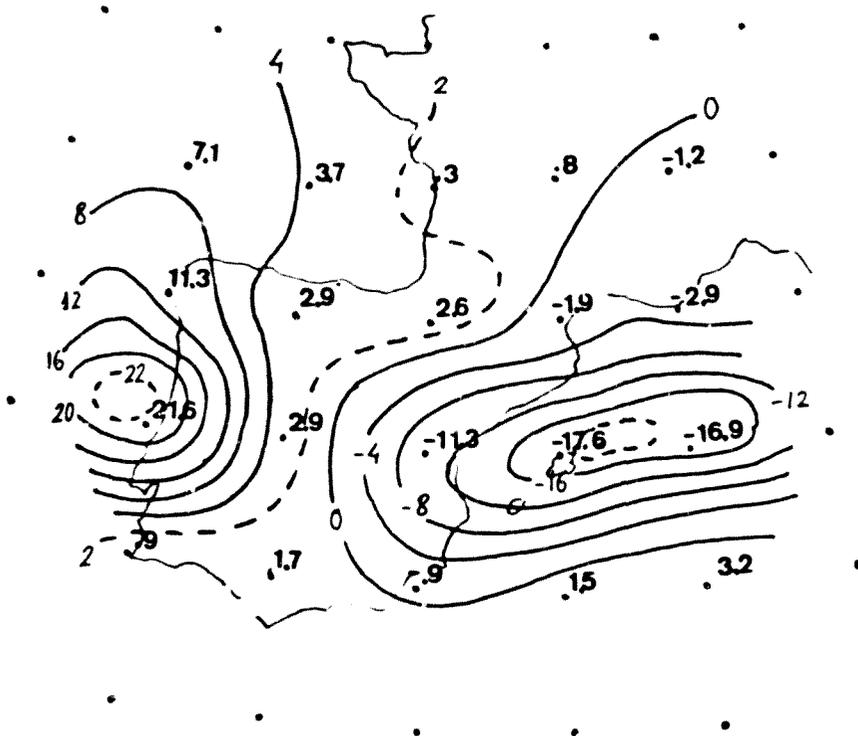


Fig.IV.2.71. Análisis de la vorticidad a 500 hPa el día 7 a las 12 TMG

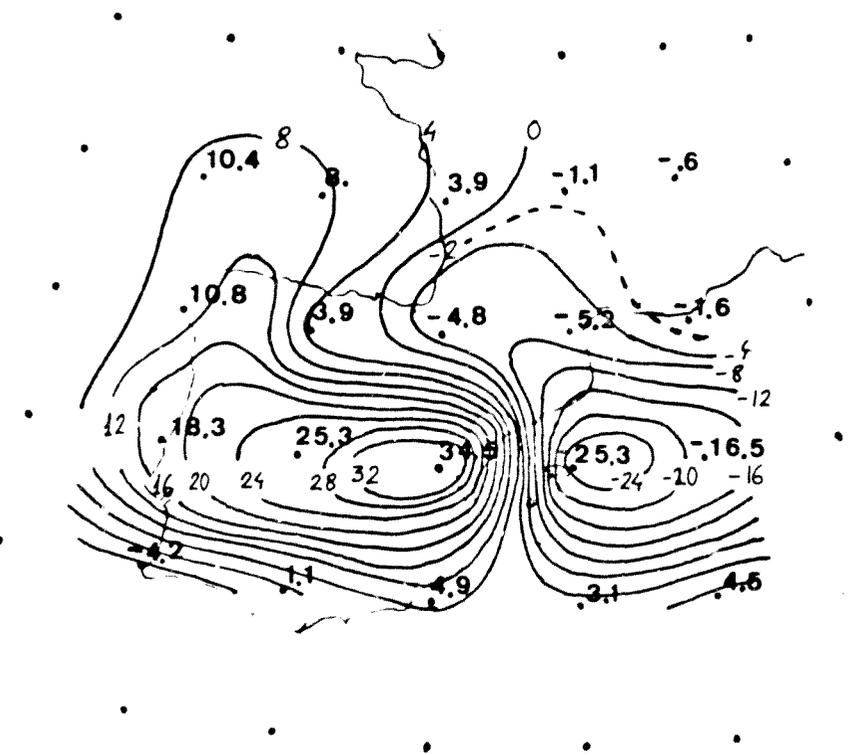


Fig.IV.2.72. Análisis de la vorticidad a 500 hPa el día 8 a las 00 TMG

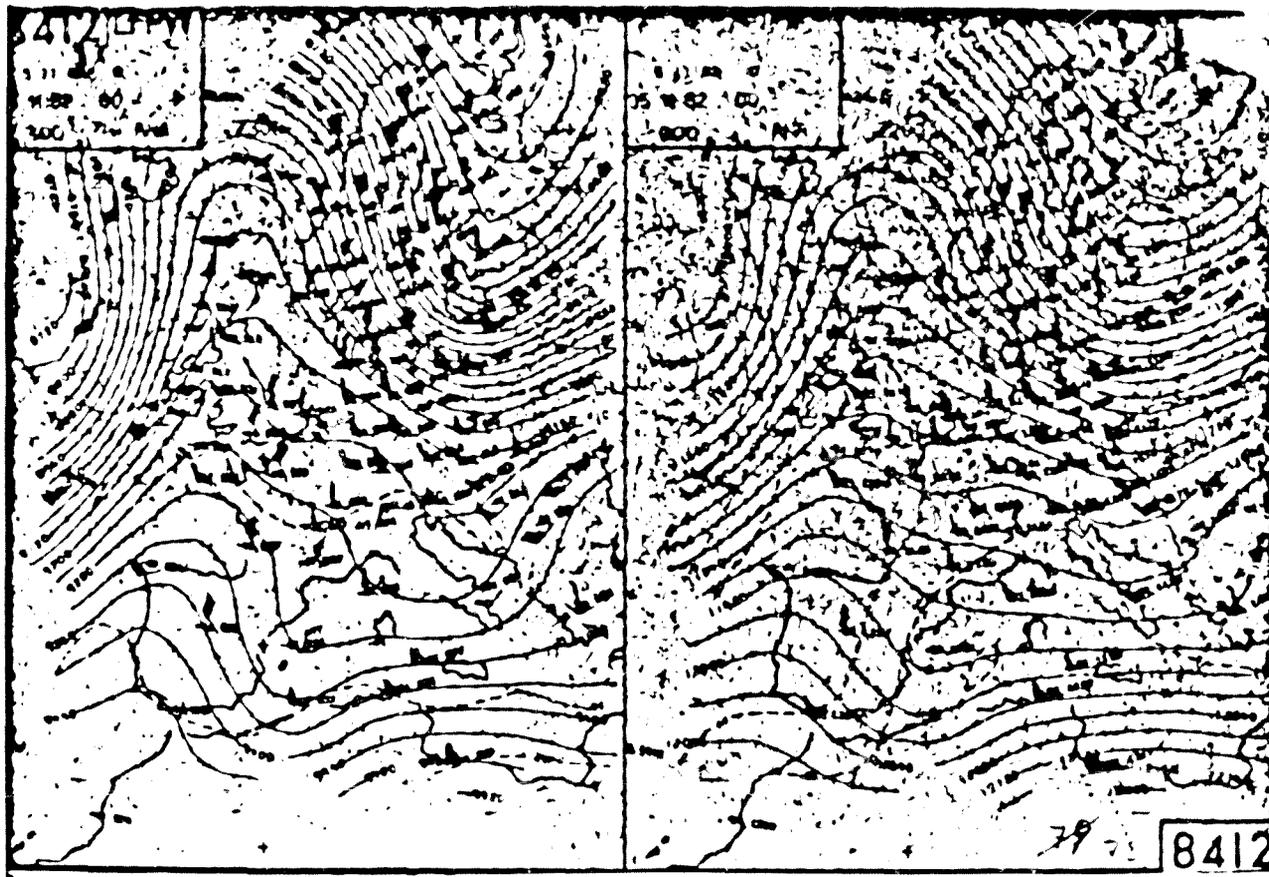


Fig.IV.2.73. Topografias de 300 y 200 hPa del 5-XI-82 a 00 TMG

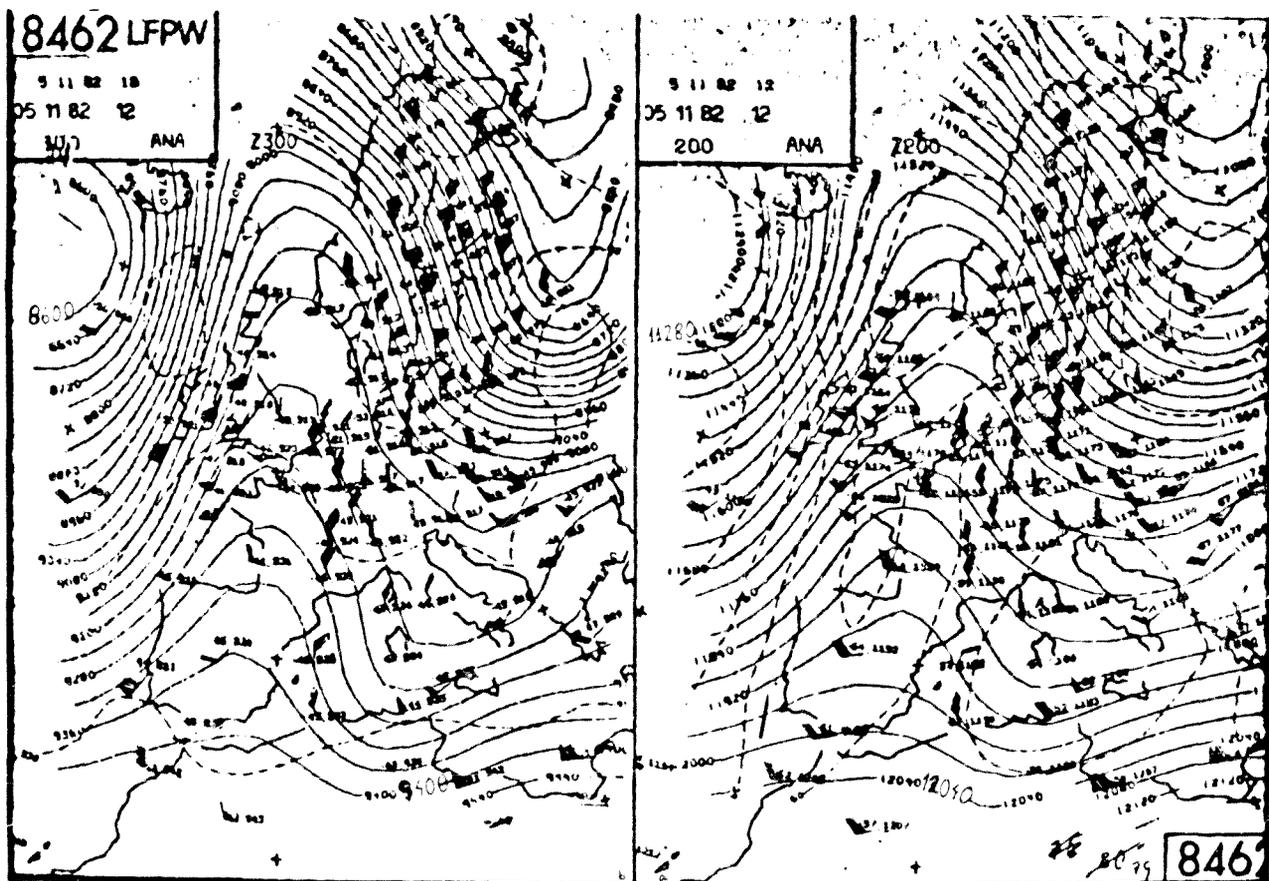


Fig.IV.2.74. Topografias de 300 y 200 hPa del 5-XI-82 a 12 TMG

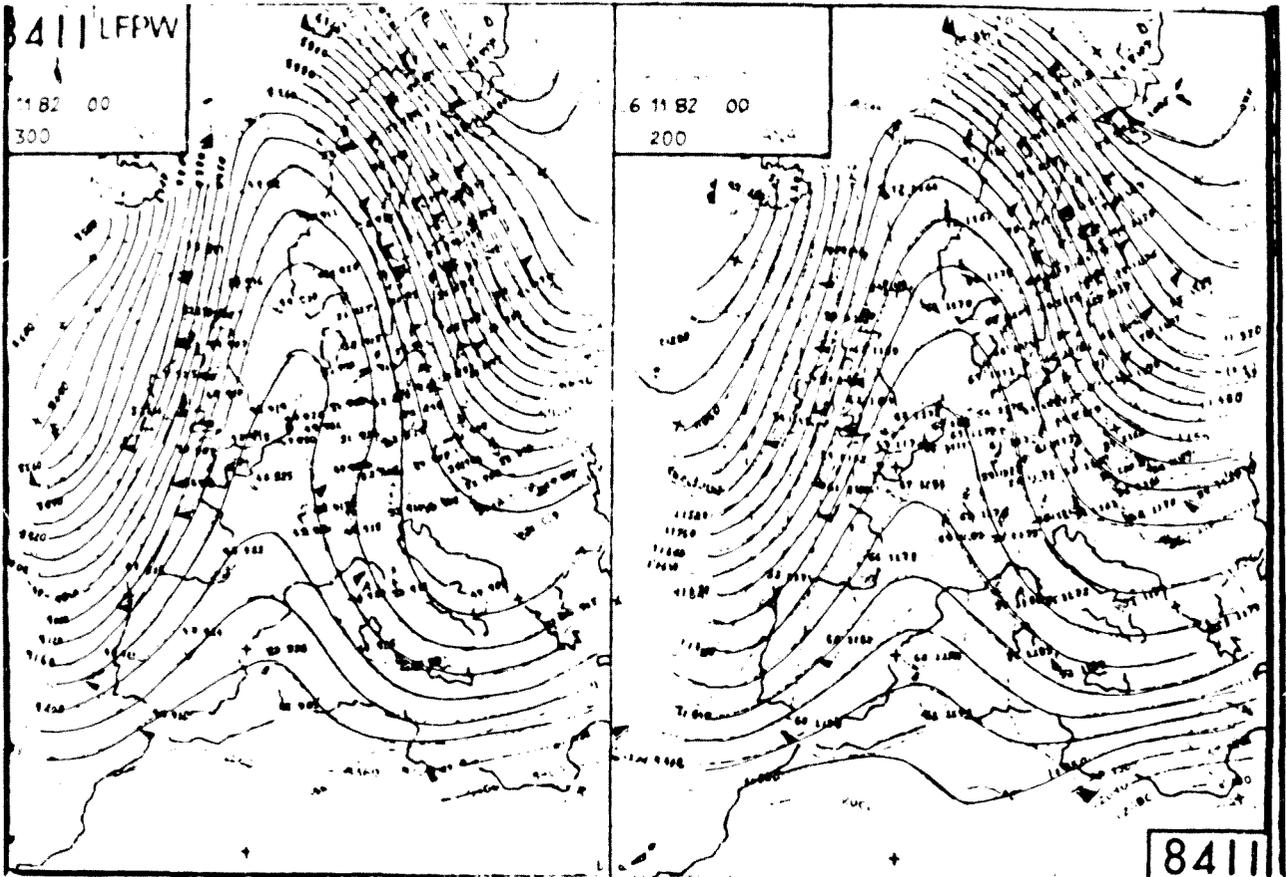


Fig.IV.2.75. Topografias de 300 y 200 hPa del 6-XI-82 a 00 TMG

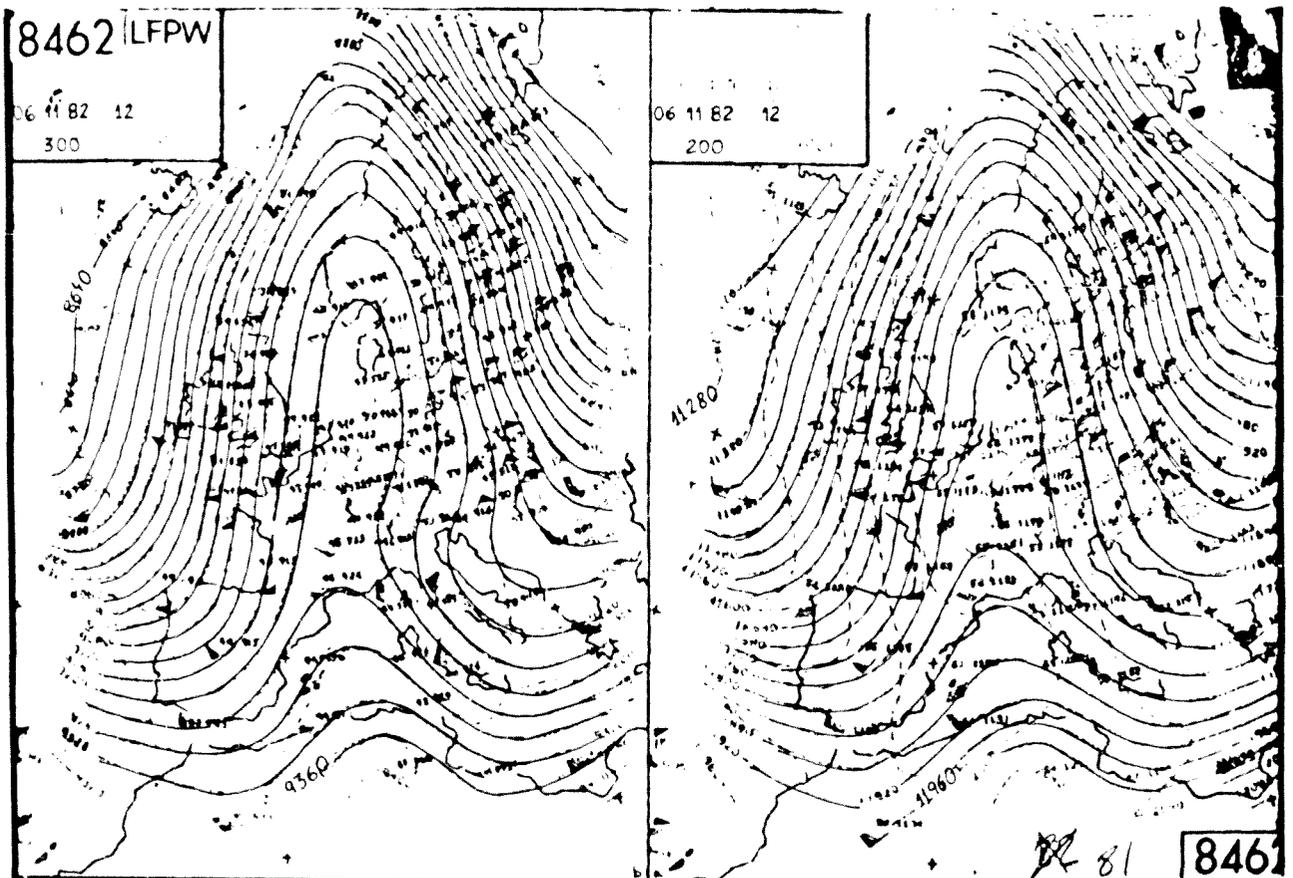


Fig.IV.2.76. Topografias de 300 y 200 hPa del 6-XI-82 a 12 TMG

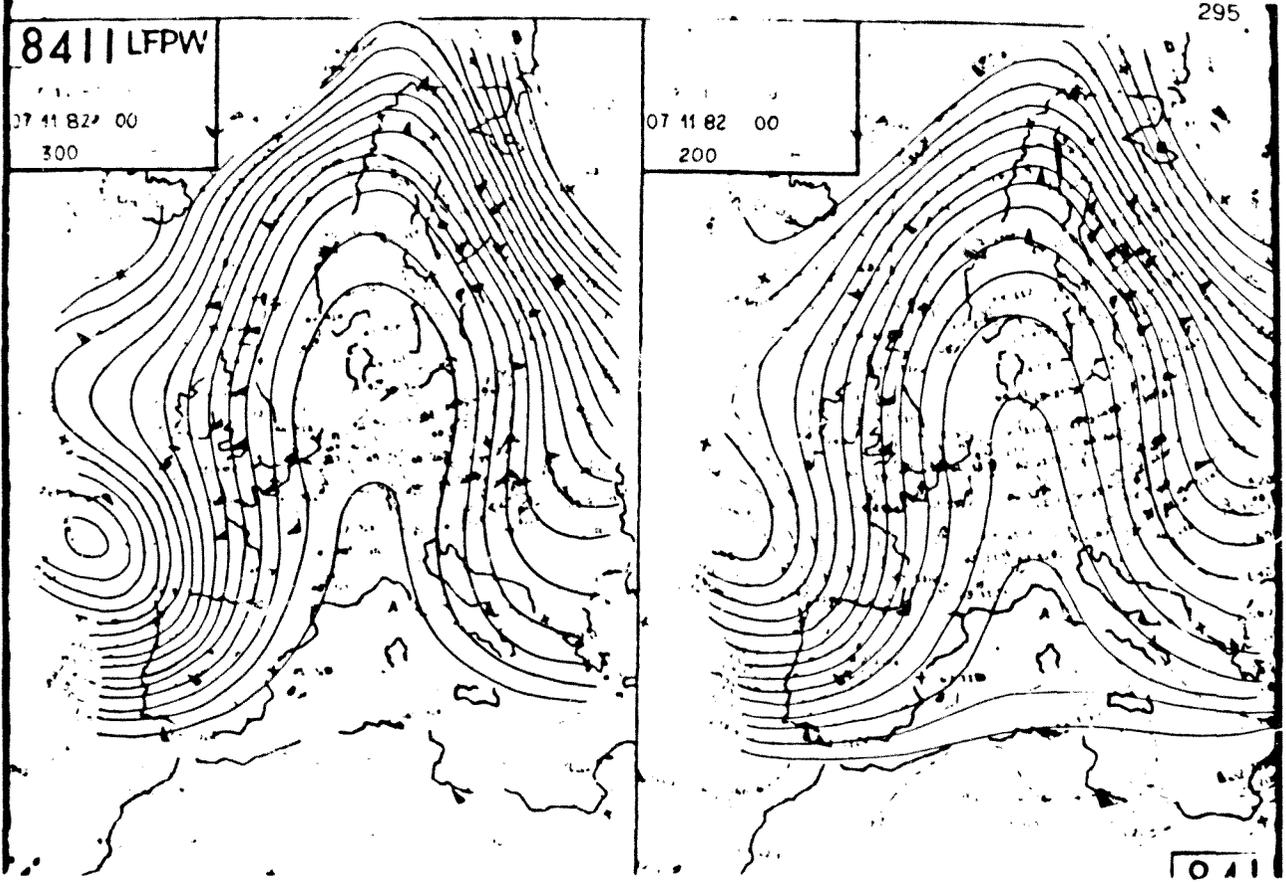


Fig.IV.2.77. Topografías de 300 y 200 hPa del 7-XI-82 a 00 TMG

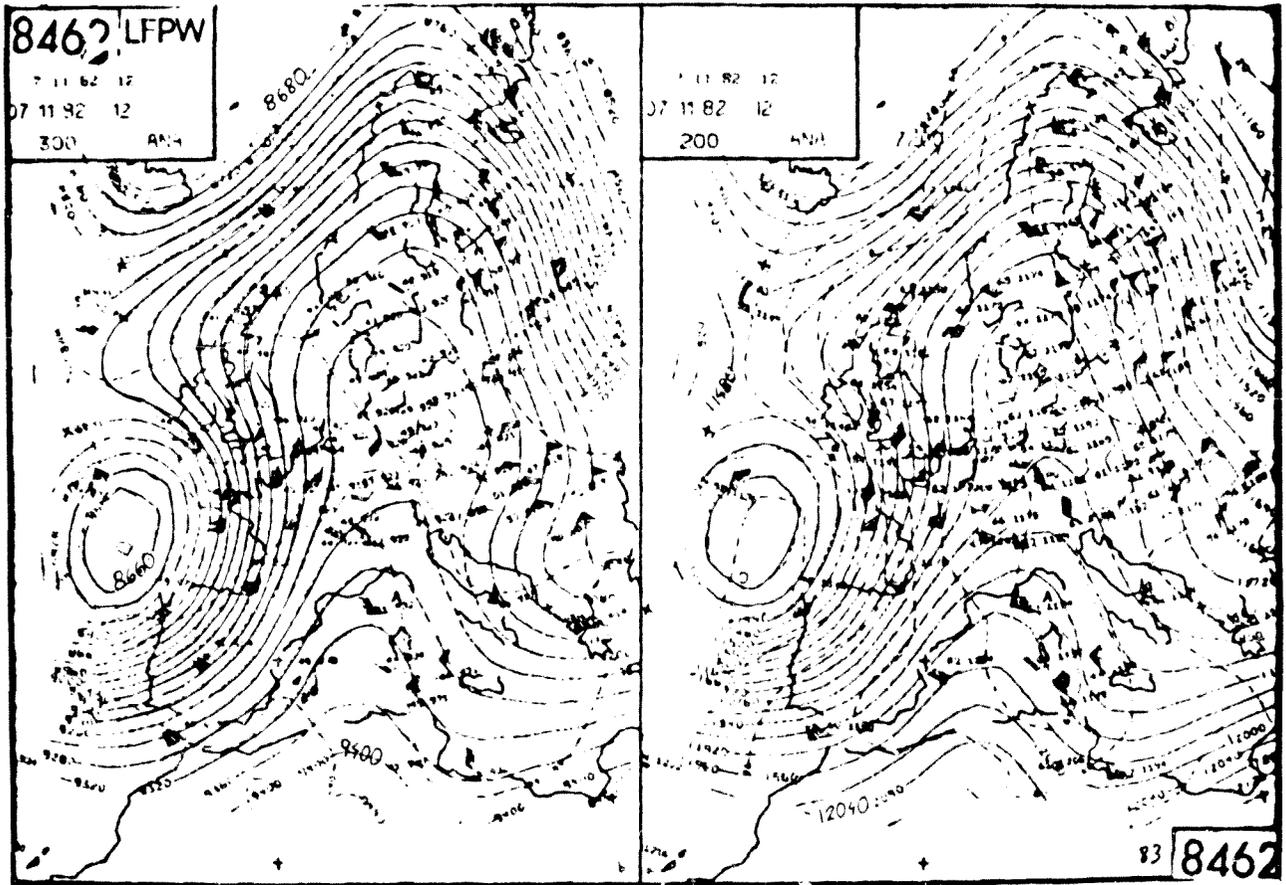


Fig.IV.2.78. Topografías de 300 y 200 hPa del 7-XI-82 a 12 TMG

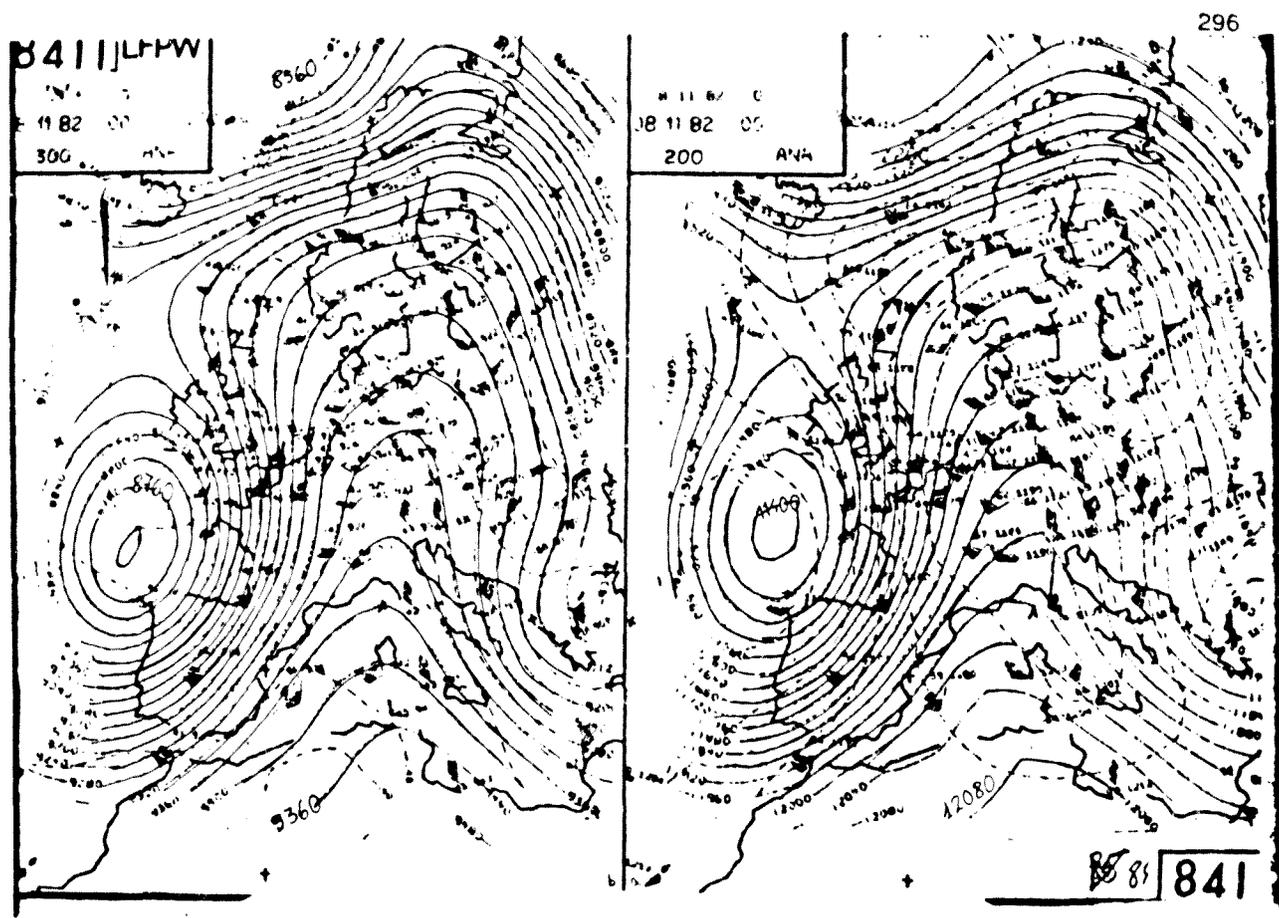


Fig.IV.2.79. Topografías de 300 y 200 hPa del 8-XI-82 a 00 TMG

bre Levante mientras la corriente en chorro tiende a recuperar su dirección zonal a unos 50° N.

i. Topografías de 200 hPa

De las 00 TMG del día 5 a las 12 del día 6, el eje de la dorsal se trasladada, sin girar apenas, unos 10° al E, siendo a esa hora cuando es más pronunciado. A partir de ese momento empieza a girar combándose hacia el NW pero sin cambiar de sitio (figs.IV.2.73 a IV.2.81). Simultáneamente, el surco situado sobre el Atlántico el día 5 a las 00 TMG se ha ido pronunciando mientras, sin apenas trasladarse, su eje giraba hacia el SE. El día 7 la baja ha adquirido identidad propia y alcanza su máxima profundidad a las 12 TMG. Ha sido esta penetración de aire frío por el NW lo que ha forzado el combamiento de la dorsal anticiclónica sobre ella, dando además, lugar a fuertes vientos de componente SW sobre la Península. A partir del día 8, la depresión se va debilitando.

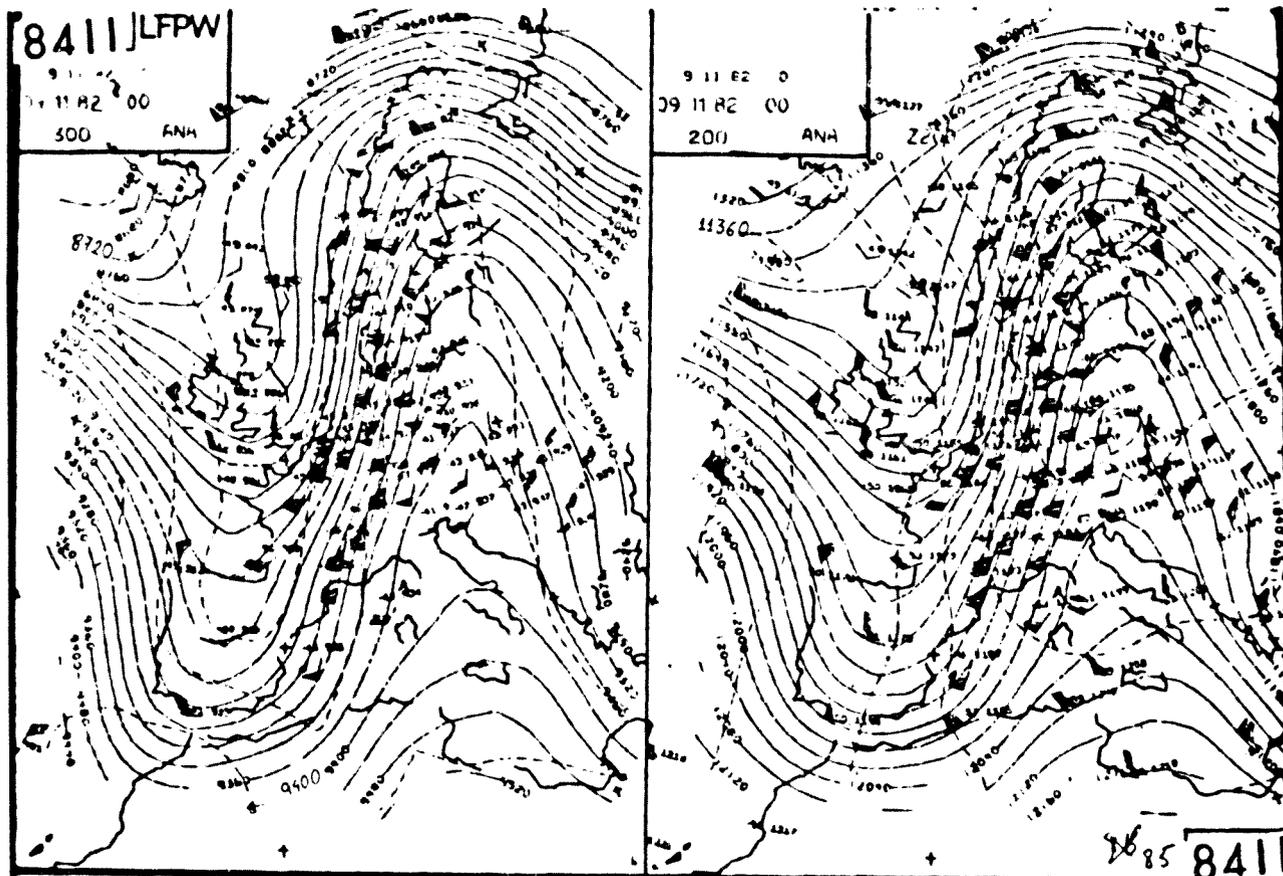


Fig.IV.2.80. Topografías de 300 y 200 hPa del 9-XI-82 a 00 TMG

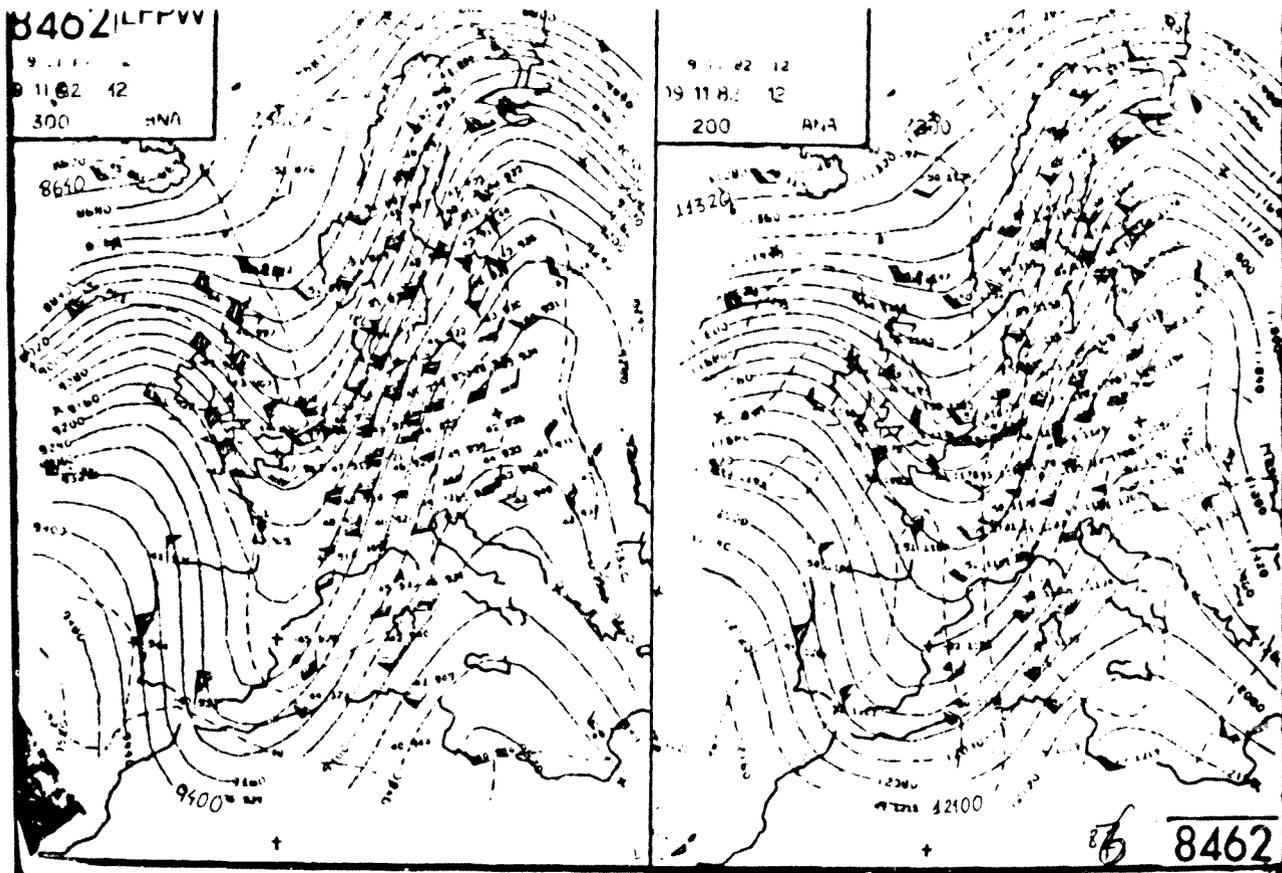


Fig.IV.2.81. Topografías de 300 y 200 hPa del 9-XI-82 a 12 TMG

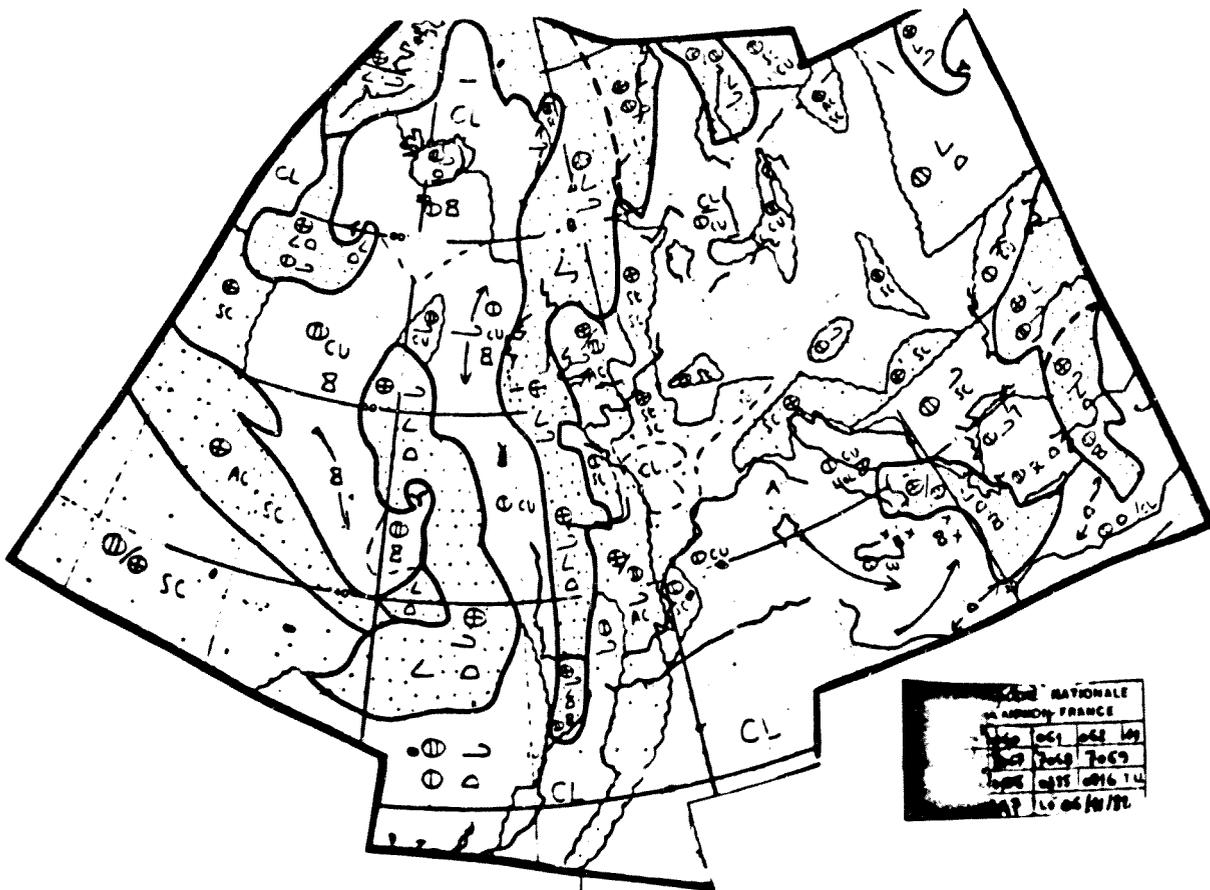


Fig.IV.2.82. "Nefanálisis" del día 6 a las 0516 TMG

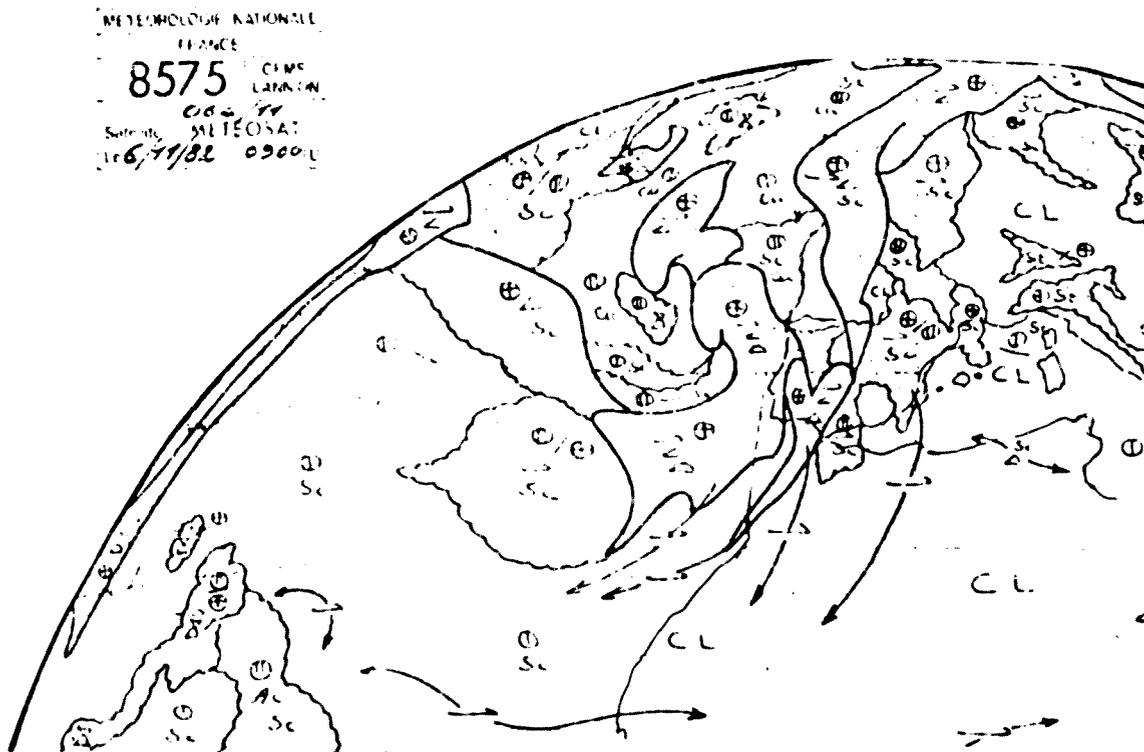


Fig.IV.2.83. "Nefanálisis" del día 6 a las 0900 TMG

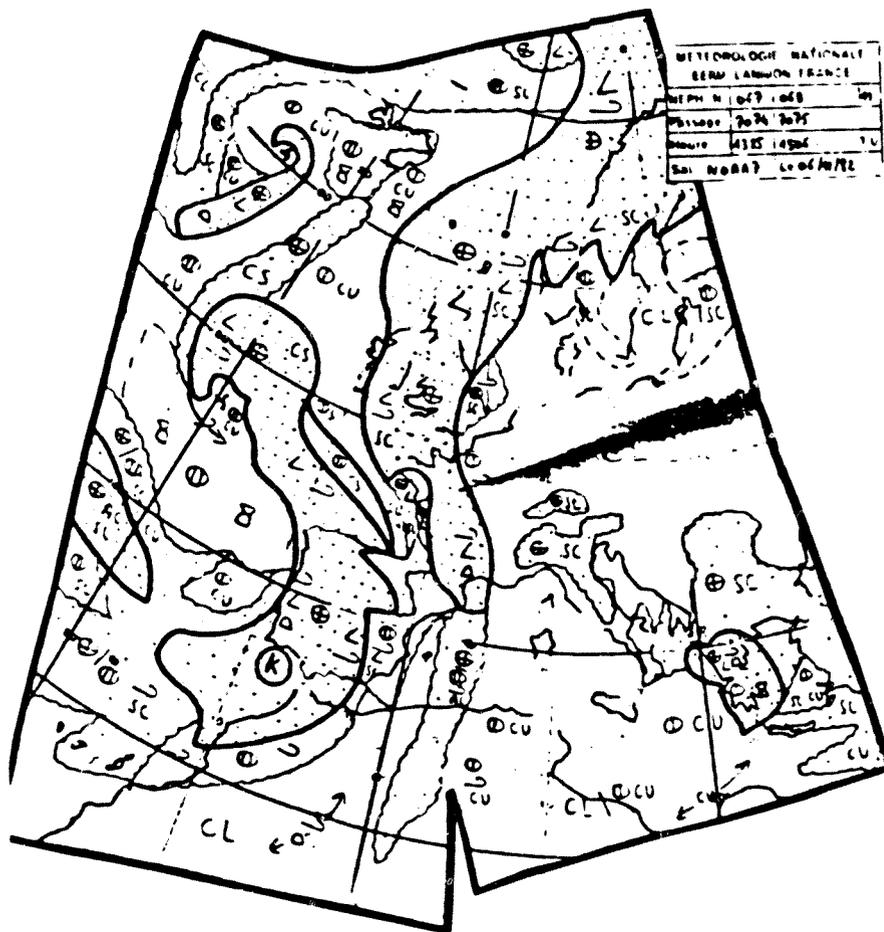


Fig.IV.2.84.

"Nefanálisis"
del día 6 a
las 1506 TMG

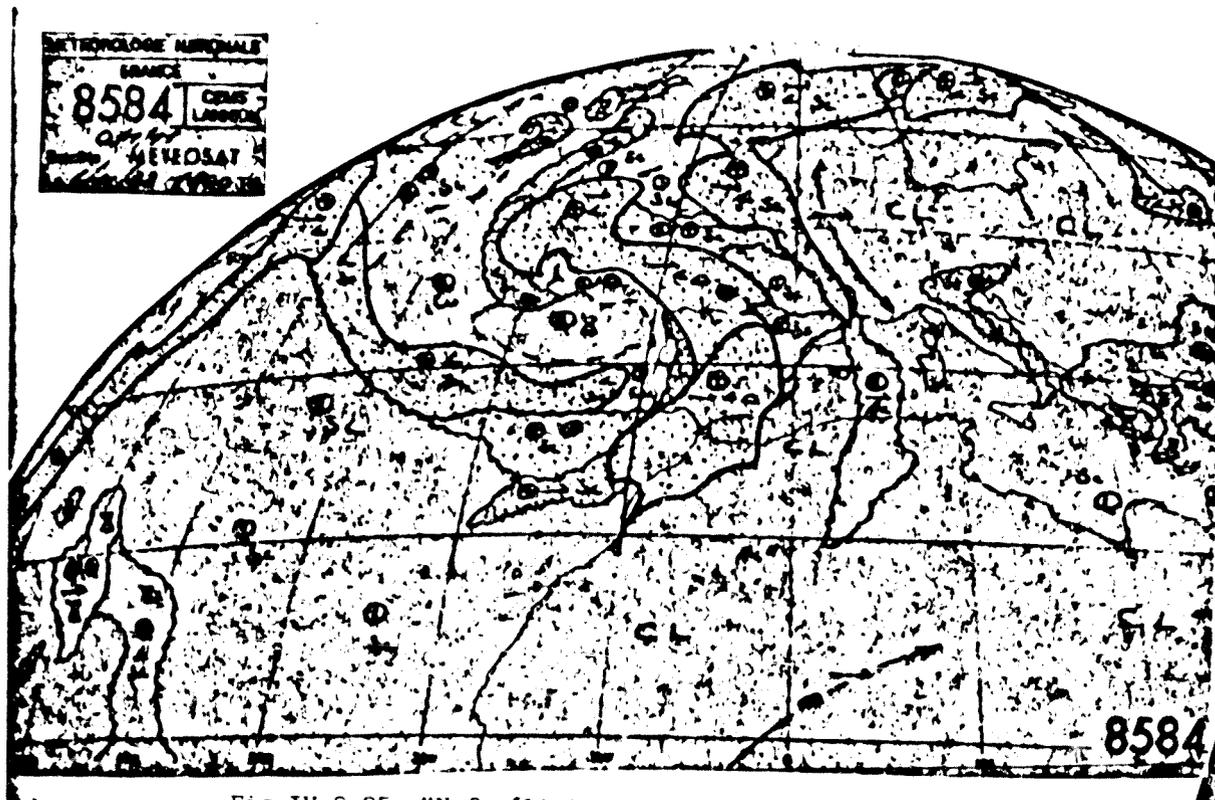


Fig.IV.2.85. "Nefanálisis" del día 6 a las 1800 TMG

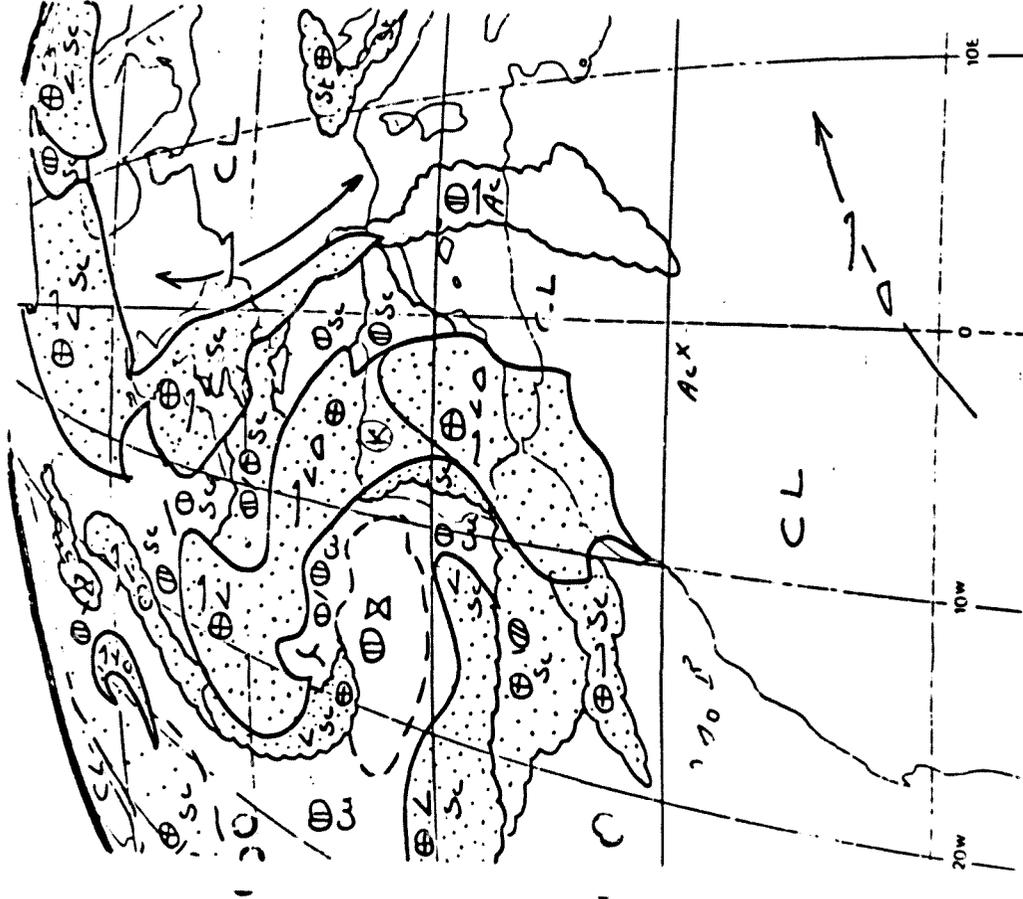


Fig.IV.2.86. "Nefanálisis" del día 6 a las 21 TMG y su correspondiente imagen de METEOSAT

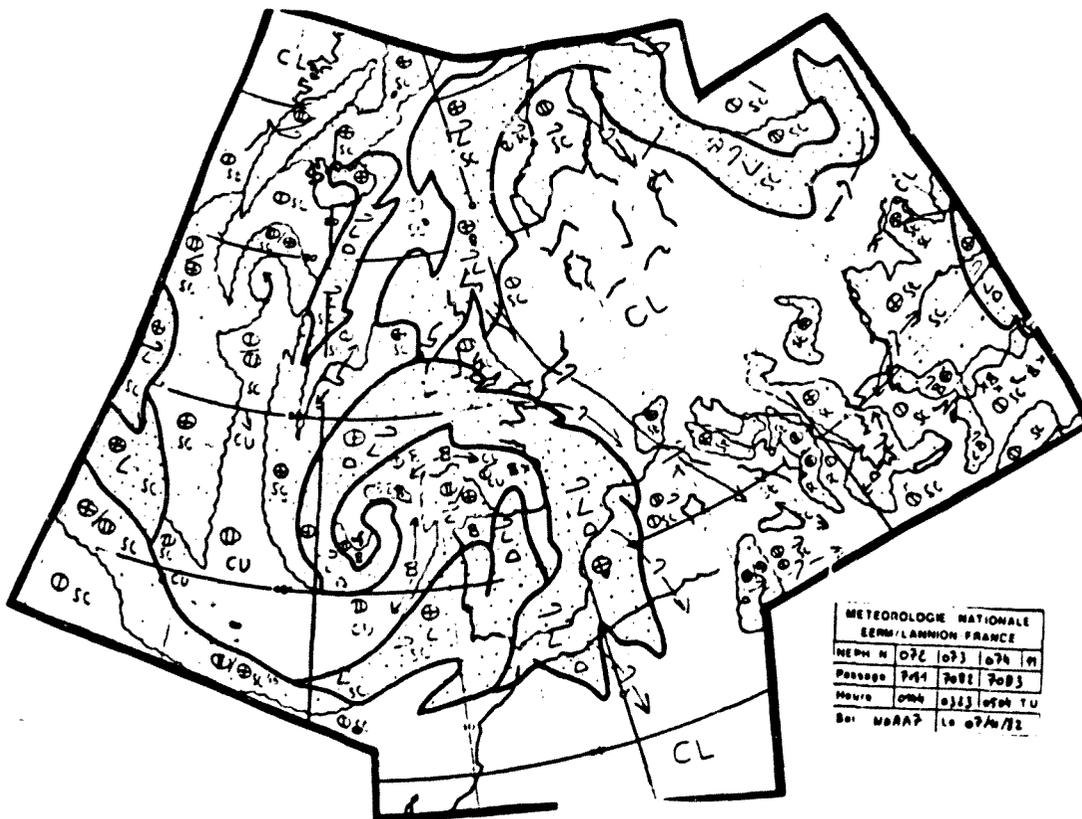


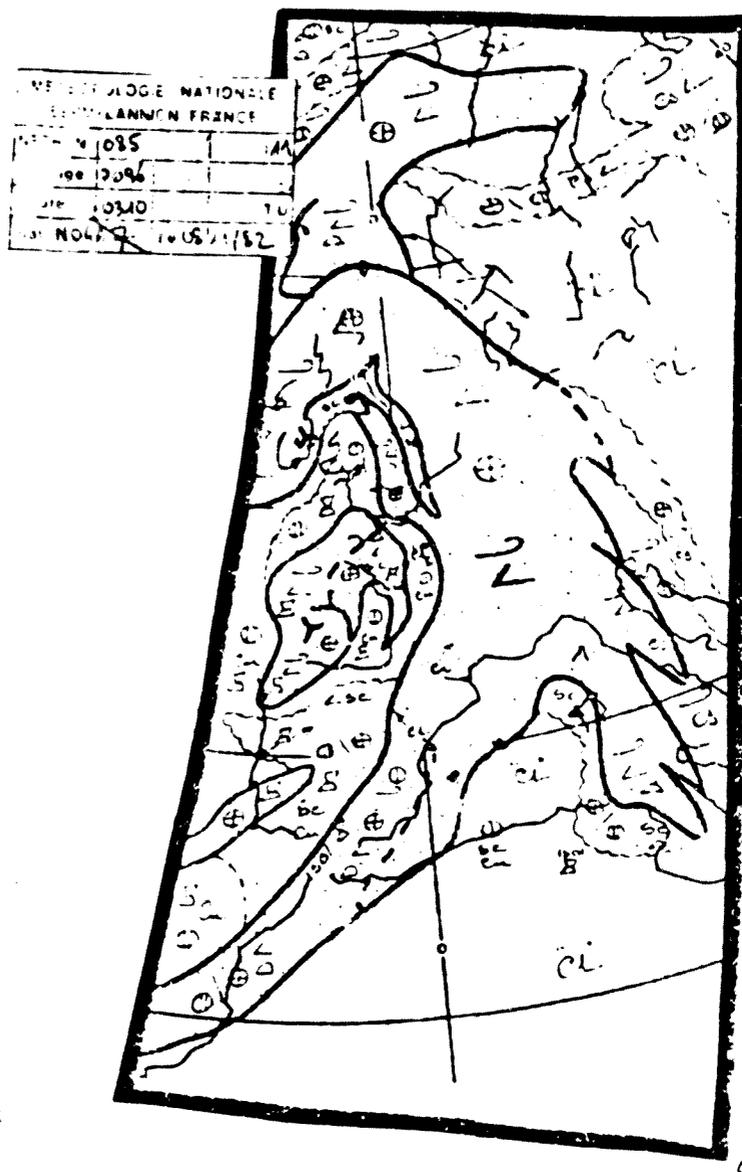
Fig.IV.2.87. "Nefanálisis" del día 7 a las 0504 TMG

j. Análisis de las nubes a partir de las imágenes de satélite

Durante el mediodía del día 5 se inicia una perturbación nubosa entre 20° y 30° N que se dirige hacia el Este-Sureste mientras que otra se extiende desde Las Canarias hasta el N de Gran Bretaña y Groenlandia. A las 0600 TMG, la perturbación nubosa (k) procedente del Atlántico alcanza Portugal, en tanto que la asociada a un frente frío se sitúa entre 5 y 10° W extendiéndose desde Marruecos hasta el NW de Escandinavia.

A lo largo del día 6 (figs.IV.2.82 a IV.2.86), el frente frío continúa reforzándose hacia el E-SE apareciendo un vórtice entre las 12 y las 15 TMG hacia 47° N y 20° W. La banda nubosa que se observa sobre el Mediterráneo es debida a la entrada de aire cálido procedente del N de Africa. Tanto el W de Andalucía como la parte NE de la Península Ibérica se hallan cubiertos de nubes altas y estratocúmulos. Por la tarde, el aire cálido se extiende desde Marruecos hasta el Golfo de Vizcaya y cubre la parte oriental de la Península, mientras que el resto de ella ya se halla bajo la perturbación K que prosigue su movimiento hacia el E.

Fig.IV.2.88. "Nefanálisis"
del día 8 a
las 0310 TMG



El día 7 (fig.IV.2.87) el aire frío continúa su penetración hacia el Este, provocando un fuerte ascenso del aire cálido sobre el E de España, el Mediterráneo y el S de Francia (obsérvese la aparición de cúmulos sobre la Península debidos al ascenso forzado en parte por la invasión de aire frío). El vórtice principal se dirige hacia el SE centrado aproximadamente a 43° N y 16° W, en tanto que se forma uno secundario a lo largo de Bretaña, lo que acentúa el ascenso de aire cálido hacia el N.

A lo largo de este día y del siguiente la perturbación K se alarga según los meridianos mientras se va trasladando hacia el E y disminuye la vorticidad. El vórtice principal se sitúa el día 8 sobre Irlanda; el secundario, sobre el Golfo de Vizcaya (figs.IV.2.88 y IV.2.89). Si bien



Fig.IV.2.89. "Nefanálisis" del día 8 a las 1800 TMG

por la mañana todavía hay entrada de aire cálido sobre Levante, Pirineo Oriental y sureste de Francia, a las 1800 TMG se ha trasladado al Mediterráneo Occidental y Centroeuropa habiendo dejado libre ya de su influencia a la Península Ibérica.

La presencia en las imágenes de satélite de más nimboestratos que cumulonimbos indica la posible estabilidad en una amplia capa del sondeo.

IV.2.3 Análisis de la información obtenida a partir de los radiosondeos

Para este episodio se ha dispuesto, excepcionalmente, de los radiosondeos de Palma, Madrid, La Coruña, Gibraltar, París, Lyon, Burdeos, Brest, Nîmes y Ajaccio. De todos ellos el que se ha estudiado con mayor detalle es el de Palma de Mallorca, utilizándose los restantes para efectuar un estudio comparativo a fin de seguir la evolución del sistema.

Se presenta primero el estudio realizado para Palma y en una segunda parte, la información obtenida a partir de las restantes estaciones.

a. Análisis de los radiosondeos de Palma

a.1. Índices de estabilidad

El índice de Showalter sólo indica la posibilidad de producción de

chubascos los días 5 y 7 a las 00 TMG (fig.III.6.4). El índice LI muestra mayor inestabilidad que el de Showalter; así, el día 5 a las 00 TMG, el día 8 a las 12 TMG y el día 9 en ambos radiosondeos, indica la formación de tormentas (fig.III.6.4). Estas, sin embargo, no llegaron a producirse siempre, mientras que el día 7 a las 12 TMG y el día 8 a las 00 TMG, cuando en Cataluña se estaban registrando fuertes lluvias, indicaba estabilidad. Más ajustados a dicha situación fueron los valores del índice K según los cuales la probabilidad de tormentas era del 40 al 60 % en estos dos últimos casos (fig.III.6.3)

El índice de totales sí indica riesgo de tormentas muy fuertes e incluso de tornados, pero lo hace para los días 5 y 9, en que no llovió, y para el día 7 a las 00 TMG en cuyo caso sí concuerda con lo que sucedió en Cataluña (fig.III.6.2).

Por último, el índice de amenaza de mal tiempo (SWEAT) sólo indica una pequeña posibilidad de tormentas intensas el día 8 a las 12 TMG (fig.III.6.1).

Las curvas de evolución de los índices SI y LI muestran una variación anómala, ya que crecen considerablemente los días 7 y 8, lo que indicaría una mayor estabilidad.

a.2. Humedad relativa

Comparando las figuras III.6.5 a III.6.10 se observan las características siguientes:

- El día 5 a las 00 TMG aparece una capa de aire considerablemente húmedo entre el suelo y 730 hPa sobre la que se sitúa una de aire muy seco. A las 12 TMG esta última se extiende entre 800 y 300 hPa. En los sondeos posteriores se observa como desciende y se atenúa hasta que el día 7 a las 12 TMG ya ha perdido su identidad. En el sondeo del día 9 parece que vuelve a producirse una penetración de aire seco en altura.
- Sólo el día 6 aparece una capa más húmeda en torno a 900 hPa que en superficie. En los restantes casos la humedad en la proximidad del suelo disminuye con la altura.
- Además de la capa húmeda existente en la baja troposfera, suele

situarse otra, que incluso puede llegar a estarlo más que aquella, en torno a 500 hPa, inmediatamente encima del aire más seco.

- El día 8 a las 12 TMG la humedad entre la superficie y 500 hPa supera el 80%, lo que da idea de los procesos de mezcla que tienen lugar.
- Comparando con el sondeo medio se obtiene:

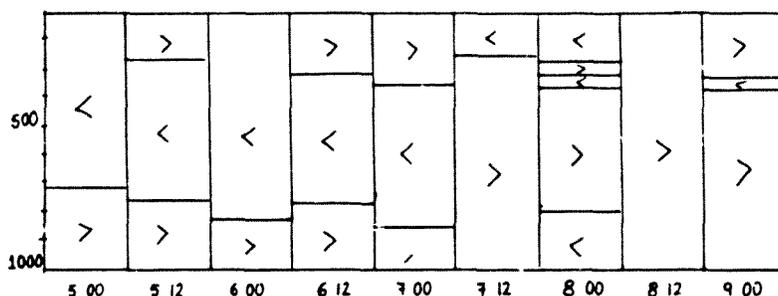


Fig.IV.2.90

a.3. Masa de agua precipitable

Esta es siempre superior a la media, aumentando desde el día 5 hasta el 7 y 8 para luego disminuir. Desde 1000 hPa hasta 300 hPa el porcentaje más elevado se alcanza el día 7 a las 12 TMG, en que llega a ser del 202%. (Figs.III.6.29 y III.6.30).

Entre 1000 y 850 hPa, la masa de agua precipitable supera a la media en todos los casos, siendo el valor más alto de $14,32 \text{ kg/m}^2$ (correcta de presión), un 194%. Es notable sobre todo la elevada cantidad que existe en los niveles próximos al suelo; por ejemplo, el día 8 se superan los 4 kg/m^3 en 330 m y el día 7, los $6,4 \text{ kg/m}^3$ en unos 480 m.

Es interesante la evolución experimentada en la alta troposfera, donde pasa de un 24 % el día 5 a las 12 TMG a un 243 % el día 8 a la misma hora. Esto se explica en primer lugar porque el aire a esos niveles era considerablemente seco el día 5 y húmedo el día 8, y en segundo lugar, porque su temperatura aumentó (entre los sondeos de las 00 TMG hay 9° de diferencia a 500 hPa).

a.4. Temperatura

Los días 7 y 8 es en todos los niveles superior a la media. Las diferencias son extraordinarias; por ejemplo, el día 8 llega a diferir 7,2° C en superficie y 8,2° C a 850 hPa. Aunque no de forma tan notable, esta situación domina los días 5 y 6 si bien algunas capas están más frías, coincidiendo bastante bien con las más secas.

El día 8 a las 00 TMG, la temperatura no sólo rebasa a la media como ya se ha dicho, sino que es superior a la de todos los restantes radiosondeos, independientemente de la hora (se entiende, de este episodio). Esto sucede para todos los niveles con excepción del de 700 hPa, y por tanto no puede ser atribuido a calentamiento diurno sino que debe tratarse de la advección cálida ya mencionada.

Salvo la temperatura en superficie, en los otros niveles es el día 9 inferior a la media, aunque la diferencia máxima tan sólo es de 1,7° C. (Fig.III.6.41)

a.5. Presión en superficie

Este es el episodio en el que se registra un mayor decrecimiento. El valor más bajo se alcanza el día 7 a las 12 TMG momento en que es de 996 hPa (fig.III.6.32).

a.6. Viento

El día 5, el viento es en altura predominantemente del N, del NW a 850 hPa y del SW en superficie. Esta situación cambia el día 6 a las 00 TMG penetrando a 500 hPa y por encima, viento del W, en tanto en la troposfera media y baja domina la componente S. A partir de las 12 TMG, el viento del S se extiende a todos los niveles con excepción del suelo en que los días 6 y 7 sopla viento flojo del E. En los niveles medios y altos el viento es fuerte alcanzando los 65 kt a 300 hPa el día 8. La máxima velocidad registrada durante el episodio fue de 86 kt a 221 hPa.

Este es el único caso de los cinco analizados en que el viento alcanza velocidades notables. En los restantes suele ser bastante débil (se entiende que en Palma o, más concretamente, Son Bonet).

a.7. Estabilidad de estratificación

En la figura II.6.41 se presenta un esquema del carácter de la estratificación antes y durante el episodio.

El día 5 diversos estratos de poco espesor, situados en la vecindad del suelo y en la troposfera media, presentan inestabilidad $\alpha > \gamma$. A las 12 TMG hay indiferencia para aire húmedo entre 500 y 400 hPa. A esa misma hora, la inestabilidad condicional se extiende a toda la troposfera baja, al igual que la inestabilidad latente por ascensos en bloque. Los ascensos mínimos oscilan entre 370 y 2250 m aproximadamente. La inestabilidad latente efectiva por ascensos finitos sólo aparece en una pequeña capa próxima al suelo. Aunque no se alcanza la temperatura de convección libre, la nubosidad aumenta a medida que transcurre el día, descendiendo la base de las nubes que son, en general, de tipo cumuliforme.

A las 00 TMG del día 6, pequeños estratos con inestabilidad condicional y convectiva se alternan con otros con inestabilidad $\alpha > \gamma$ o indiferencia. A esta hora tampoco hay inestabilidad efectiva para ascensos finitos. A las 12 TMG la situación ha cambiado notablemente: en la vecindad del suelo se sitúa una capa de unos 50 hPa de espesor con verdadera inestabilidad absoluta, en tanto que la inestabilidad convectiva se extiende hasta 700 hPa con unos ascensos mínimos que apenas llegan a los 800 m (tabla IV.2.6). Dado que se supera la temperatura de convección libre (19° C) se desarrollan, hacia el mediodía, nubes por encima de los 930 hPa que llegan a cubrir más de 7/8 de cielo. Además de los cúmulos y estratocúmulos se forman cirros en altura.

El día 7 la inestabilidad condicional se extiende a toda la troposfera baja y media. La inestabilidad convectiva llega hasta 650 hPa a las 00 TMG, reduciéndose el espesor de la capa que la presenta a las 12 TMG. En este día apenas se registra inestabilidad latente efectiva. A las 12 TMG el cielo está cubierto por cúmulos, estratocúmulos y altocúmulos, con bases comprendidas entre 2000 y 2500 m.

Una mayor inestabilidad se registra el día 8. La inestabilidad condicional se extiende a gran parte de la troposfera; aparece una gruesa capa con indiferencia por encima de 400 hPa; a las 12 TMG

hay verdadera inestabilidad absoluta en los primeros 250 m. El cielo pasa de estar completamente tapado a las 00 TMG a unos 5/8 de fractoestratos, fractocúmulos, altoestratos y nimboestratos a las 12 TMG.

El día 9 se vuelve a encontrar verdadera inestabilidad absoluta en la proximidad del suelo, y diversos estratos en la troposfera media y baja presentan inestabilidad condicional y/o convectiva. La nubosidad disminuye a lo largo del día.

Tabla IV.2.6

DIA	HORA	ESTRATO (hPa)	ALTURA MINIMA (m)
5	00	878-837	1250
		756-700	370
	12	1000-976	550
		976-850	470
		850-797	630
		797-779	370
		779-761	1300
761-744	2250		
359-342	700		
307-300	80		
6	00	990-898	290
		898-861	240
		700-621	1900
	12	911-882	200
		882-850	230
		850-801	800
801-752	700		
7	00	999-938	200
		938-917	750
		917-774	1300
		700-619	1550
	12	496-924	450
		747-700	130
8	00	937-956	840
		956-930	1570
		930-921	1900
		921-904	1960
		904-850	2090
		594-560	740
	560-519	840	
	12	918-850	300
797-700		330	
9	00	850-838	540
		744-733	290
		548-500	260
	12	1000-956	830
		956-850	730
		850-776	880
770-731	720		

a.8. Diagramas de masa de aire

Entre el día 5 y el 7, una masa del tipo C_d se extiende a lo largo de la mayor parte de la troposfera (fig.III.6.30). A lo largo del episodio irá evolucionando hasta transformarse en una masa K_d y posteriormente K_m . La inversión de subsidencia es cada vez más marcada aunque su espesor va disminuyendo. Bajo la capa subsidente, cada vez más seca y estable, hay una capa muy húmeda e inestable. La inversión limitará el desarrollo vertical de las nubes por lo que se formarán únicamente pequeños cúmulos o estratocúmulos. El día 6 a las 12 TMG, la fuerte inestabilidad que se registra hasta 900 hPa permite rebasar la inversión y una vez alcanzada la temperatura de convección libre, la formación de cúmulos de mayor desarrollo vertical.

En altura se ha situado una masa del tipo C_c que evoluciona hasta el tipo K_c , la cual se extiende a toda la troposfera por encima de 770 hPa, el día 7 a las 12 TMG. Esto permite la formación de nubes altas, pudiendo incluso desarrollarse cumulonimbos.

El día 8 se observa en la baja troposfera aire extremadamente seco, con lo que, pese a tratarse de una masa del tipo C_c difícilmente se formarán nubes. A las 12 TMG, el tipo K_m caracteriza a toda la troposfera a partir de 900 hPa. Esto indica que la perturbación ya es vieja y que los procesos de mezcla se extienden a toda la atmósfera.

El día 9 se produce una penetración de aire frío en la baja troposfera (masa C_n) que luego se va extendiendo a toda la atmósfera, si bien en altura dominan todavía los procesos de mezcla. Esto justifica la formación de cúmulos que se registró en Palma.

En la figura IV.2.91 se representa un corte vertical de la troposfera y su evolución con el tiempo. En él se inscriben las isotermas y las líneas de igual temperatura potencial del termómetro húmedo, así como la temperatura y el vector viento. Obsérvese como el aire cálido y potencialmente húmedo se va extendiendo a toda la troposfera, para luego, a partir del día 9, ser sustituido por aire más frío y seco. Se trata de una masa de aire procedente del SW del

Mediterráneo Occidental que llega primero en altura ya que la velocidad del viento es mayor. El día 9 el viento empieza a debilitarse en la baja y media troposfera si bien por encima de 500 hPa supera en todo momento los 45 kt, lo que justificaría que prosiguiese la penetración de aire cálido en altura.

b. Información obtenida a partir de los radiosondeos de otras estaciones

Para efectuar este análisis se tenían los radiosondeos completos de Madrid, La Coruña, Lyon, Nîmes y Ajaccio, y sólo de su representación para determinadas fechas en Paris, Burdeos, Brest y Gibraltar.

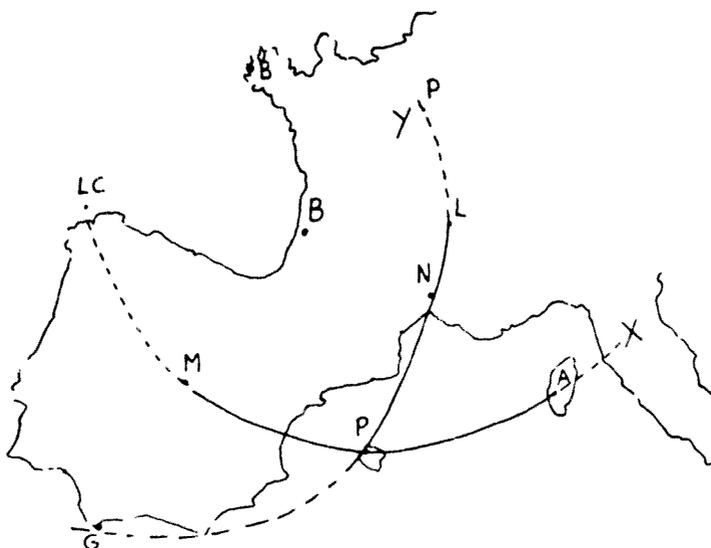


Fig.IV.2.92. Localización de las estaciones para las que se dispuso de radiosondeo.

Teniendo en cuenta que el viento fue predominantemente del S (sólo en superficie y en 850 hPa dominó durante el episodio la componente SE) se han realizado dos cortes verticales, uno siguiendo la dirección general del movimiento y otro perpendicularmente a ésta. Dado que para ambos se tenían los radiosondeos completos de diversas estaciones, se han construido los perfiles verticales de humedad relativa y los diagramas de masa de aire. También se han construido los cortes verticales representando las diferentes masas de aire en función de θ' . En este último caso,

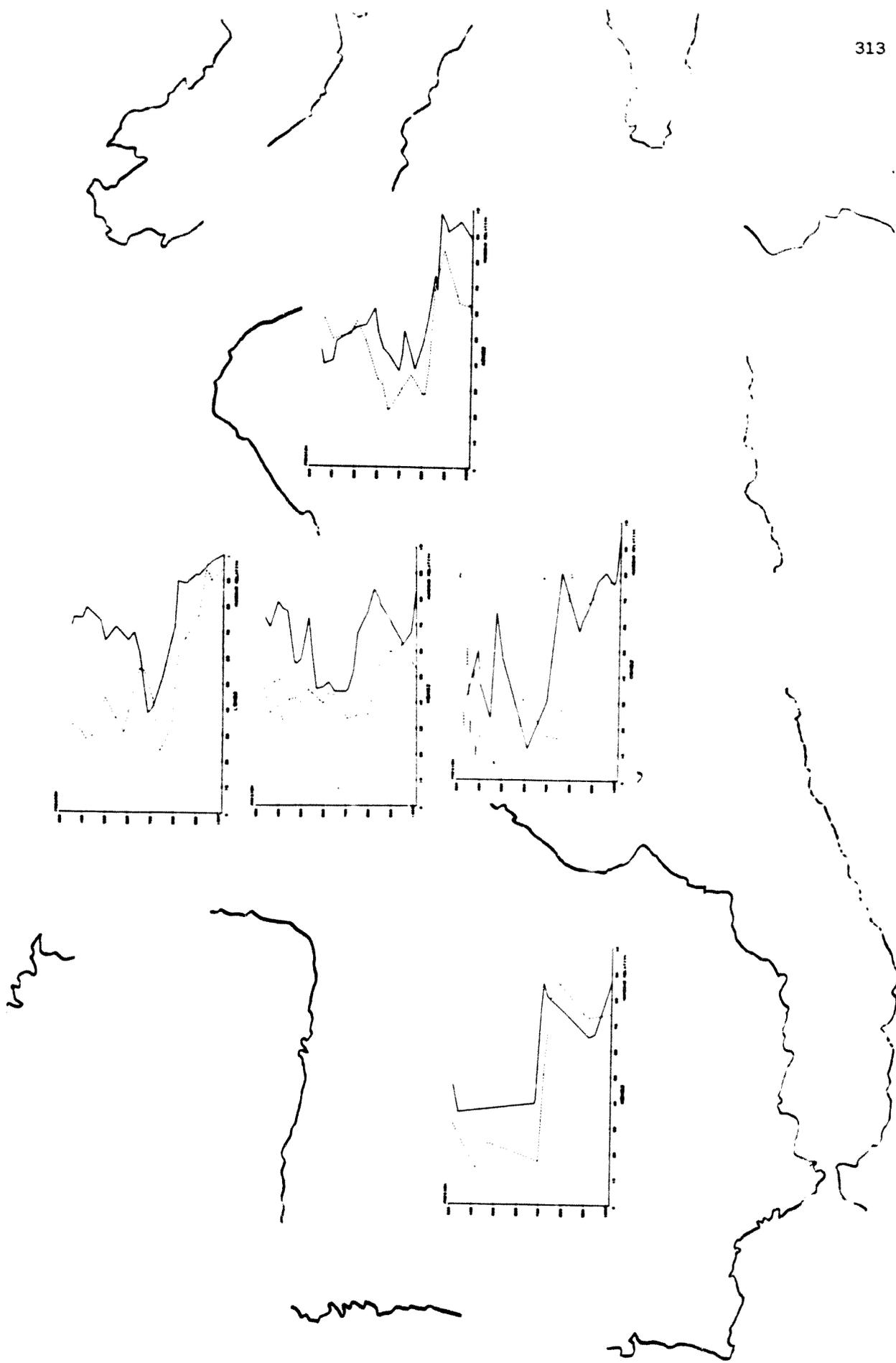


Fig.IV.2.93. Variación vertical de la humedad en diversas estaciones el día 5 de Noviembre de 1982. — 00 TMC --- 12 TMC

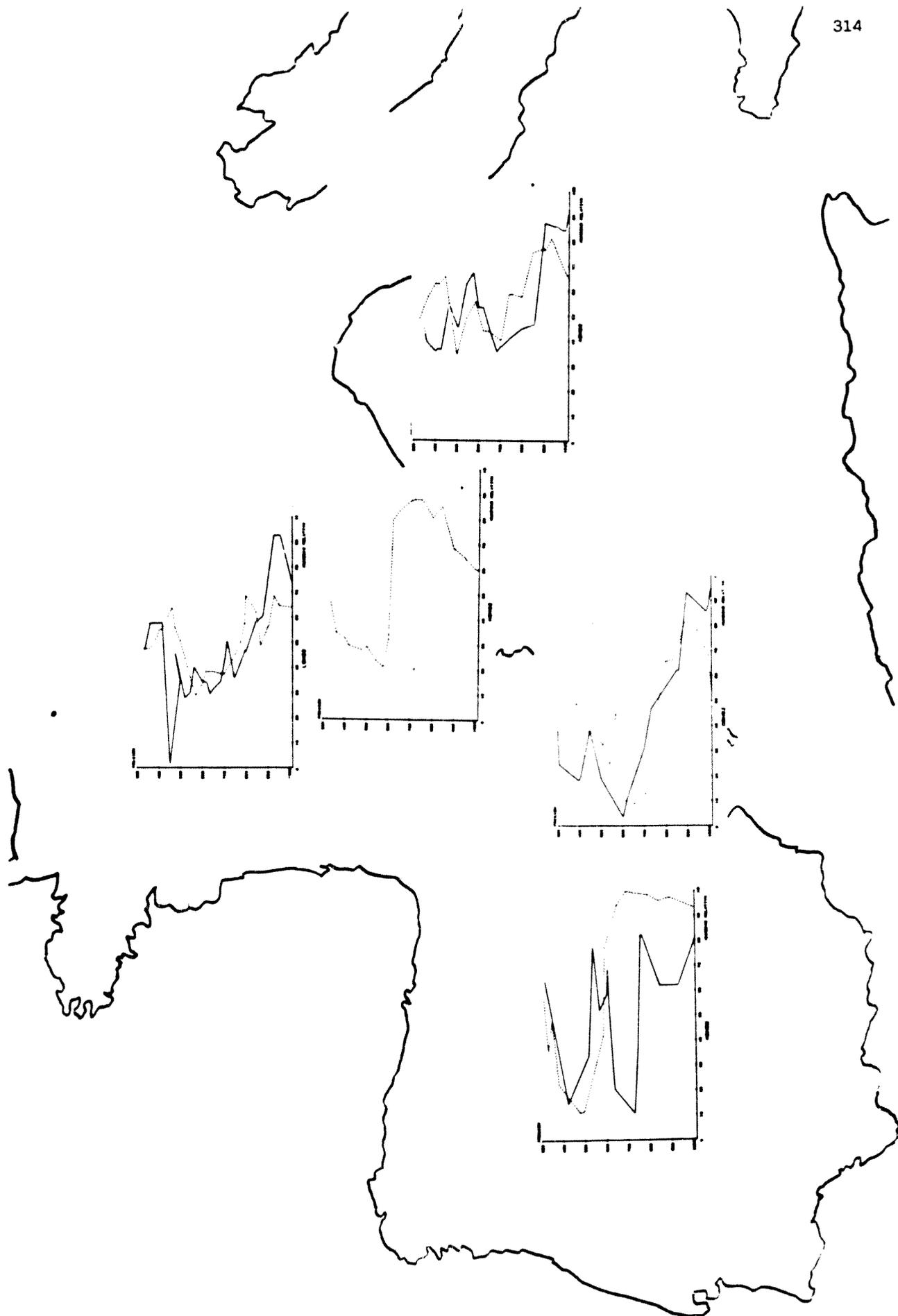


Fig.IV.2.94. Variación vertical de la humedad en diversas estaciones el día 6 de Noviembre de 1982. — 00 TMG --- 12 TMG

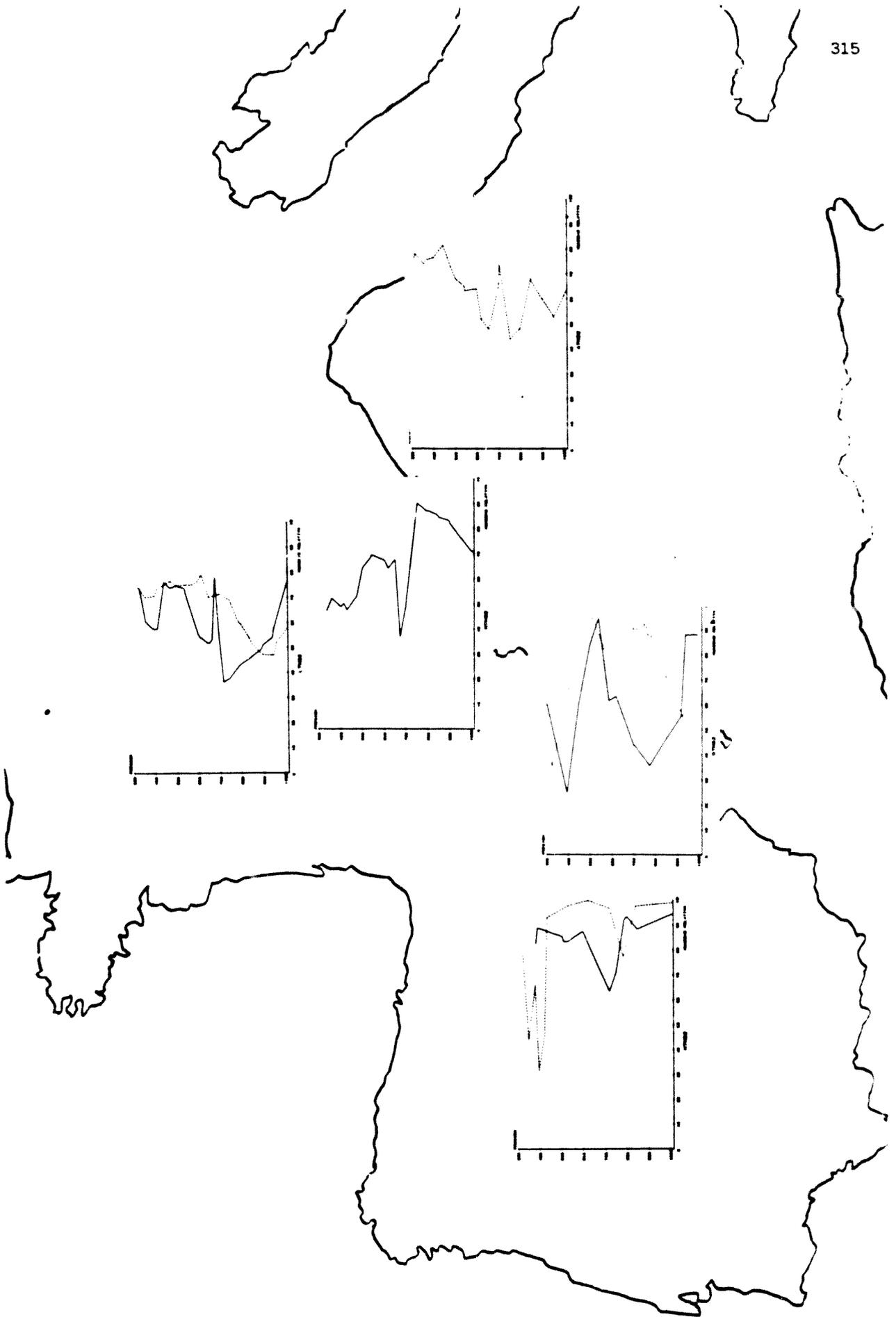


Fig.IV.2.95. Variación vertical de la humedad en diversas estaciones el día 7 de Noviembre de 1982. — 00 TMG --- 12 TMG

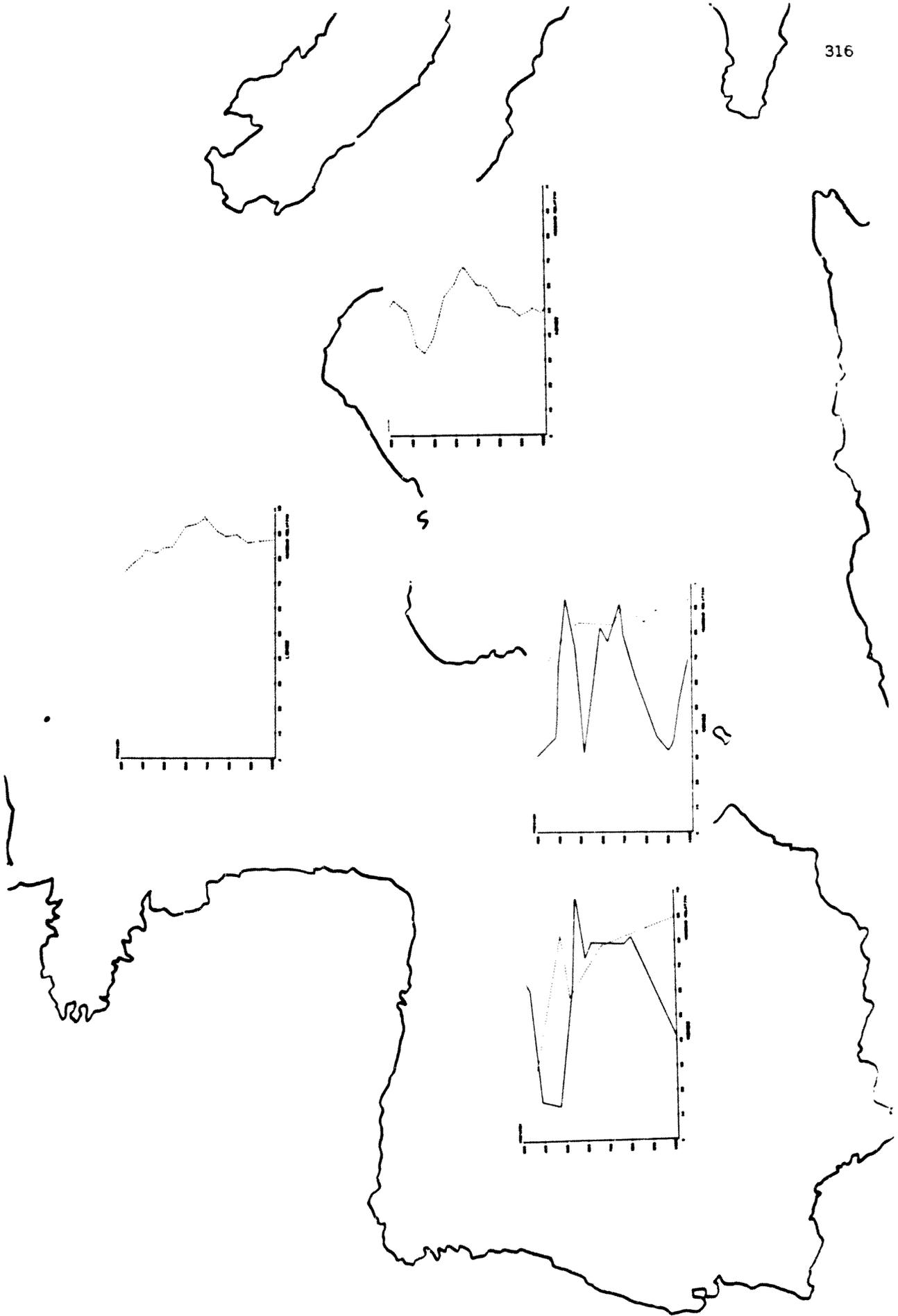


Fig. IV.2.96. Variación vertical de la humedad en diversas estaciones el día 8 de Noviembre de 1982. — 00 TMG --- 12 TMG

se extiende hasta la alta troposfera. Aunque esta capa también se observa en el de Nîmes, el descenso de humedad no es tan brusco, siendo este radiosondeo el que más discrepa de los restantes.

El día 6 a las 00 TMG la masa de aire situada sobre Lyon y Ajaccio por encima de 850 hPa tiene análogas características aunque es más húmeda en la segunda. En Palma la masa es análoga salvo que la temperatura potencial es ligeramente superior. La altura de la tropopausa decrece de E a W, lo que se justifica por la presencia de altas presiones en el continente y bajas en el Atlántico. A las 12 TMG el sondeo de Madrid está prácticamente saturado por debajo de 600 hPa, nivel por encima del cual la humedad decrece bruscamente pasando a ser, a 500 hPa, del 10%. La masa de aire situada sobre Ajaccio sigue siendo en rasgos generales la misma que hay en Palma, si bien no registra la fuerte entrada de aire seco observada en esta última estación.

El viento en las estaciones de la Península y Palma es del SSW a todos los niveles con excepción de Gibraltar donde a 200 hPa es del NW. En Gibraltar el sondeo se halla saturado entre 900 y 700 hPa, mientras que en La Coruña y Palma el aire es más seco. Lo que es muy importante es la masa de aire cálido y seco en la troposfera media que especialmente registró la estación de Palma.

Para el estudio del día 7 se construyeron también los cortes verticales como ya se ha dicho anteriormente. A las 00 TMG, analizando los diagramas de humedad, se observa, al igual que 12 horas antes, que Madrid y Nîmes presentan las mismas características, lo que también sucede con Palma y Lyon. Según el eje Y se observa en Gibraltar una estrecha banda de aire frío y seco a 700 hPa. Esta se amplía a medida que la latitud aumenta extendiéndose hasta el suelo en Nîmes y registrándose sobre esta estación un núcleo de aire muy frío y seco coincidente con un máximo de vientos. A las 12 TMG la situación ha cambiado considerablemente. Las dos capas de aire cálido y húmedo que se observaban a las 00 TMG en Gibraltar se han unido mientras que la masa de aire frío y seco se ha trasladado y ha descendido en altura, lo que corroboran los diagramas de humedad. La velocidad del viento ha aumentado virando ligeramente en los niveles bajos hacia el W. En superficie, sin embargo, sigue siendo débil y de componente E en Palma.

Según el eje X, la situación es muy diferente. El aire frío que so-

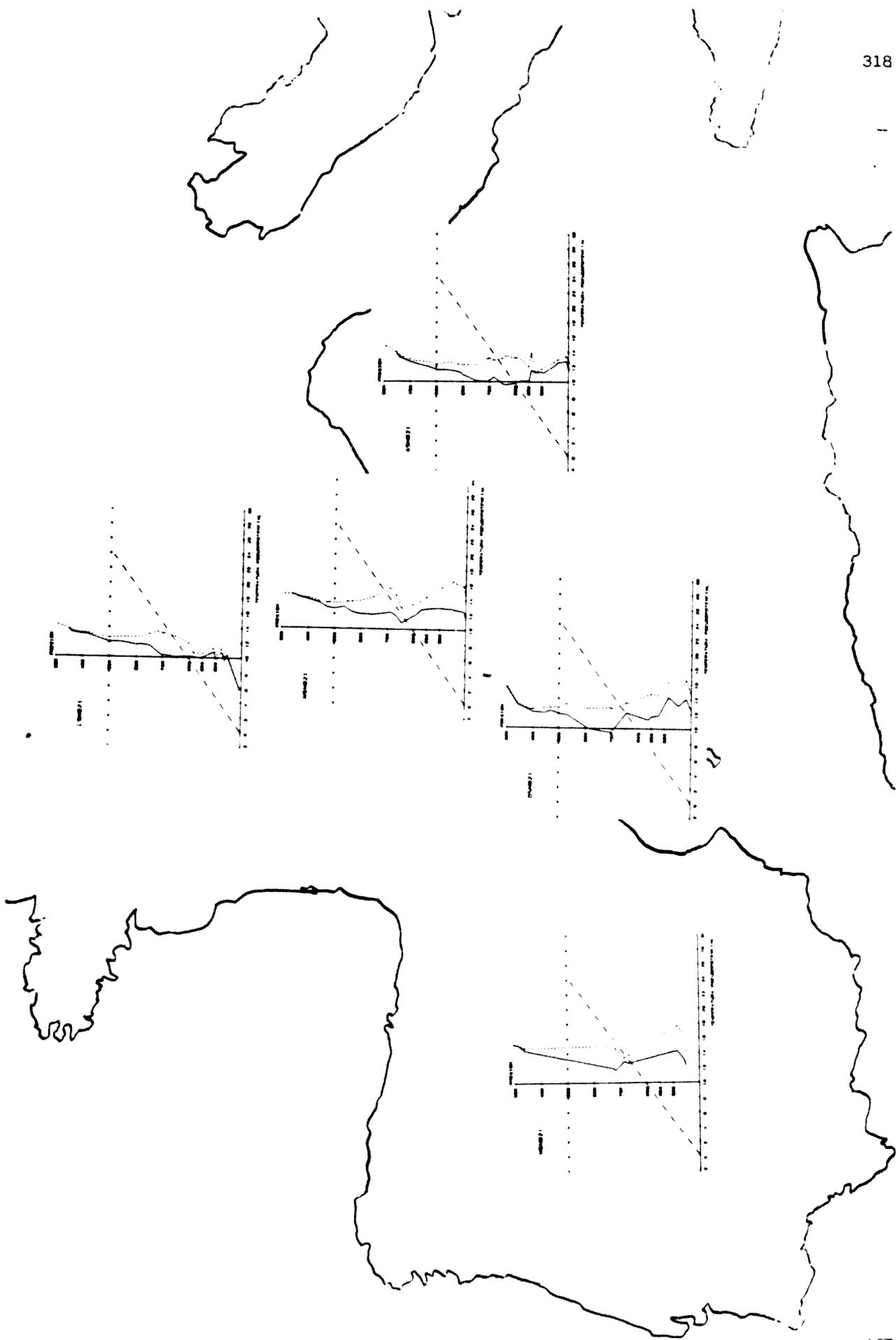


Fig.IV.2.97. Diagramas de masa de aire del dfa 5 de Noviembre de 1982 a las 00 /TMG

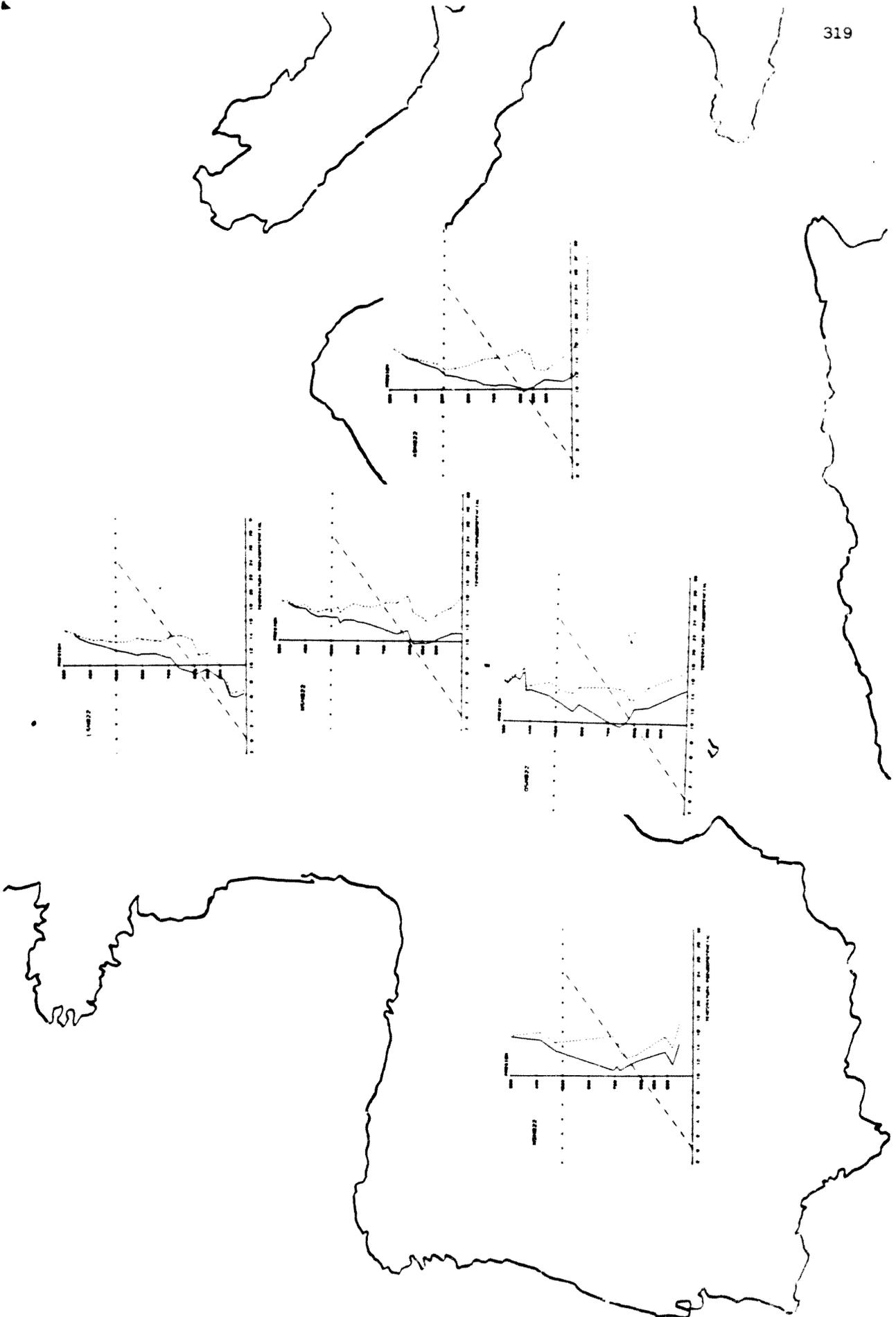


Fig.IV.2.98. Diagramas de masa de aire del día 5 de Noviembre de 1982 a las 12 TMG

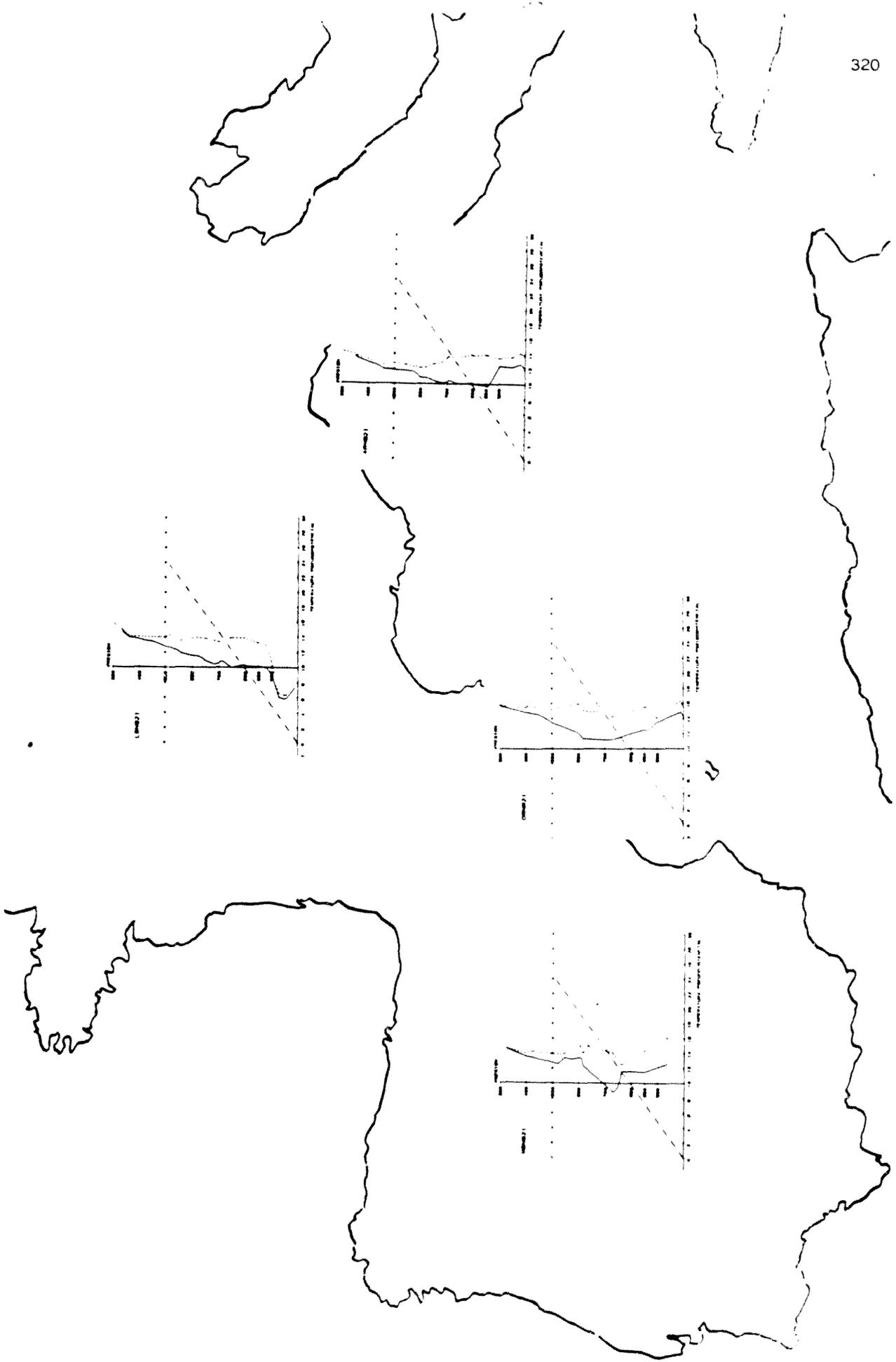


Fig. iV.2.99. Diagramas de masa de aire del día 6 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG



Fig.IV.2.100. Diagramas de masa de aire del día 6 de Noviembre de 1982 a las 12 TMG



Fig.IV.2.101. Diagramas de masa de aire del día 7 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG

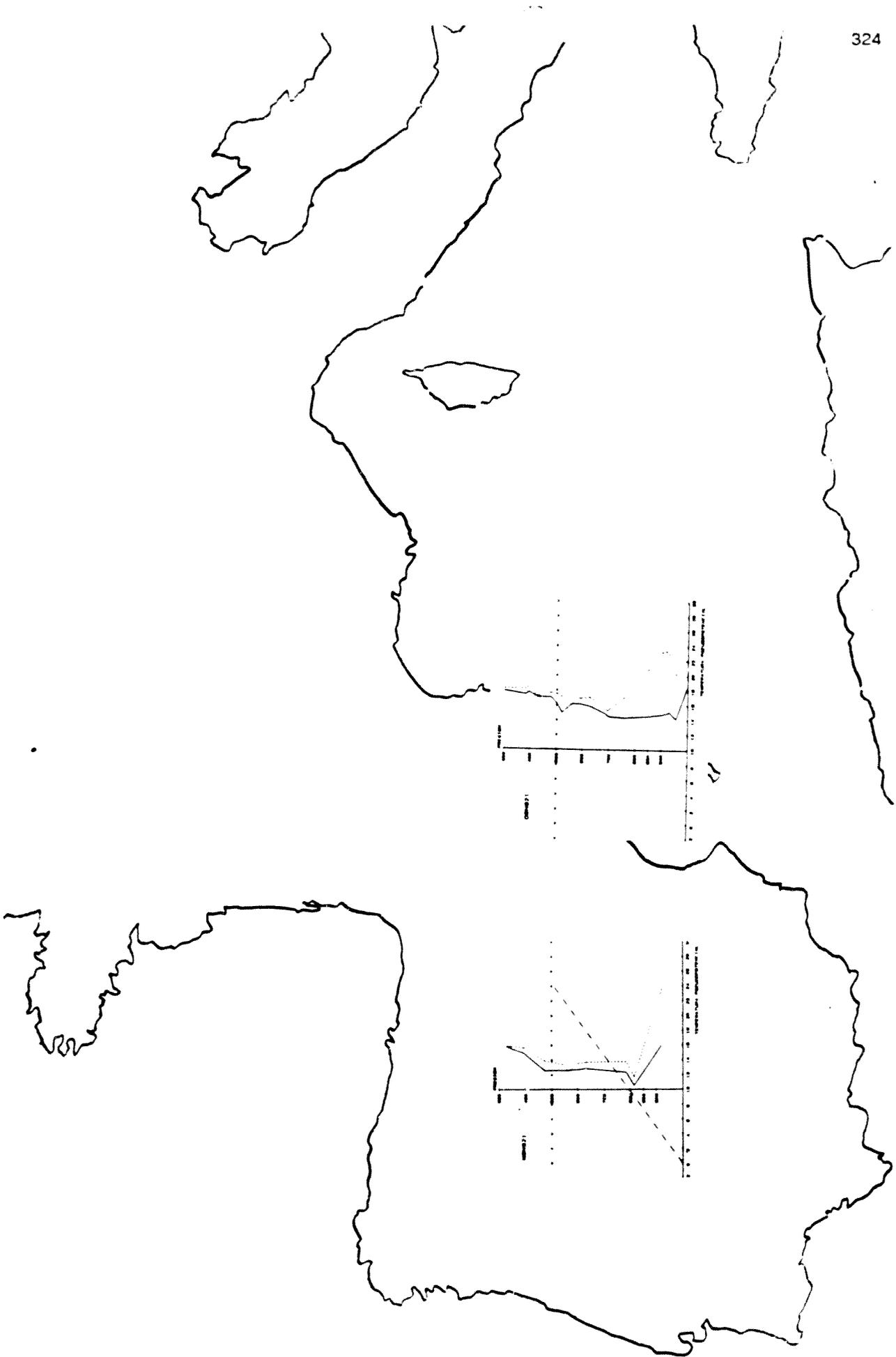


Fig. IV.2.103. Diagramas de masa de aire del día 8 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG

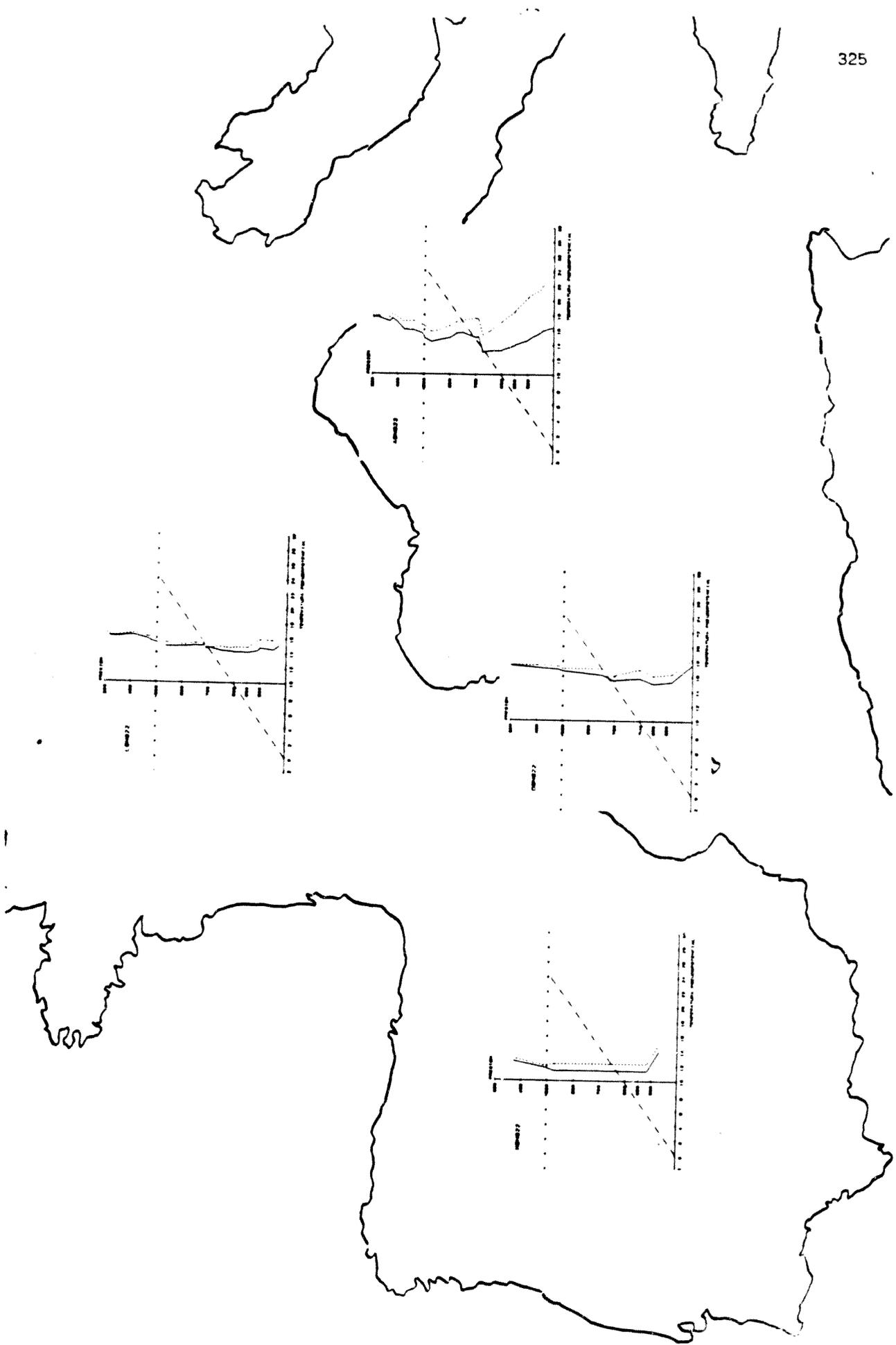


Fig.IV.2.104. Diagramas de masa de aire del día 8 de Noviembre de 1982 a las 12 TMC

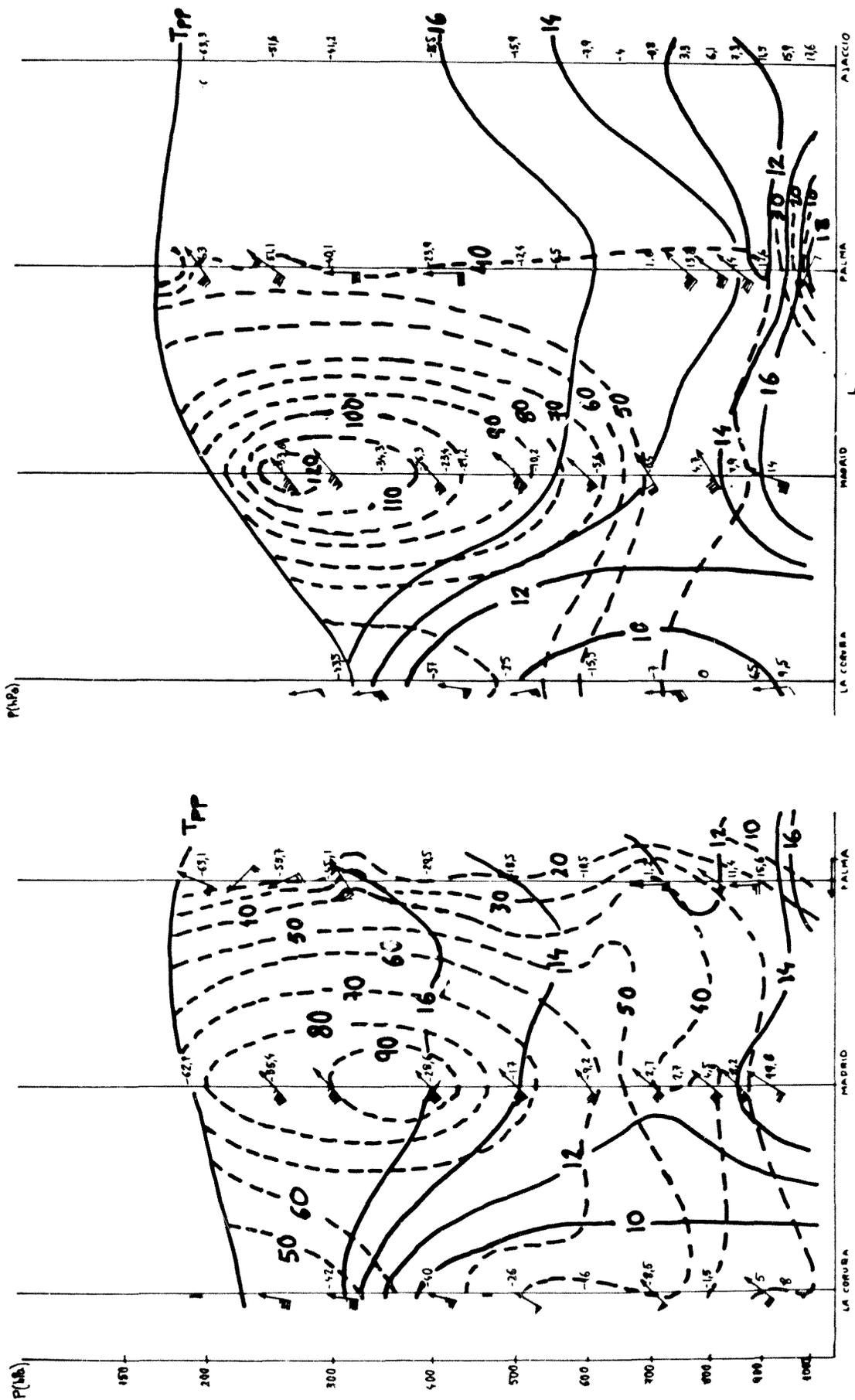


Fig.IV.2.105. Corte vertical de la troposfera según el eje X, del día 7 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG (a) y a las 12 TMG (b). — Isotermas — Líneas de igual θ

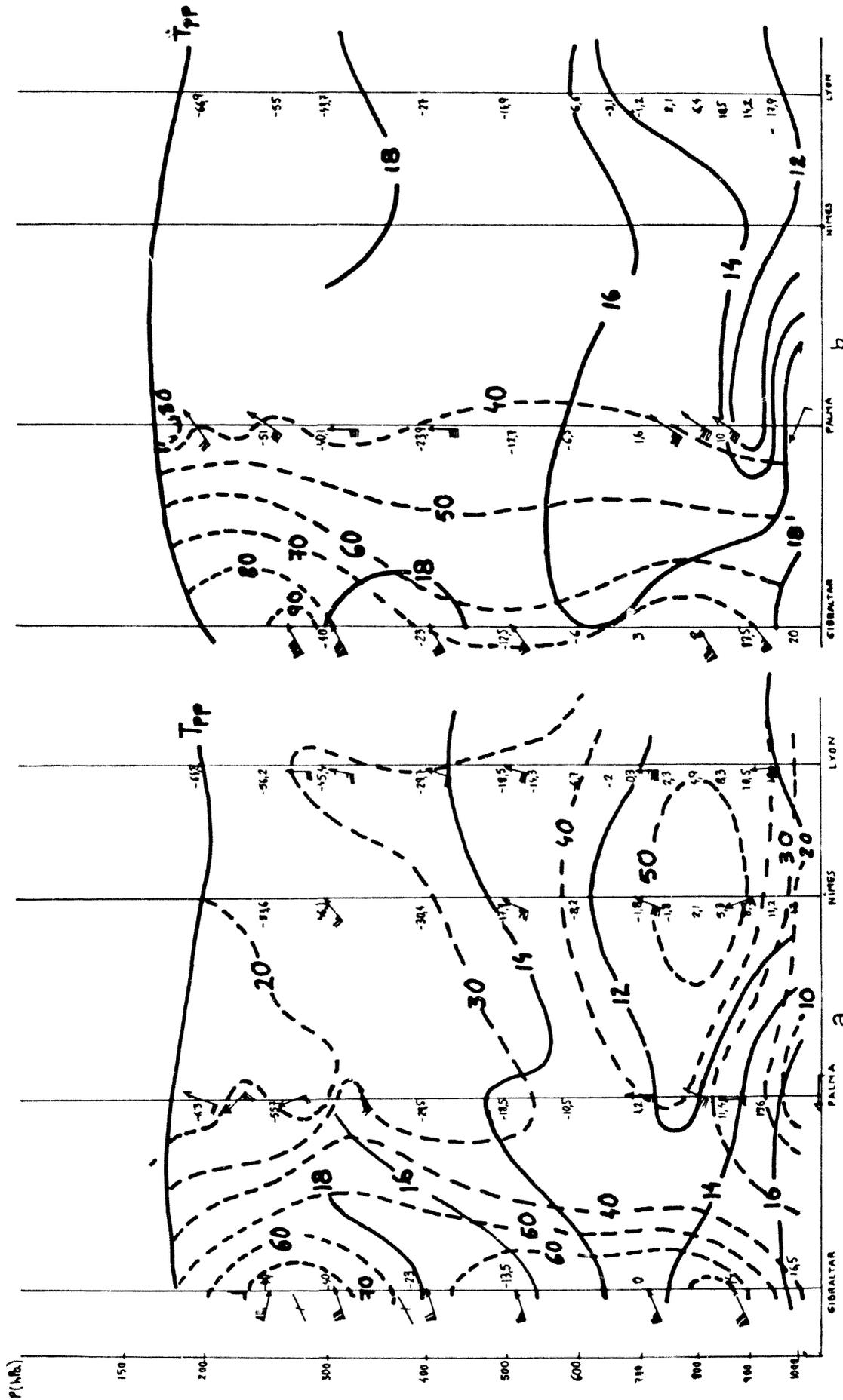


Fig.IV.2.106. Corte vertical de la troposfera según el eje Y, del día 7 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG (a) y a las 12 TMG (b). — -Isotermas — Líneas de igual θ'

bre La Coruña se extiende hasta prácticamente los 300 hPa, sigue ocupando la troposfera media en las restantes estaciones situadas más al E. Los vientos son muy fuertes estando el eje del chorro situado sobre Madrid. Esto quiere decir que si bien la humedad en Madrid es alta, el contenido en vapor de agua será bastante bajo. A las 12 TMG la banda de aire frío se ha estrechado enormemente sobre Madrid y Palma lo que no implica que haya habido una traslación como ocurría con el eje Y sino, probablemente, una entrada de aire cálido y húmedo procedente del SW. La velocidad del viento ha aumentado y el eje del chorro se sitúa a mayor altura que a las 00 TMG. De estas cuatro representaciones se puede inferir aproximadamente la distribución de masas de aire en la zona afectada por las inundaciones.

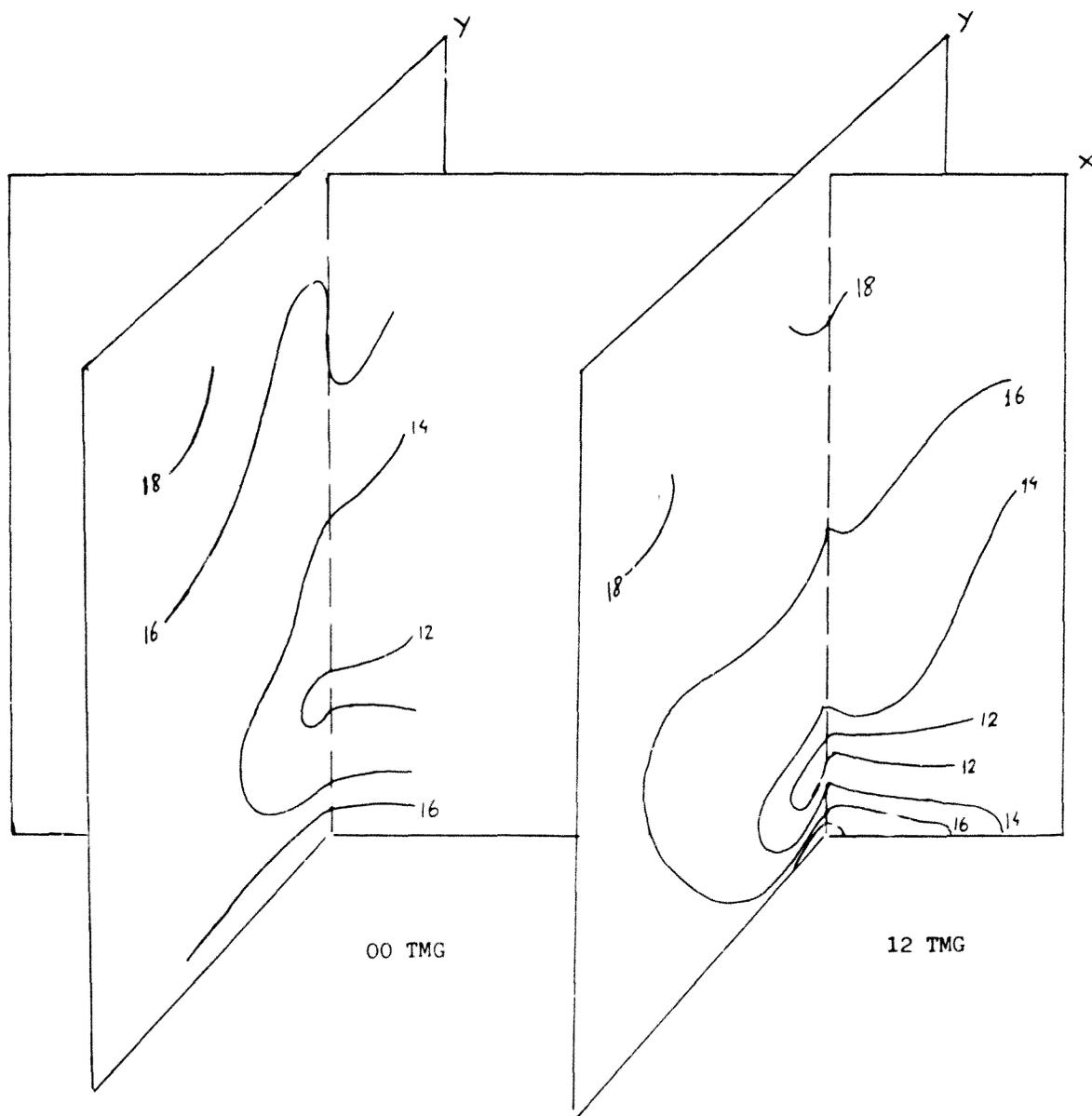


Fig.IV.2.107.

Los vientos más débiles se registran en Palma. En Lyon y Paris, donde dominaba la componente W en altura el día anterior, el viento rola adquiriendo componente S en todos los niveles. Se observa pues una fuerte circulación ciclónica en toda la troposfera y sólo se registra una cizalladura importante en los niveles bajos.

Tanto los diagramas de masa de aire como los de humedad muestran el día 8 a las 12 TMG una masa de aire muy húmeda, del tipo K_m , que se extiende hasta 300 hPa y que pone fin al episodio. Debido al fuerte viento se realizan pocos radiosondeos por lo que falta el de Nîmes que hubiera permitido comprobar si en tal estación se daban las mismas características que se acaban de comentar. Sin embargo, y observando los diagramas de Madrid, Lyon, y Palma así como el sondeo de Gibraltar, todo parece indicar que dicha masa K_m también se situaría sobre la zona afectada por las inundaciones.

IV.2.4 Otros efectos

Aparte de las propias avenidas e inundaciones debidas a la lluvia, la tempestad de Noviembre de 1982 presentó otros dos factores que fueron especialmente devastadores en el S de Francia. El primero fue el viento, del S-SW, que a partir del día 6 fue aumentando progresivamente y pasando de 20 kt a las 10 TMG a 70 kt el día 7 a las 0720 TMG, valor en torno al que se mantuvo hasta el día 8 a las 0600 TMG (en Fréjorgues). En Sète se alcanzaron los 90 kt el día 7 a las 0620 TMG y, aunque ligeramente debilitados, se mantuvieron hasta el día 8 a las 0200 TMG, hora en que empezaron a disminuir y girar hacia el SW; a las 12 TMG estaban comprendidos entre 25 y 35 kt. Como consecuencia de ello fueron destruidos chimeneas, tejados, postes telefónicos... y afectaron también entre el 65 y el 95 % de los bosques del Macizo Central.

Debido al viento se produjo un verdadero temporal marítimo que fue arreciando desde el día 6 hasta el 8, en que las olas llegaron a alcanzar la amplitud excepcional de casi 9 m. El día 7, la altura media osciló entre 4 y 5 m, con un máximo de 6,9 m. El nivel del agua en las costas del Golfo de León ascendió como consecuencia del fuerte oleaje, alcanzando una elevación que, por ejemplo, en Gruissan fue de 1,29 m a las 1800 TMG del día 7. En la figura IV.2.108 se presenta la zona más afectada por la tempestad marítima.

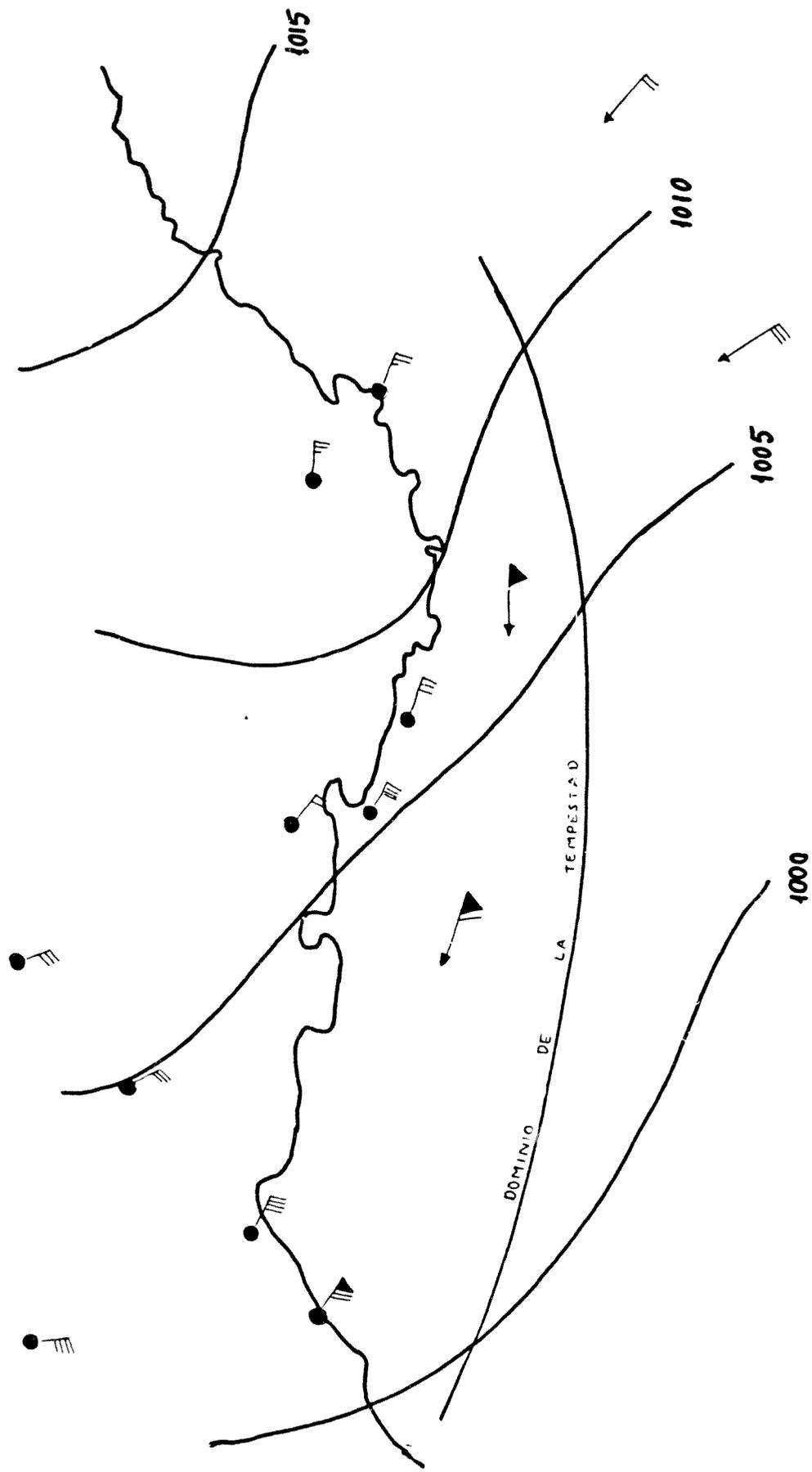


Fig.IV.2.108. Zona más afectada por la tempestad. 7 de Noviembre de 1982 a 0600 TMG

IV.2.5 Resumen y conclusiones

Dada la extensa información meteorológica que se tiene en este episodio (aunque insuficiente sobre la zona afectada por las inundaciones) se ha considerado interesante construir mapas que representasen esquemáticamente la situación. Inicialmente se escogió el tipo de representación utilizado por Miller (loc.cit.) pero como en este caso no es posible limitarse a la zona de interés, las figuras que se obtenían eran muy complejas. Por tanto, se dibujan por separado los niveles de 850, 700, 500 y 300 hPa siguiendo la línea de Maddox y sus colaboradores (loc.cit.) con la diferencia de que se sustituye el análisis de superficie (del que ya se han presentado numerosas figuras así como la configuración de hidroisotermas) por los de 700 y 300 hPa, niveles comentados por Miller (loc.cit.). En estos dibujos se distingue la distribución del aire seco, húmedo, cálido y frío; se representan los ejes de los surcos y lomas; se inscribe el viento y las líneas de igual depresión del punto de rocío y, por último, en el de 300 hPa se representan algunas isohipsas de la topografía relativa. El convenio utilizado para la representación gráfica es esencialmente el mismo que el del capítulo I. Este tipo de mapas se proporciona también en el análisis de los restantes episodios.

En base a los estudios de los autores antes mencionados y de los valores medios de temperatura en el mes de Noviembre se ha construido la tabla siguiente

Tabla IV.2.7

	Aire húmedo (80%)	Aire seco (40%)	Aire frío	Aire cálido
Superficie	$\Delta T_d \leq 3^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_d \geq 13^{\circ}\text{C}$	$T \leq 12^{\circ}\text{C}$	$T \geq 16^{\circ}\text{C}$
850 hPa	$\Delta T_d \leq 4^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_d \geq 13^{\circ}\text{C}$	$T \leq 5^{\circ}\text{C}$	$T \geq 9^{\circ}\text{C}$
700 hPa	$\Delta T_d \leq 5^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_d \geq 12^{\circ}\text{C}$	$T \leq -4^{\circ}\text{C}$	$T \geq 0^{\circ}\text{C}$
500 hPa	$\Delta T_d \leq 6^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_d \geq -17^{\circ}\text{C}$	$T \leq -21^{\circ}\text{C}$	$T \geq -17^{\circ}\text{C}$

Una vez efectuada la aclaración anterior se pasa a exponer un resumen de las características fundamentales del episodio y, posteriormente, las conclusiones:

- Situación a escala sinóptica responsable de las lluvias en toda la Península los días 6 y 7. Fueron particularmente intensas en Andalucía y en menor grado en la Sierra de Guadarrama y Galicia.

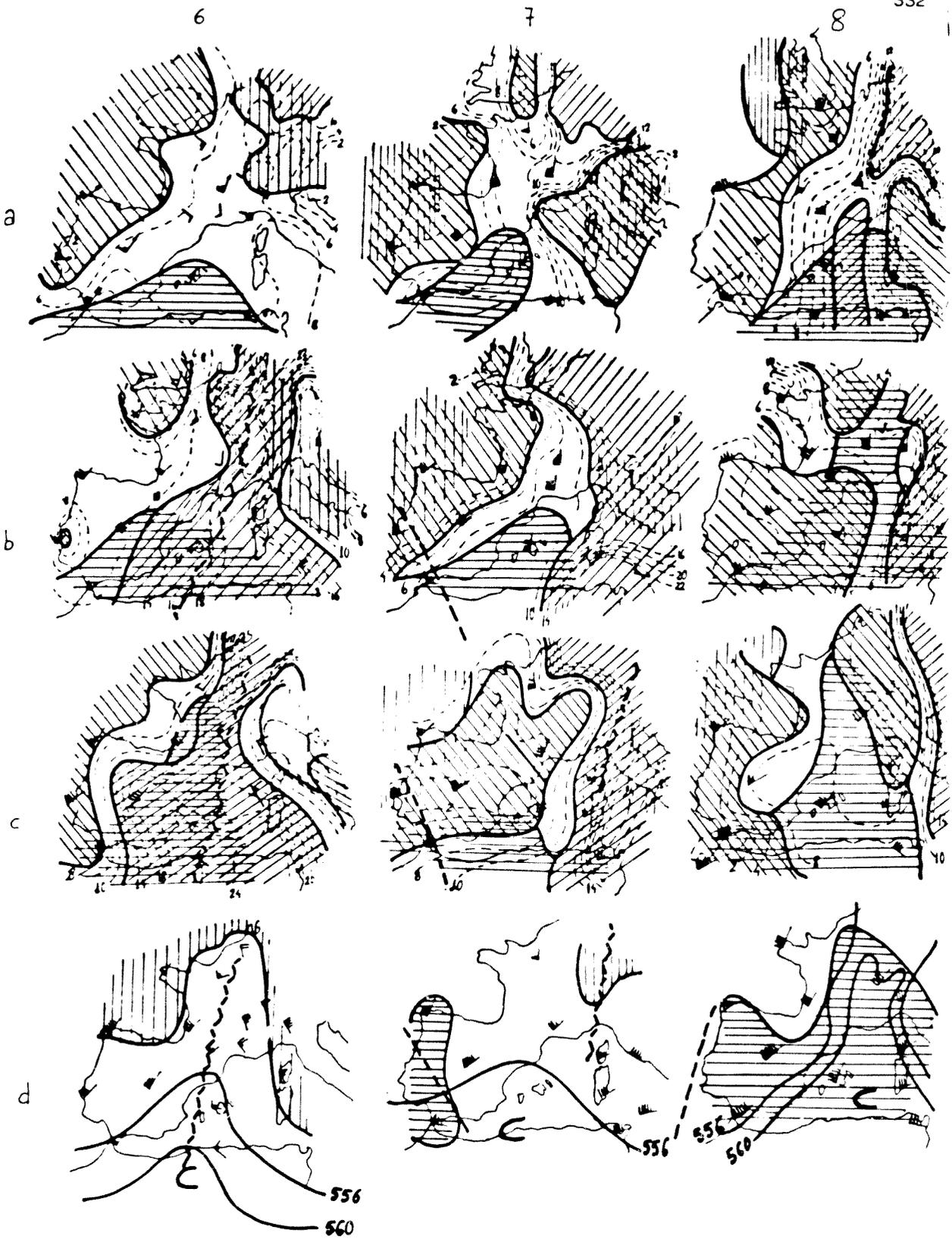


Fig.IV.2.108. Situación esquemática de los días 6, 7 y 8 de Noviembre de 1982 a las 00 TMG, a 850 hPa (a), 700 (b), 500 (c) y 300 hPa (d). En este último se incluyen además algunas isohipsas de la topografía relativa.

- ▨ Aire cálido ▧ Aire frío ▩ Aire húmedo
- ▨ Aire seco - - - - Líneas de igual depresión del punto de rocío

- Fuertes lluvias en el sureste de Francia que se prolongaron en algunos puntos hasta el día 10. Por su distribución queda patente el carácter eminentemente orográfico.
- La zona más afectada por las lluvias fue la de los Pirineos Orientales, tanto en la vertiente española como en la francesa, y, consecuentemente, la cabecera de todos los ríos que nacen en ellos (Llobregat, Segre, Tet, Tech, Noguera Pallaresa y Noguera Ribagorzana). Sin embargo en la parte española las lluvias se extendieron hasta el Valle de Broto situado al oeste del Monte Perdido.
- La lluvia duró entre 48 y 60 horas sin interrupción, prolongándose en algunos lugares hasta los días 9 y 10 aunque muy debilitadas. Las máximas cantidades se recogieron entre las 13 y las 24 TMG del día 7.
- Las máximas precipitaciones se localizaron en los mismos sitios los días 6 y 7. Los factores determinantes de dicha distribución fueron fundamentalmente tres: la proximidad al mar, la altura de las cimas montañosas y la orientación adecuada de las laderas.
- Parece ser que se formaron numerosas tormentas multicelulares con escaso movimiento de traslación o bien, con un ciclo vital "pulsante".
- Se ha podido establecer una relación lineal bastante aproximada entre el tamaño de las "áreas precipitantes" y la máxima lluvia registrada en ellas.
- El gradiente medio de precipitación, tanto para 24 horas como para 72 horas es en general mayor en la parte Norte, observándose que la discrepancia de gradientes según la dirección en que se tomen, es tanto mayor cuanto mayores sean los gradientes registrados.
- Numerosos "núcleos" presentan una forma aproximadamente elíptica con el eje mayor orientado de Suroeste a Noreste o de Sur a Norte.

Día 6

- Núcleo anticiclónico sobre el Mar del Norte y formación de una baja relativa en el Atlántico a la que se halla asociada la perturbación K.
- Paso de un frente frío por la Península que da lugar a una banda nubosa formada por nubes altas y estratocúmulos.
- Por la tarde, la zona en donde se produjeron las fuertes lluvias (que para abreviar se designará por I) se halla entre dicha banda y la per

turbación K, bajo una región de estratocúmulos cuyo contorno sigue la línea de la costa.

- Inicio de la configuración en Ω que a las 12 TMG ya está bien desarrollada desde 850 hasta 500 hPa.
- Inicio de la ondulación de la corriente en chorro, la cual se extiende hasta 500 hPa. A mediodía ya ha adquirido prácticamente la dirección S-N.
- El eje de la loma se sitúa al E de I en la troposfera media y sobre I en la alta troposfera.
- Al E del eje de la loma hay aire frío a todos los niveles.
- A mediodía el eje del surco atraviesa parte de la Península.
- Inicio de una entrada de aire cálido sobre el Mediterráneo Occidental a partir de 850 hPa, en tanto en superficie se observan pequeños núcleos de aire muy cálido. Este aire procede del Atlántico y del N de Africa.
- Aire muy frío en el NW de la Meseta que dará lugar, durante todo el episodio, a un fuerte gradiente de temperatura en superficie en dirección SE-NW.
- En la troposfera media una amplia banda de aire seco cubre el E de la Península y el Mediterráneo Occidental. Aire húmedo detrás del frente frío.
- Hacia el mediodía se produce en superficie la confluencia sobre I de una lengua de aire húmedo procedente del SW y otra, húmeda y cálida, procedente del Mediterráneo.
- Las principales lluvias de este día tuvieron lugar en el sector cálido de la onda frontal.
- Fuerte viraje del viento que adquiere componente S a todos los niveles. En la baja troposfera es del SE sobre I en tanto que en la media y alta es del SW. Es probable que halla una fuerte cizalladura entre 850 y 500 hPa.
- Aunque a las 00 TMG sólo hay inestabilidad condicional y convectiva por debajo de 900 hPa, a las 12 TMG hay inestabilidad convectiva desde el suelo hasta 700 hPa, con ascensos mínimos inferiores a 800 m.

Día 7

- Profundización de la baja que se extiende hasta 200 hPa siendo además muy fría a todos los niveles.
- Situación e más acentuada.
- A mediodía la perturbación K se sitúa sobre I.
- Sobre el frente se sitúa el eje del chorro a 500 hPa, exactamente con la misma orientación. Ambos son perpendiculares al eje del surco. A 300 hPa el chorro es del S sobre la Península.
- Advección de aire muy frío a lo largo del cabo de Finisterre.
- En superficie se ha acentuado el gradiente de temperatura y presión.
- El aire húmedo del W ha invadido gran parte de la Península a 850 y 700 hPa aunque no es posible afirmar si llega hasta I, lo que si sucede a 500 hPa. En superficie el aire húmedo se extiende desde Lisboa hasta el S de Francia y desde el N de Africa hasta el Golfo de León.
- El aire seco se ha trasladado hacia el E y queda bajo la zona anticiclónica.
- Desde el suelo hasta 700 hPa hay aire frío sobre el N de Italia.
- La lengua de aire cálido que penetraba por el Mediterráneo ya ha llegado hasta I.
- Viento del sureste en superficie y a 850 que forma un ángulo próximo a 90° con el flujo a 500 hPa.
- Inestabilidad convectiva en Palma que se extiende desde el suelo hasta 400 hPa.
- No hay producción de vorticidad ciclónica a nivel del mar sobre el Principado.

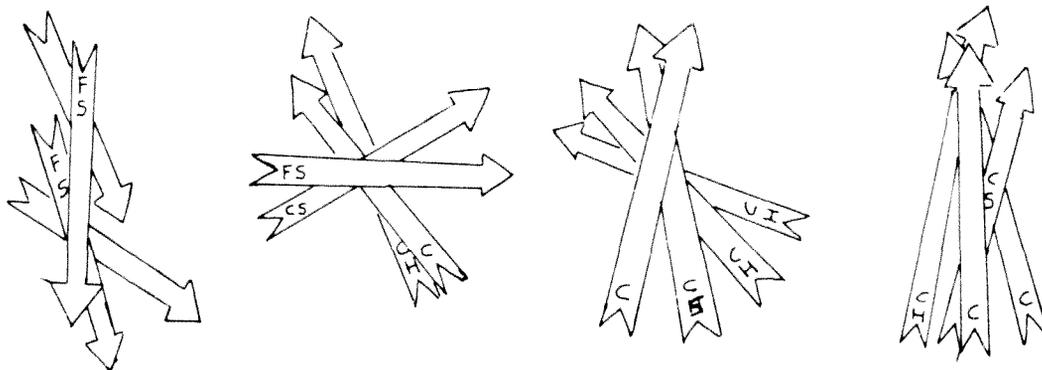
Día 8

- El aire cálido ha penetrado en el continente invadiendo Europa Central. En superficie se produce una bifurcación, forzada probablemente por los Pirineos y el Macizo Central francés, formándose un ramal secundario del aire cálido dirigido hacia el Golfo de Vizcaya.
- El aire seco se ha trasladado más al E aunque a 850 hPa hay una zona de aire húmedo en las proximidades de Italia lo que ya ocurría el día

anterior. A este nivel el aire que invade Europa es bastante seco.

- A 700 hPa aire húmedo sobre toda la Península y la zona I.
- El frente frío atraviesa la zona I.
- Sigue el eje del chorro sobre Madrid.
- A las 12 el aire húmedo se limita en superficie a parte de Cataluña y a la zona afectada en Francia por las inundaciones. Tras un nuevo frente que atraviesa la Península hay una nueva entrada de aire húmedo del W.
- Fuerte viento de componente S a todos los niveles. Al atardecer rola pasando a ser del SW.
- La loma empieza a suavizarse y la configuración en Ω se debilita. El chorro se traslada al N y tiende a recuperarse el flujo zonal. La baja inicia su movimiento hacia Inglaterra.

A lo largo del episodio la evolución del viento ha sido la siguiente:



Se concluye que el principal causante de las lluvias registradas el día 6 en el resto de la Península fue el paso del frente frío. En Andalucía se produjo, además, una entrada de aire cálido y húmedo favoreciendo las montañas el desarrollo de cumulonimbos; al día siguiente el flujo incidió perpendicularmente a la costa del Golfo de Cádiz, lo que explica el máximo pluviométrico registrado en esa zona.

Por lo que respecta a las lluvias que asolaron Andorra, Cataluña y el Sur de Francia, no es posible hablar de un único factor responsable sino, más bien, de la conjunción de varios.

Por un lado, la perturbación K, que llegó a la zona I al anochecer del día 6 y permaneció sobre ella durante todo el episodio hasta que éste finalizó (el día 8 se situó justamente sobre la zona I francesa que registró aún lluvias considerables).

Por otro lado, las lluvias se iniciaron justo cuando la loma acababa de pasar por I produciéndose entonces un marcado cambio de la dirección del viento hacia el Sur. El episodio duró mientras el viento en altura fue del SW y en la baja troposfera, del SE, y finalizó cuando la componente SSW se extendió a toda la troposfera. Esto permitió el desarrollo de una notable cizalladura en la troposfera media y la incidencia de aire mediterráneo perpendicularmente a la costa catalana y cadenas montañosas (recuérdese que las máximas lluvias se produjeron cerca de las montañas orientadas en dirección SW-NE, tanto en España como en Francia). El giro hacia el Sur favoreció las lluvias que los días 8 y 9 tuvieron lugar en la costa francesa así como la formación de olas marinas de gran amplitud.

El acusado gradiente de presión así como las circulaciones creadas por la baja y el anticiclón fueron responsables de los fuertes vientos registrados. Además, las masas frías situadas sobre el Golfo de Vizcaya y al NW de Italia, forzaron al aire cálido a pasar por una especie de "pasillo". El día 8, el aire muy cálido del Sur penetró por el Valle del Ródano hasta centroeuropa lo que, junto al efecto Föhn justifica las temperaturas tan altas alcanzadas. Probablemente la dorsal orográfica de los Alpes y tal vez una secundaria debida a los Pirineos, provocaron el viraje del viento en superficie y a 850 hPa hacia el Este, lo que favoreció también el gradiente en el campo isalobárico. La situación en Ω dificultó el avance de la perturbación K y desempeñó un papel importante en la entrada de la lengua de aire frío por el NW de la Península y de aire cálido del S del Mediterráneo sobre Cataluña.

Los días previos a la inundación se había producido una entrada de aire del Norte, frío y seco, por encima de 700 hPa. Consecuencia de ello fue la presencia durante todo el episodio de una capa de aire más frío y seco en la troposfera media si bien fue descendiendo y estrechándose. Por otra parte se produjo en el Mediterráneo una advección de aire cálido a todos los niveles; en superficie, el aire húmedo arrastrado por la circulación ciclónica sobre la Península y el aire húmedo del Mediterráneo, se encontraron sobre Cataluña. Se tenía entonces una distribución vertical en la troposfera, de aire muy húmedo y cálido-aire seco-aire húmedo, lo que debió favorecer el desarrollo de

una fuerte inestabilidad potencial. El viento térmico, que fue disminuyendo paulatinamente desde el día 6 hasta el día 8 en que ya fue nulo, confirma una distribución favorable a la inestabilidad ya que presenta, a rasgos generales, aire frío sobre aire cálido al E, frío sobre frío al N, cálido sobre frío al W y cálido sobre cálido al S.

Esta inestabilidad permanecía latente en Palma, donde además la inversión de subsidencia impedía el desarrollo de los cúmulos. Fue el ascenso orográfico el que permitió desencadenar todo el proceso. Por lo que respecta a las enormes cantidades de agua recogidas, hay que pensar que, en Palma, la masa de agua precipitable ya era muy elevada y que en su camino hacia Cataluña el aire debió humedecerse todavía más. Esta se hallaba por otro lado, como ya se ha dicho, dentro del aire húmedo que cubría gran parte de la península. Además, los radiosondeos de Madrid permiten sospechar que a 700 hPa se produce una advección de aire muy húmedo.

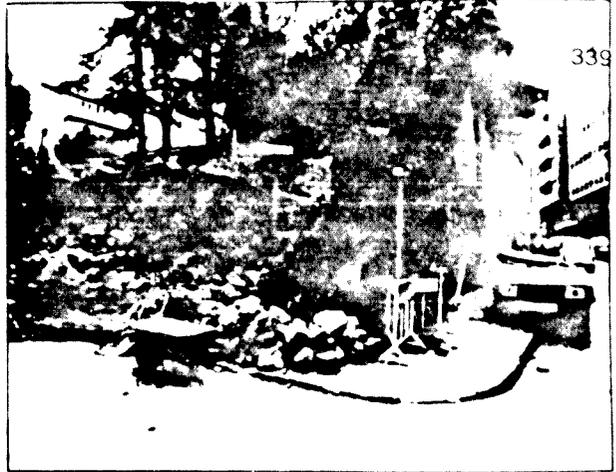
El día 8 el aire pudo superar en Palma la inversión ya próxima al suelo, desencadenándose importantes procesos de mezcla que se extendieron a toda la troposfera. A las 12 TMG y con excepción de Ajaccio, todos los diagramas de masa de aire son los característicos k_m propios del final de una perturbación.

De la comparación con los otros radiosondeos y del análisis de la evolución del episodio se concluye que es lícito el uso del radiosondeo de Palma por lo que respecta a la humedad, la masa de agua precipitable, la inestabilidad convectiva, la temperatura en toda la troposfera, la evolución de la presión (en media) y el viento en la media y alta troposfera. Los índices de inestabilidad no dan un buen resultado tanto porque no son muy idóneos para este tipo de procesos como porque en este caso sí que cuenta la distancia entre Palma y Cataluña. Tampoco debe considerarse que el viento en la baja troposfera sea el mismo.

Es importante destacar que la masa de aire que penetró en Cataluña por el Mediterráneo era de origen atlántico.



Los niños tuvieron que acudir a sacar el agua



Cruce Obispo Sivilla-Sant Gervasi de Casanles

El agua estuvo a punto de paralizar toda Barcelona

Las lluvias caídas sobre Barcelona durante la noche madrugada del lunes se llevaron por delante todo lo que pudieron. Menos de lo que se había imaginado. Sin embargo, el agua produjo grandes inundaciones en muchos de la ciudad, sobre todo en la Zona Franca y en el último tramo del Cinturón de Ronda. Los aparcamientos privados situados en ese largo sector resultaron especialmente afectados. También sufrió serios alteraciones la entrada y salida de trenes en la estación Renfe de Santis y la circulación registró largas paralizaciones en la autovía de Castell de les

positivo que se cerrada al tráfico aéreo. Igualmente se vieron afectadas por las lluvias y las correspondientes inundaciones las líneas del "metro". El servicio se realizó con graves restricciones hasta la una y media de la tarde. A pesar de la posterior normalización dos estaciones estaban cerradas al público, la de "Palau Reial" en la zona universitaria y la de "Ciutadella". En la primera la tromba de agua llegó a desplazar de su ubicación las taquillas. En la segunda las aguas subieron un metro por encima de las vías.

(Páginas 26 y 27)



Los aparcamientos privados próximos al Cinturón, al completo



Barro y agua en el Clotureo-plaza Cordà



Las vías de Renfe, en la plaza Cordà

Un fuerte temporal de lluvias convulga el Barcelonès, Baix Llobregat y Valles Occidental

Llegaron a rozarse los 300 litros en varios lugares

Justo un año después de las trágicas riadas que prolon-aron la parte norte de Cataluña, ayer se reprodujeron las inundaciones en el litoral barcelonés, aunque, afortunadamente, el balance, tanto de pérdidas humanas como materiales, no ha tenido el relieve de entonces. Hay que lamentar dos muertos e importantes daños, todavía no evaluados, en las comarcas del Barcelonès, Baix Llobregat y Valles Occidental.

Masael Avila Ferris pereció ayer por la mañana en Sant Cugat del Valles al ser arrastrado por las aguas que inundaron la carretera BP 147, de Rubí a Sant Cugat. El temporal cortó el suministro eléctrico y telefónico en la localidad. En el resto del Valles la incidencia fue menor, según informa nuestro corresponsal Josep Mercadé.

La víctima, de 36 años y vecino de Rubí, era el conductor de un "Seat 1430" que se quedó anclado en un momento del viaje que circulaba al y otros tres ocupantes del vehículo. Al parecer, Masael Avila intentó abandonarlo y fue arrastrado por las aguas, pereciendo poco después. El fallecido y el resto de ocupantes del turismo fueron rescatados por efectivos de los bomberos de la Generalitat.

Por otro lado, a las 5 de la madrugada, en Masnou se efectuaron unas evacuaciones en previsión de problemas mayores. Al mediodía, el agua alcanzó en algunos puntos un metro de altura. La riera de Sant Cugat llegó a su cota máxima.

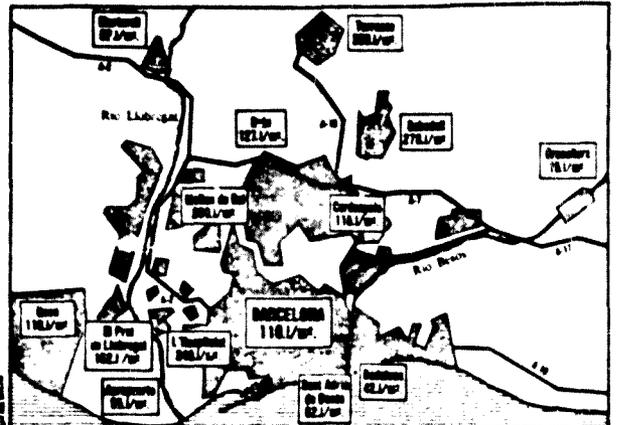
En Ripollés, 150 granos que viven en las márgenes del río Seg fueron evacuados. En Sabadell el fuerte temporal, de 188 litros por metro cuadrado, provocó el derrumbe de la techumbre de un centro escolar.

En Terrasa la lluvia cubrió al menos las laderas más altas de la provincia, con raras de 300 litros por metro cuadrado, según informa nuestro corresponsal Miquel Ferris. Dos familias de Can V�rdell tuvieron que ser evacuadas porque sus viviendas se inundaron. Asimismo, algunas zonas de la ciudad quedaron sin luz y telefonía durante varias horas.

En la carretera de Terrasa a Rubí, a la altura Las Pous, se produjo un cortocircuito de tierra y un helicóptero del servicio de bomberos de la Generalitat realizó una salida para rescatar a una familia que vivió en una mansión y que quedó incomunicada momentáneamente a base de llegar a intervenir. Hay que destacar la pérdida de 200 cabezas de ganado menor al quedar inundada una granja.

Alabamiento en el Baix Llobregat

En el Baix Llobregat, sábanas, planchas limpias y numerosas industrias han quedado averiadas por las inundaciones. Practicamente, la comarca entera estuvo aislada telefónicamente durante todo el día. Muchos de los residentes en esta zona se las vieron y desearon para llegar a sus puestos de trabajo en Barcelona, tardando hasta tres horas en recorrer lo que normalmente se efectúa en media. En El Prat, las inundaciones causaron, en determina-



Precipitaciones más importantes registradas hasta las 20 horas en el área de Barcelona

dos momentos, gran alarma entre los vecinos de diferentes barrios. Algunos de ellos afirmaron que no reconocían una tromba de agua de tal intensidad. Un helicóptero del servicio de bomberos de la Generalitat realizó una salida para rescatar a una familia que vivió en una mansión y que quedó incomunicada momentáneamente a base de llegar a intervenir. Hay que destacar la pérdida de 200 cabezas de ganado menor al quedar inundada una granja.

El temporal tuvo en vista a Molins de Rei un punto de la vía, sobre todo en la zona de la calle Verdader, en donde dada la fuerte crecida de la riera Nova y la obstrucción en su desembocadura a la de Vallvidrera, las aguas invadieron el cauce de la vía férrea, según informa nuestro corresponsal J. P.

Atasco en el Barcelonès

El Barcelonès fue también una de las zonas más perjudicadas por las tormentas de ayer, con 214 litros por metro cuadrado en L'Hospitalet, en donde

fueron demolidas cincuenta viviendas, según informa nuestro corresponsal Antonio G. Arenas.

Las inundaciones afectaron principalmente los barrios hospitalarios de Santa Eulalia, Polígono Cornell y San José. Los sótanos de la Residencia Principales de España se inundaron. Como dato humano cabe señalar que una niña de 6 años, residente en la calle Ignacia, fue trasladada en helicóptero por los bomberos y médicos de la Cruz Roja de L'Hospitalet al Hospital de San Juan de Dios, de Barcelona, a guisa de agradecida, en cuyo centro fue intervenida con toda normalidad. Asimismo, los bomberos rescataron a dos personas que se encontraban atrapadas por el agua en un garaje del polígono Santa Eulalia II.

En Badalona se gran atasco en la carretera N-II y un colapso de considerables dimensiones en la autopista A-19 fueron las principales consecuencias de las tormentas según informa nuestro corresponsal Miquel López.

En algunos momentos la carencia de vehículos llegó hasta El Masnou.

Más de cuarenta llamadas de auxilio recibieron los bomberos de la Generalitat, que emplearon en 740 servicios un total de 80 autobombas y 140 hombres.

El optimismo regresa al campo

"El optimismo ha regresado al campo". Esta manifestación hecha a "La Vanguardia" por el jefe del Servicio de Extensiones Agrarias de La Segarra terracomena, Ferrnando Dolra, resume muy claramente lo que han representado las lluvias caídas en los dos últimos días en las comarcas terracomenas. Lo más importante, según informa nuestro corresponsal Elias Pujol, es que la lluvia cayó de forma apacible siendo de vital importancia para la agricultura. Igualmente las lluvias caídas en Lleida y Girona han beneficiado extraordinariamente la agricultura.

La inestabilidad remitirá en las horas próximas

Los servicios de asesoramiento barcelonés coinciden en afirmar que la inestabilidad será remitido a lo largo del día de hoy, a base no se descarten chubascos aislados especialmente en el interior. La presión atmosférica se irá recuperando y la temperatura mantendrá los niveles de días anteriores. Pocos descuartados trombas de agua de la intensidad de ayer, trombas que posiblemente se habrán despedido de Cataluña, por ahora, en la península mediterránea, según los citados servicios. Para mañana se espera una mejora en el tiempo.

Según el Instituto Nacional de Meteorología de Madrid, los próximos días dan aviso de lluvias generalizadas en la península, especialmente en el sur y este. Se espera un mes húmedo, y un invierno puesto que diciembre será frío y seco.

Pasa a que la estación en los establos continuó y continuará siendo deficiente (buenos prados de ellos en la información que cae esta página), el agua caída en los últimos días en España ha repercutido positivamente en la ganadería estensiva, que tenía planteado el problema de los pastos, y en el cultivo de cereales. No obstante, la amenaza de la "alarma roja" persiste en muchas poblaciones.

Descubra Oro.

Descubra Benson.

Descubra Benson.

Escasa repercusión en los embalses

Las precipitaciones acumuladas en Cataluña durante los dos últimos días han tenido escasa incidencia sobre los embalses de aguas superficiales que regulan los abastecimientos a Barcelona y su zona de influencia. Las lluvias no se han producido en las cuencas altas de los ríos Ter, Llobregat y Cardener con la intensidad necesaria para incrementar sensiblemente los caudales de los embalses San-Susqueda en el Ter, el de La Borja, en el Llobregat y el de Sant Pons, en el Cardener.

Terrasa: precipitaciones superiores a las de 1962

La intensidad mayor de las lluvias se ha registrado en un pequeño sector de la zona costera de la provincia de Barcelona y, más empíricamente, en la comarca del Valles Occidental, con un caudal máximo de precipitaciones en Terrasa, donde en el plazo de 24 horas, comprendido desde el mediodía del domingo al mediodía de ayer, se recogieron 282 litros por metro cuadrado. Esta cantidad fue muy superior a la producida por el temporal de septiembre de 1962, cuando se registraron 214 litros por metro cuadrado.

1962, con solo 236 litros por metro cuadrado, y que están condicionados de vistosos. Los caudales de la red fluvial que alimenta a los embalses de abastecimiento a Barcelona han sido escasos para los efectos que deseábamos. La estación de aforos de Ruda de Ter registraba a mediodía de ayer un caudal de 5 m³/segundo, cantidad muy inferior al caudal medio del Ter, que es de unos 16 m³/segundo. En los 5 metros cúbicos por segundo en los que circulan ayer en el sistema de embalses San-Susqueda, mientras que en otros caudales unos 18,50 metros cúbicos por segundo para regular y abastecimiento a poblaciones.

Por lo que se refiere a la cuenca hidrográfica del Llobregat, su sistema fluvial tenía ayer un régimen muy desigual. En la cabecera del Llobregat, donde está el embalse de La Borja, confluente hace pocas horas por regulación de aguas superficiales con destino al abastecimiento de Barcelona, las precipitaciones tuvieron manifestaciones importantes. Por otra parte, ocurrió el mismo fenómeno en la cabecera del río Cardener con el embalse de Sant Pons. En cambio, los

medios en ya de 260 m³ s y a las cuatro de la tarde se cifraba en 363 m³ s con tendencia a estabilizarse. En cambio, el mismo río Llobregat descendía frente a Sant Joan Despí a las once de la mañana con 700 m³/segundo, caudal que aportaba principalmente la riera de Rubí y el traveso de Terrasa. Este fue el máximo caudal punta que se registró ayer en la cuenca baja del Llobregat, cantidad que, afortunadamente, está todavía muy lejos de la capacidad de desagüe del río, porque con las obras de sucesivamente que se han realizado en el tramo comprendido entre Molins de Rei y el punto de Marchanera la capacidad del Llobregat es de 4.000 m³/segundo. No existe, por consiguiente, peligro alguno de desbordamiento del río en el sector mencionado.

Por fin, un audifono revolucionario

Gracias a la más reciente investigación en el campo de la electro-acústica, podemos pro-

Inundaciones de Valencia a Barcelona

Las pertinaces lluvias que han seguido a la pertinaz sequía paralizaron parcialmente durante las últimas horas sobre todo la amplia zona comprendida entre Valencia, Castellón, Tarragona y Barcelona. También Andalucía comprobó cómo las aguas hacían algunos estragos, pero, en esta ocasión, se libraron de males mayores. Dentro del índice de desastres hay que señalar las innumerables carreteras, especialmente de ámbito comarcal, que quedaron cortadas. La falta de vías de comunicación impidió la normalidad: los transportes en camión se suspendieron, los niños dejaron de ir a las escuelas situadas en pueblos distintos a los de su habitual residencia. También los teléfonos y la corriente eléctrica sufrieron

lo suyo. En España, en cuanto caen más de dos gotas, todo se resiente y las autoridades oficiales son incapaces de ordenar el cese de las tormentas. Es la España húmeda que se alterna con la España seca, en un baile que va desde la rogativa para que llueva a las oraciones de súplica para que cese el agua. Cataluña y particularmente las zonas y poblaciones comprendidas en el Área Metropolitana no ha salido mejor librada. Las pérdidas hasta ahora calculadas suben a varios miles de millones. Barcelona presentaba un lamentable aspecto, el de una ciudad ocupada por las aguas que convertían en ríos aquellas calles peor dotadas de alcantarillado.

(Página 24)



En coche y en moto por la Barcelona inundada



Operación rescate en la arenada Icaria, en Poble Nou



Coches-barcas estacionados en Barcelona