

## **“INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD EN LA ATMOSFERA PARA LA PREDICION DE LLUVIAS COPIOSAS”.**

Recibido: 1992-6-20

**B. GARCIA, C. RODRIGUEZ Y J. GARMENDIA**

Dpto. de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca

---

### **RESUMEN: Influencia de la distribución de la humedad en la atmósfera para la predicción de lluvias copiosas.**

Para la predicción de lluvias copiosas, basándonos en el invariante de Ertel-Rossby, destacamos la importancia de los índices de estabilidad de estratificación que toman en consideración la distribución de la humedad en la vertical de la atmósfera. Examinamos seis episodios que afectaron al País Vasco.

**Palabras Clave:** Meteorología, lluvia, País Vasco, España, estabilidad atmosférica, humedad.

### **ABSTRACT: Influence of Atmospheric humidity distribution to forecast heavy rainfall.**

To predict local heavy rainfall the Ertel-Rossby invariant can be used. The static stability term has been represented as function of heat gradients in which vertical distribution of humidity is emphasized. Six events which occurred in the Basque country were analyzed.

**Key Words:** Meteorology, Rainfall, Basque Regions, Spain, Atmospheric stability, Humidity.

## 1.- INTRODUCCION

La década 1990-1999 ha sido elegida Decenio Internacional para la reducción de los Desastres Naturales, y durante él todos los países y organismos deberán trabajar de consuno para reducir las devastaciones resultantes de los desastres. (Boletín OMM, 1990).

En este trabajo presentamos seis episodios que han afectado al País Vasco con lluvias copiosas.

Su predicción está basada en el teorema del torbellino de Ertel que se considera fundamental para muchos estudios de Geofísica. Se da la circunstancia de que este año es el cincuentenario de su exposición en las revistas alemanas y en la revista de Geofísica (1942). Una simplificación es referirse a la componente vertical de la vorticidad absoluta  $\eta$  y a la variación vertical (en la misma dirección que  $\eta$ ),  $\nabla\psi$ , de una magnitud física y, propiedad característica y conservativa del fluido y función de la presión,  $p$ , y del volumen específico  $\sigma$ ; por ejemplo, la temperatura potencial  $\theta$ , el potencial de Montgomery  $M$ , o energía estática. En el uso de movimientos adiabáticos y sin rozamiento, el teorema se reduce a

$$\eta \sigma \varepsilon = \text{cte.} \quad (1)$$

que recibe el nombre de "invariante del torbellino de Ertel" (Fraedich y Pichler) y donde  $\varepsilon$  representa la estabilidad de estratificación de la columna de aire. Si para la estabilidad estática utilizamos las variaciones verticales de la función  $\psi$  en función de la presión, es decir, los índices báricos de estabilidad, la expresión (1) se transforma en

$$\eta \varepsilon = \text{cte.} \quad (2)$$

y recibe el nombre de vorticidad potencial o invariante de Ertel-Rossby, porque Rossby obtuvo en 1940 una expresión semejante.

## 2.- ESTABILIDAD DEL ESTRATO ENTRE 500 Y 850 hPa

Para determinar la estabilidad de estratificación de la atmósfera vamos a utilizar la diferencia de los valores en los niveles de 500 y 850 hPa de las energías estática seca o potencial de Montgomery,  $M = C_p T + g z$  (Garmendia, 1988) y de la húmeda o equivalente,  $E = C_p T + g z + L q$ , función de la temperatura  $T$ , altura  $z$  y la humedad específica  $q$ , tomándose en Aerología  $q = m$  (proporción de mezcla).

Los observatorios meteorológicos tienen rápidamente los datos de esas variables proporcionados por los sondeos aerológicos. En los casos prácticos que presentamos hemos usado los datos que trae el Boletín Meteorológico Europeo, publicado por el Wetterdienst alemán. En la práctica, a primeras horas de cualquier día  $X$  se tienen en el Observatorio los mapas de superficie y de 700 hPa, además de los sondeos atmosféricos en una zona con un radio de unos 2500 km en los alrededores de la estación meteorológica, y rápidamente se confeccionan los mapas como los que presentamos en este trabajo.

Las variaciones medias, entre los niveles de 850 y 500 hPa, de las energías estáticas seca (EES) y húmeda o equivalente (EEE) para una diferencia de nivel de 1 hPa son:

$$\nabla M = S = \Delta M / 350 = [1004 (T_{500} - T_{850}) + 9.8 (z_{500} - z_{850})] / 350$$

$$\nabla E = H = \Delta E / 350 = [1004(T_{e500} - T_{e850}) + 9.8 (z_{500} - z_{850})] / 350$$

siendo  $T_e$  la temperatura equivalente =  $T + L m / C_p = T + 2,5 q$ . Las unidades de  $q$  vienen dadas en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire húmedo.

La condición de estabilidad para el estrato de referencia es que  $S$  y  $H$  sean positivas. Y para que haya menos estabilidad o más inestabilidad de estratificación es conveniente que:

- la temperatura del aire a 850 hPa sea elevada y
- la temperatura del aire a 500 hPa sea baja o fría.

Y para que la estabilidad calculada con la temperatura equivalente sea pequeña o inestable (valor negativo del índice  $H$ ), además de esas condiciones a y b, interesa que:

- la temperatura del punto de rocío a 850 hPa sea elevada (significa que hay mucho vapor de agua en la parte baja del estrato atmosférico) y
- idem a 500 hPa sea muy negativo (poca humedad en la cima de la columna de aire).

## 3.- METODO OPERATIVO

Colocamos los valores de los gradientes verticales  $S$  y  $H$  en el mapa de topografía absoluta de 700 hPa y trazamos los isogramas correspondientes, con lo que, en el mismo mapa, tenemos las isohipsas de 700 hPa y nuestras líneas de gradiente vertical de cada energía estática.

Una vez que disponemos estos mapas con los dos tipos de isolíneas, es fácil determinar los lugares en que hay mínima estabilidad y/o a los que llegarán columnas de aire menos estables. En la expresión:  $\mathbf{v} \cdot \nabla \varepsilon$ ,  $\mathbf{v}$  significa la velocidad del viento al nivel de 700 hPa (zona media del estrato 850-500) que ocasiona el transporte horizontal de la columna de aire, y  $\nabla \varepsilon$  es el gradiente horizontal de la estabilidad de estratificación. Siempre que el ángulo de los vectores  $\mathbf{v}$  y  $\nabla \varepsilon$  sea inferior a  $90^\circ$ , el viento transporta columnas de aire con valores decrecientes de  $\varepsilon$ . La sustitución de las columnas de aire es tanto más rápida:

- cuanto mayor sea la velocidad del viento, es decir, cuanto más cerca estén las isohipsas,
- cuanto más próximas estén las isolíneas de estabilidad, y
- cuanto menor sea el ángulo, entre ambos vectores.

## 4.-COMENTARIO DE LOS EPISODIOS

Día 03.04.89. (Fig. 1)

En el mapa de superficie de las 00 UTC toda la Península Ibérica y parte de Francia tienen presiones inferiores a 1005 hPa y los centros de bajas están: una en

Zaragoza, otra al Sur de Irlanda y otra al Norte de Lisboa. En la costa Cantábrica soplan vientos del Nordeste, fríos en superficie, que provocaron ascenso orográfico del aire. Un frente frío, paralelo y próximo a la costa levantina del Mediterráneo, y otro paralelo, que parte de Lisboa, a lo largo de la costa Suroeste Atlántica, se presentan en la Península.

En altura prevalecen el centro de la baja al Sur de Irlanda y el otro centro que está al Norte de Lisboa. En consecuencia, en casi toda España prevalecen vientos del Suroeste.

El gradiente vertical del PM tiene de valor mínimo  $29 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en Lisboa y Murcia y un máximo de  $52 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en Gibraltar.

El gradiente vertical de la EEE presenta una zona estrecha entre Madrid y Gibraltar, con valores superiores a  $20 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  y máximo de 25 en Gibraltar, y valores inferiores o iguales a 10 están en el resto de la Península, con mínimos en Murcia de  $1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  y en Lisboa de  $3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ . En Marruecos y en su costa Atlántica los valores son de indiferencia en estabilidad.

En consecuencia, las columnas de gradiente vertical menos estables pueden ser elevadas por la convergencia del viento en tierra y por la invasión desde el Norte de la masa fría superficial, que provoca ascenso orográfico.

Según el Boletín Meteorológico Diario Español se recogieron  $36 \text{ l.m}^{-2}$  en Avilés, 44 en Oviedo, 67 en Santander, 93 en Bilbao, 59 en San Sebastián, 40 en Vitoria, 31 en Burgos, 26 en Pamplona y 22 en Ceuta, nevando en ambas Castillas.

#### Día 04.04.89. (Fig. 2)

En el mapa de superficie de las 00 UTC hay una zona de presión inferior a 995 hPa que abarca el Norte de España y Sur de Francia. Por tanto, soplarán vientos de componente norte en las Vascongadas, con ascenso orográfico generalizado.

En altura la baja abarca prácticamente toda España y el Sur de Francia.

El gradiente vertical del potencial de Montgomery inferior a  $30 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  abarca todo el Sur de la Península.

El gradiente vertical de la EEE inferior a  $0 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  está en el Sur de España, alrededor de Gibraltar, cuyo valor es de  $-1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ . Toda la Península Ibérica y Sur de Francia tienen prácticamente valores inferiores a  $10 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , con otro mínimo relativo inferior a  $5 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en el Sur de Francia.

Los vientos en altura transportarán las columnas más inestables, en estratificación estática y convectiva, alrededor de la baja centrada en la Península. Se volvieron a recoger más de  $30 \text{ l.m}^{-2}$  en la costa oriental del mar Cantábrico, destacando Fuenterrabía con  $50 \text{ l.m}^{-2}$ . Desde las 8 horas hasta las 20 locales se recogieron en Biarritz 100 mm (Bourgary 1989). El tiempo se caracteriza por el aire frío a bajos niveles, proveniente del Norte de Europa, que se encontró con las columnas de aire, también frías, de la Península y que causó nevadas en las zonas altas con graves problemas en las carreteras, produciendo el cierre de numerosos puertos de montaña, en la mitad norte de España. Entre las 6 de la tarde del día 3 y las 3 de la tarde del día 4 se recogieron  $93 \text{ l.m}^{-2}$  en Mondragón. En general, el temporal provocó inundaciones

en diversas localidades por desbordamiento de ríos y regatas. En Bilbao entre la madrugada y la mañana se recogieron  $120 \text{ l.m}^{-2}$ , y simultáneamente, en Vitoria 50, pero de nieve. El INM estima que ha sido el temporal más duro de los últimos años del mes de Abril.

#### Día 22.09.89. (Fig. 3)

En la Península las isobaras extremas al nivel del mar son de 1020 hPa en Galicia y 1016 en Levante. Un frente frío que se extiende de Asturias a Lisboa avanza hacia el Este.

En altura hay un eje de vaguada Norte Sur a unos  $12^\circ \text{ W}$  y una baja relativa centrada al Este de las Islas Baleares, por lo que en la mitad occidental peninsular dominan vientos del Suroeste.

El gradiente vertical del Potencial de Montgomery tiene el mínimo valor en Madrid con  $30 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ .

El gradiente vertical de la EEE es inferior a  $0 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en la mitad este peninsular con valor mínimo de  $-25 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en Santander.

Según el Boletín Meteorológico Diario Español durante el día se registraron precipitaciones en Cantabria, País Vasco, Valle del Ebro y Cataluña, recogándose  $46 \text{ l.m}^{-2}$  en Fuenterrabía hasta las 18 horas. Durante todo el día ha llovido  $59 \text{ l.m}^{-2}$  en San Sebastián, 39 en Huesca y 29 en Daroca. Estas lluvias pueden justificarse por la elevación del aire cálido e inestable al avanzar el frente frío mencionado.

#### Día 19.05.90. (Fig. 4)

En superficie hay un pantano barométrico a las 00 UTC con mínimos de pequeña extensión de 1015 hPa en la Bretaña Francesa, otro en la costa Barcelonesa y otro de 1019 entre Alicante y Argel.

A 700 hPa hay una baja al Oeste de La Coruña y por ello los vientos, a ese nivel, son del Suroeste en la Península.

La estabilidad de estratificación seca tiene valores superiores a  $30 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en toda la Península Ibérica.

Sin embargo, la mitad oriental tiene valores negativos del gradiente vertical de la EEE, con valores mínimos inferiores a  $-10 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  entre Gibraltar y Murcia y otro mínimo de  $-10 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en Burdeos.

Según el Boletín Meteorológico Diario Español hubo chubascos, algunos tormentosos, destacando  $15 \text{ l.m}^{-2}$  recogidos en San Sebastián.

Según la Prensa, una granizada ocasionó graves daños en varias localidades del interior de Guipúzcoa. Las zonas afectadas por el pedrisco fueron Zumárraga, Beasaín, Ordizia, Isasondo y Legorreta. Las "piedras" de granizo alcanzaron diámetros más grandes que las pelotas de tenis de mesa y unos 200 g de peso. Hubo muchos contusionados y heridos porque les cogió el pedrisco en plena calle. Comenzó alrededor de las 6 de la tarde y puso en alerta a las poblaciones afectadas. Ocasiónó

también inundaciones en las bajas. Causó destrozos en el 90% de los tejados y los alcaldes solicitaron que sus pueblos sean declarados "zona catastrófica". Se situaron lugares de aprovisionamiento de plástico y se suministraron kilómetros de plástico. La práctica totalidad de los coches de Ordizia y de algunas otras localidades resultó con los cristales rotos y llenos de abolladuras, con una media de daños por coche de 400.000 ptas. El pluviómetro de Ordizia registraba  $20 \text{ l.m}^{-2}$  de precipitación cuando las bolas de hielo terminaron por romperlo. "Es la granizada del siglo", comentaba el Director del Centro Meteorológico del Golfo de Vizcaya. Tan sólo en la empresa CAF de Beasaín los daños se evaluaban en 1000 millones de ptas.

#### Día 21.05.90. (Fig. 5)

En el mapa de superficie de las 00 UTC hay un frente frío que va desde el centro de una baja relativa, situada al Noroeste de Francia, hacia el Suroeste.

A 700 hPa la baja está a  $46^\circ \text{ N}$ ,  $9^\circ \text{ W}$  y los vientos en la Península son de componente Oeste.

El gradiente vertical del Potencial de Montgomery entre 850 y 500 hPa tiene un mínimo de  $33 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  en Murcia.

El gradiente vertical de la EEE tiene también un mínimo en Murcia con  $-10 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  y la mitad Este de la Península tiene valores negativos para ese gradiente.

Según el Boletín Meteorológico Diario Español destacaron  $83 \text{ l.m}^{-2}$  recogidos en San Sebastián durante la noche,  $26 \text{ l.m}^{-2}$  en Reus y 24 en el Aeropuerto de Zaragoza.

#### Día 25.07.90. (Fig. 6)

En superficie a las 00 UTC hay bajas presiones relativas de 1015 hPa en el Noroeste de la Península sin que el anticiclón llegue a estirarse hasta alcanzarnos.

En los mapas de altura hay en la Península una dorsal y en el océano Atlántico una vaguada con eje meridional hacia los  $15^\circ \text{ W}$ . Un núcleo de baja cota relativa está hacia los  $41^\circ \text{ N}$ ,  $12^\circ \text{ W}$ .

El gradiente vertical de la Energía Estática Seca tiene el mínimo en el Norte de África con  $16 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ .

El gradiente vertical de la EEE tiene su mínimo en Gibraltar con  $-29 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  y el valor inferior a  $0 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$  abarca toda la Península. Los vientos del Suroeste deslizan más inestabilidad hacia el mar Cantábrico, condición que en época veraniega señalamos como una característica para la formación de galemas (Garmendia 1989).

El Centro Meteorológico de Santander comunicó, a primeras horas de la tarde, que se había detectado una galerna en San Vicente de la Barquera, en el extremo occidental de la costa Cantábrica. El Centro Meteorológico Vasco y el Observatorio de Sondica fueron advertidos ante la posibilidad de que la tormenta se desplazase hacia el Este. Protección Civil estableció desde las tres de la tarde la situación de "alerta 3", indicativa de que las condiciones meteorológicas "pueden acarrear grave riesgo". La galerna provocó la caída de un andamio de 40 metros de largo y 16 de alto en Bilbao,

sin que llegara a producirse daños personales, aunque una treintena de coches sufrió importantes destrozos. Según el Boletín Meteorológico Diario Español se recogieron  $22 \text{ l.m}^{-2}$  en Bilbao. Poco antes de las 8 de la tarde el cielo de San Sebastián adquirió un color muy oscuro y, seguidamente, se originó un vendaval al que siguió una tormenta acompañada de aparato eléctrico. La galerna no ocasionó graves contratiempos en Guipúzcoa.

## 5.-CONCLUSIONES

Estos seis episodios son parte de un trabajo en que se estudiaron 62 distintos episodios en que hubo precipitaciones copiosas. (García B., 1991)

Exponemos las conclusiones con referencia a los valores de los gradientes verticales medios, entre 850 y 500 hPa, de las energías estáticas seca y equivalente.

\* El campo de estabilidad trazado con los gradientes verticales de la estabilidad estática equivalente o húmeda, es mejor predictor que el mapa de estabilidad trazado sin tomar en consideración la humedad del aire.

\* Las precipitaciones copiosas ocurrieron en las zonas de mínima estabilidad o de advección de menor estabilidad, lo que significa máxima vorticidad vertical ciclónica o aumento de ella respectivamente, con la consiguiente convergencia de los vientos horizontales.

\* Se destaca la fácil aplicación operativa de este método en la misión de la prognosis diaria en los observatorios meteorológicos.

\* En forma resumida adjuntamos el abanico de valores de los gradientes verticales medios observados:

#### a) Por lo que respecta al gradiente vertical medio de la Energía Estática Equivalente (EEE),

$H = \nabla E < 10 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , casi en su totalidad.

$H = \nabla E < 0 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , (50%), lo que refleja inestabilidad convectiva.

En el 80 % hubo advección de columnas de aire con menor estabilidad de estratificación.

En "13" casos (21%) el viento era inferior a 15 nudos. Por tanto, influyó poco el transporte horizontal, pero "ε" era mínima y "η" máxima.

#### b) Y referente al gradiente vertical medio de la EES,

$S = \nabla M < 40 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , en un 77 % de los casos.

$S = \nabla M < 30 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , en el 21 % de los casos.

$S = \nabla M < 19 \text{ J.kg}^{-1}.\text{hPa}^{-1}$ , en un solo caso.

Se hace patente el efecto de la distribución de la humedad en la vertical de la atmósfera.

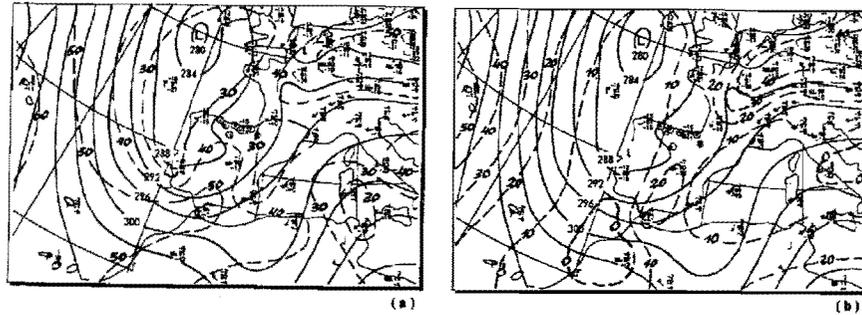


Fig. 1: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 03-04-89

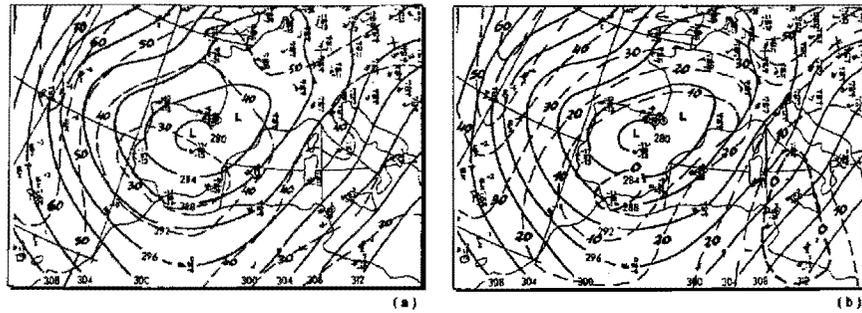


Fig. 2: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 04-04-89

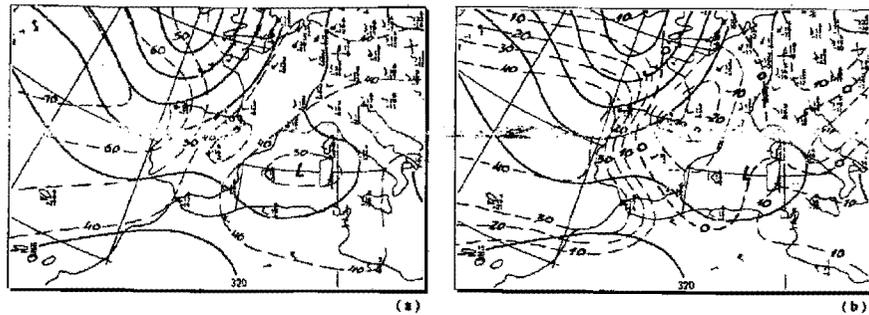


Fig. 3: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 22-09-89

a) (S) = gradiente vertical medio de la Energía Estática Seca  
 b) (H) = gradiente vertical medio de la Energía Estática Equivalente  
 ——— Isobarpas de 700 hPa ——— Isotermas ⊙ Lluvias copiosas 00 UTC

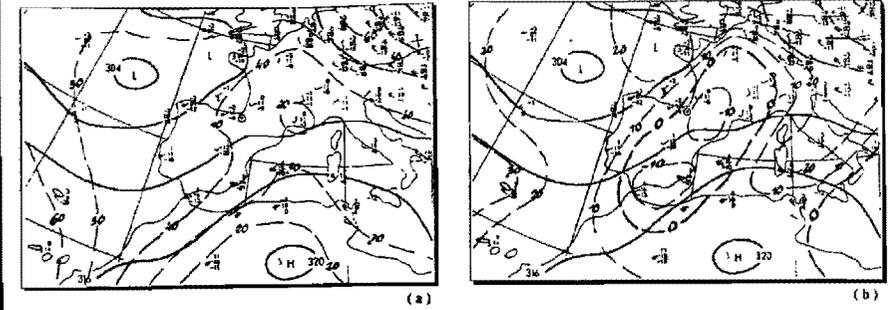


Fig. 4: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 19-05-90

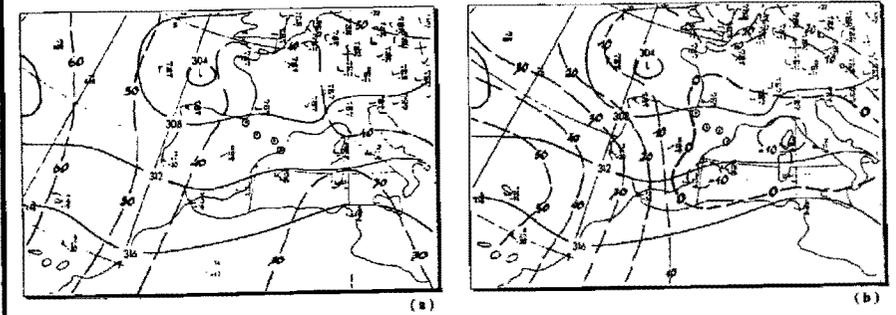


Fig. 5: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 21-05-90

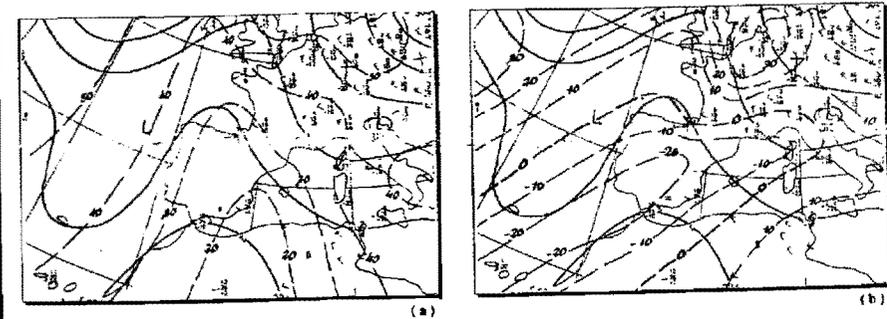


Fig. 6: Mapas de estabilidad de estratificación del aire del día 25-07-90

a) (S) = gradiente vertical medio de la Energía Estática Seca  
 b) (H) = gradiente vertical medio de la Energía Estática Equivalente  
 ——— Isobarpas de 700 hPa ——— Isotermas ⊙ Lluvias copiosas 00 UTC

**6.- BIBLIOGRAFIA**

- BOLETIN METEOROLOGICO DIARIO DEL INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Madrid.
- BOLETIN METEOROLOGICO EUROPEO. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes. Publicación diaria. Offenbach.
- BOLETIN DE LA OMM 1990, **39**, 1, Enero. *Revista Oficial de la Organización Meteorológica Mundial*. Ginebra.
- BOURGARY A., 1989. Périodes caractéristiques. *La Météorologie VII*. Série n° 28. Avril.
- ERTEL H., 1942. Ein neuer hydrodynamischer Wirbelsatz. *Meteorologische Zeitschrift*, **59**, 9, 277-281.
- FRAEDRICH K., 1974. Dynamic and Theermodinamic Aspects of the Parameterization of Cumulus Convection: Part. II. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1938-1949.
- GARCIA B., 1991. Los mapas de estabilidad de estratificación y la predicción de lluvias copiosas. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- GARMENDIA M. J., MATEOS J., GARCIA E., GARMENDIA J., 1988. Aplicación del término de estabilidad en el desarrollo de las borrascas en los días 25 y 26 de Agosto de 1983. *Lurralde* n° **11**, 95-102. San Sebastián.
- GARMENDIA J., 1989. La predicción de las Galernas basada en la vorticidad potencial. *Lurralde* n° **12**, 15-23. San Sebastián.
- MORAN F., 1942. Nueva deducción e interpretación física de un teorema hidrodinámico de Ertel. *Revista de Geofísica*, **1**, 344-348.
- PICHLER H., 1984. Dynamik der Atmosphäre. Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zurich.
- ROSSBY C. G., 1940. Planetary flow patterns in the Atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **66**, supl. 68-87.