

R- 0.090/F CB 1021765

Sij 409.313 (041) = 60

AREA DE PREDICCION

SERVICIO DE TECNICAS DE ANALISIS Y PREDICCION

EDICION

28-October-1992

NOTA TECNICA N° 7

REVISION

-0-

# SISTEMAS FRONTALES: LOCALIZACION Y CARACTERIZACION A PARTIR DE MODELOS NUMERICOS

A.García Méndez  
F. Elizaga Rodríguez

AEMET-BIBLIOTECA



1021765



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Subdireccion General de Predicción y Vigilancia

## INDICE

1.- INTRODUCCION	
2.- PARAMETRO FRONTAL TERMICO	Pag.1
3.- MODELOS CONCEPTUALES DE FRENTE	Pag.9
4.- USO DE LOS DISTINTOS CAMPOS EN RELACION CON LOS SISTEMAS FRONTALES	Pag.24
5.- EJERCICIO DE APLICACIÓN	Pag.25
6.- APENDICE	Pag.33
BIBLIOGRAFIA	



## 1.- INTRODUCCION

La tarea de predecir la posición futura de los sistemas frontales, su evolución, su intensificación o decaimiento, etc, es uno de los principales problemas con los que se enfrenta el predictor operativo, principalmente en los meses invernales.

En esta nota técnica, y desde un punto de vista lo más practico posible, se tratará en esencia de mostrar la distribución típica que presentan diversos campos meteorológicos en relación con los sistemas frontales, de forma que haciendo uso de las predicciones que para estos campos proporcionan los modelos numéricos se puedan situar los frentes en un mapa previsto, obteniendo además alguna información sobre su estado de desarrollo y su posible evolución.

La nota técnica se estructura en varios capítulos. En el primero se explicará en profundidad el concepto de parámetro frontal térmico (PFT), campo que nos ayuda a localizar las fronteras entre distintas masas de aire en función de su temperatura y grado de humedad, dándonos además indicaciones acerca de la estructura vertical de esa frontera. Se mostrarán algunos ejemplos de su comportamiento en situaciones reales en los que se pondrán de manifiesto las limitaciones que puede tener en determinados casos.

En el segundo capítulo se desarrollan los modelos conceptuales asociados a estructuras típicas de frente frío, cálido y ocluido, junto con la distribución de algunos campos básicos. Los campos básicos con los que se trabajará serán el espesor 500-1000 mb, la temperatura potencial del termómetro húmedo (THW), su advección (THWADV) y el parámetro frontal térmico en 850 mb, 700 mb y 500 mb.

La aplicación de estos campos a una situación real constituye el tercer capítulo. Además de los campos básicos se trabaja con otros campos como vorticidad relativa, advección de vorticidad absoluta, advección de espesores, etc, que completan la visión de conjunto de la situación, haciéndose además numerosos comentarios del comportamiento de todos estos campos en situaciones reales que serán de gran utilidad práctica.

El último capítulo será un ejercicio de aplicación. A partir de una imagen de satélite y haciendo uso de los campos básicos propuestos en esta nota técnica, se localizarán los frentes paso a paso, aplicando una mecánica directamente trasladable al trabajo diario.



## 2.-PARAMETRO FRONTAL TERMICO

Si usamos el concepto de frente en el sentido de zona de separación entre masas de aire con diferente temperatura y contenido de humedad, en una región Baroclina a escala sinóptica, un sistema frontal debe tener una cierta consistencia espacial y temporal. Por lo tanto, debe ser posible el seguimiento de estructuras de este tipo a partir de Modelos Numéricos.

El primer objetivo antes de diseñar un parámetro frontal, es elegir un parámetro conservativo que de cuenta de la separación entre masas de aire.

R.J. Renard y L.C. Clarke (1965), utilizaron la temperatura potencial a causa de los problemas que presentaban los modelos numéricos en el tratamiento de la humedad. Es evidente que este no parece un parámetro muy apropiado ya que aunque debe conservarse en condiciones adiabáticas, no lo hace cuando se consideran efectos diabáticos en especial la liberación de calor latente cuyo papel es fundamental en la evolución de un sistema frontal.

V. Zwatz-Meise (1985) utiliza los espesores 850/500, con lo que considera la temperatura virtual media de este estrato. Los resultados que obtiene son buenos en sistemas frontales intensos y poco concluyentes cuando la intensidad es menor. Esto es lógico a causa del efecto de suavizado inherente a la definición del parámetro frontal.

Nosotros, hemos escogido para definir el parámetro frontal térmico (en adelante PFT) la temperatura potencial del termómetro húmedo por una serie de razones.

En primer lugar disponemos en la actualidad de un algoritmo de cálculo rápido y eficiente para el cálculo de la temperatura potencial del húmedo que trabaja tanto sobre datos de sondeos como sobre salidas de Modelos Numéricos (ver Nota Técnica nº5 STAP).

En segundo lugar, la temperatura potencial del húmedo, es menos sensible a la humedad que la temperatura potencial equivalente, presenta gradientes mas suaves y es un campo menos ruidoso que esta.

Por último, la temperatura potencial del termómetro húmedo se conserva tanto en las evoluciones adiabáticas como en las diabáticas que consideren la liberación de calor latente.

Una vez escogida la temperatura potencial del termómetro húmedo, se aplica el operador

$$-\bar{u}_n \nabla |\nabla$$

a la temperatura potencial del húmedo para obtener las zonas donde el gradiente está cambiando mas rápidamente. De este modo, el PFT queda definido como:

$$PFT = -\bar{u}_{\theta_w} \nabla |\nabla \theta_w|$$

donde el unitario es

$$\bar{u}_{\theta_w} = \frac{\nabla \theta_w}{|\nabla \theta_w|}$$

Su significado se explica en las siguientes figuras.

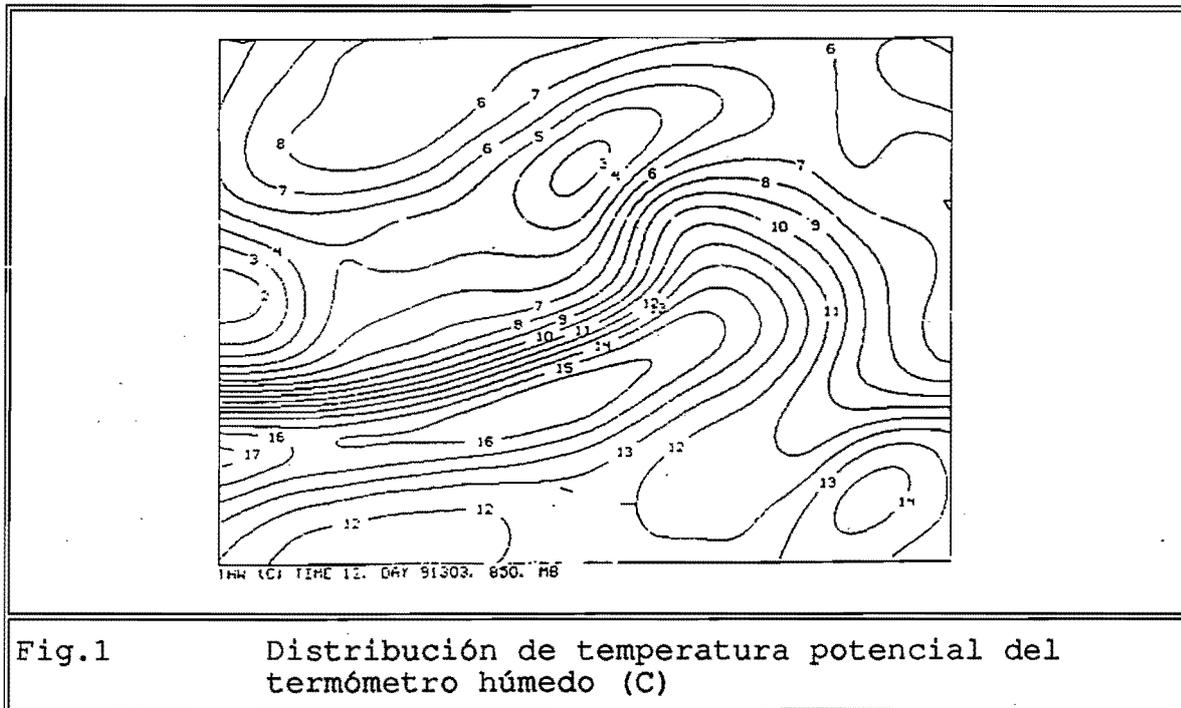


Fig.1 Distribución de temperatura potencial del termómetro húmedo (C)



La figura 1, muestra una región Baroclina en la Troposfera baja. Los ejes de máximo y mínimo módulo de gradiente que aparecen en la figura 2 muestran las partes centrales de las regiones Baroclina y Barotrópica respectivamente.

A su vez, estos ejes coinciden sensiblemente con los ceros del PFT que se muestran en la figura 3. Hay que hacer notar que en la práctica el comando de cálculo solo mostrará valores de PFT positivos.

Las dorsales del PFT (valores máximos del parámetro) y las vaguadas (valores mínimos del PFT) localizan las fronteras el aire cálido y frío respectivamente.

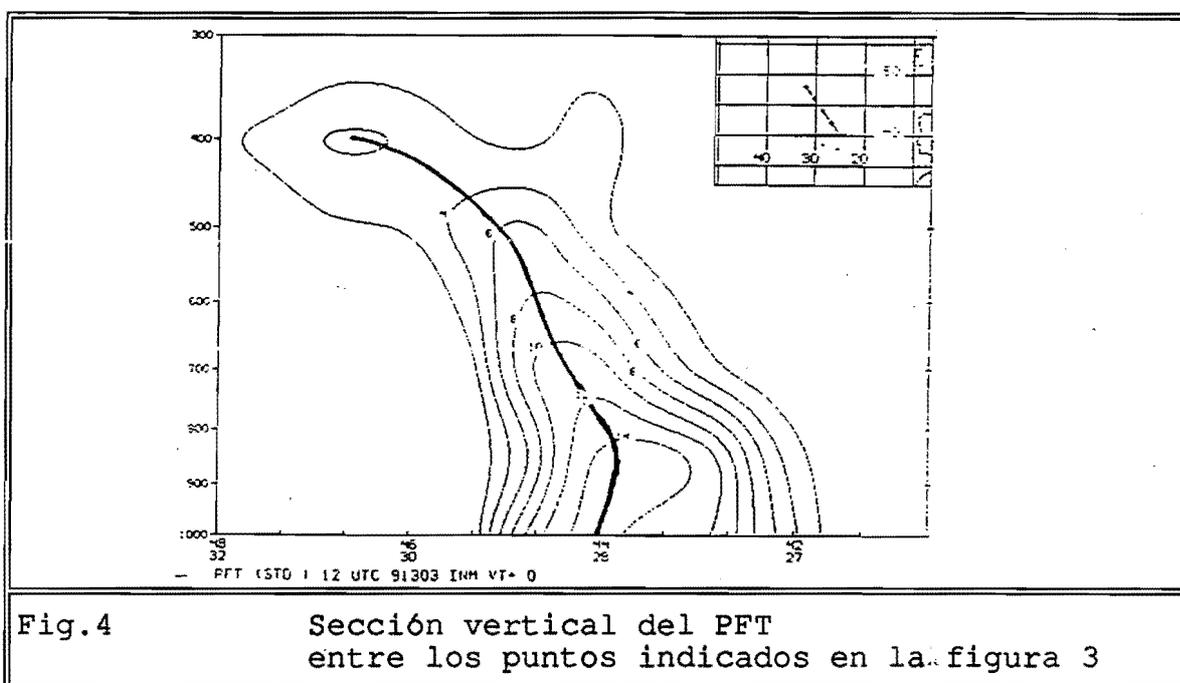


Fig.4 Sección vertical del PFT entre los puntos indicados en la figura 3

El significado físico de la PFT es el siguiente:

**El PFT, es la derivada direccional del módulo del gradiente de la temperatura potencial del húmedo en dirección de su gradiente. En un frente bien marcado, esta derivada direccional mide la variación máxima del gradiente ya que en tal caso las direcciones del gradiente térmico y de la máxima variación de este gradiente son idénticas. Esta matización se aclara en el Apéndice que se incluye al final de esta Nota Técnica.**

Las figuras 5 y 6, muestran con mas detalle este significado para un frente frío y un frente cálido clásicos.

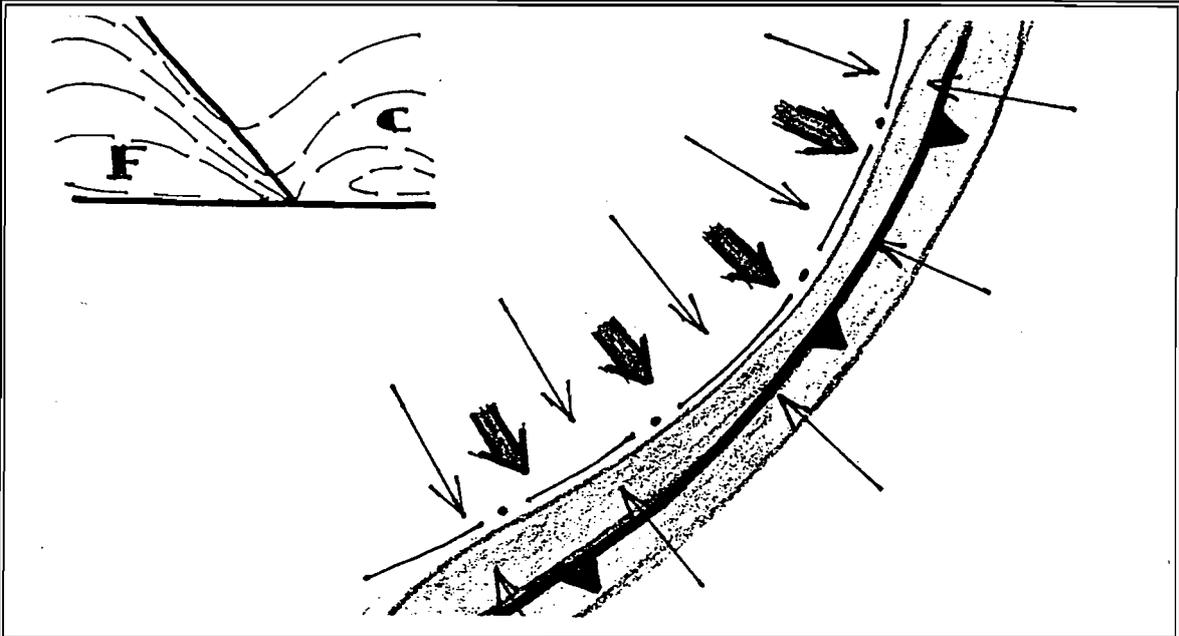


Fig.5

Frente frío clásico

	CODIGO	
		Frentes
		Eje de gradiente de THW máximo
		Gradiente del módulo del gra- diente de THW
		Unitarios en dirección gra (THW)
		Zona sombreada... PFT > 0

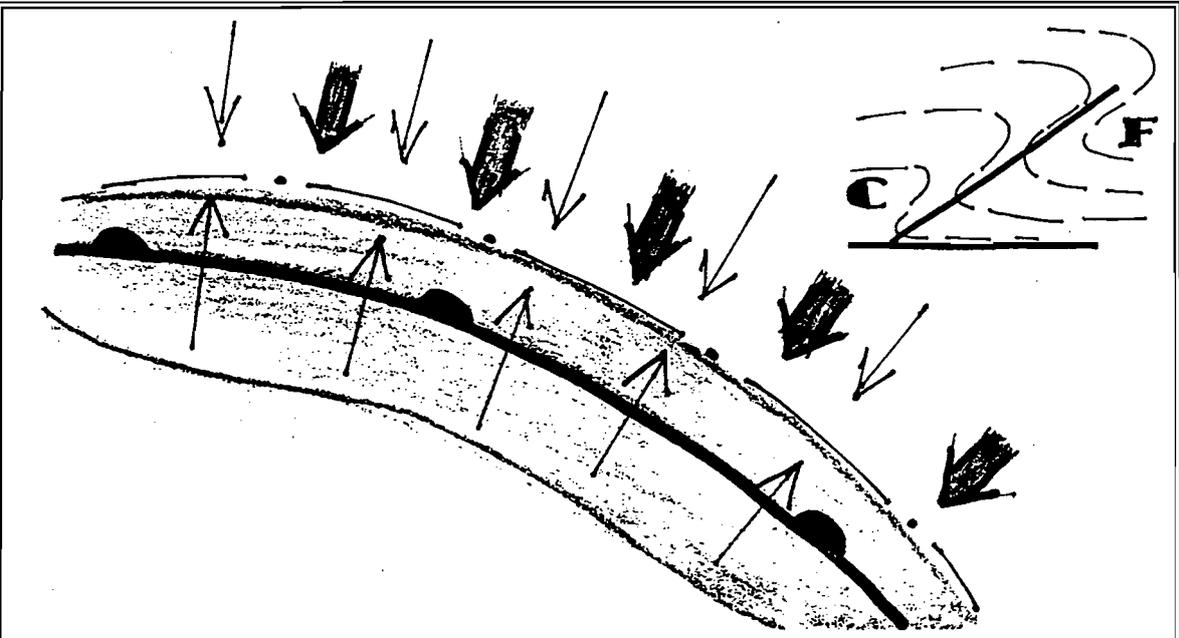
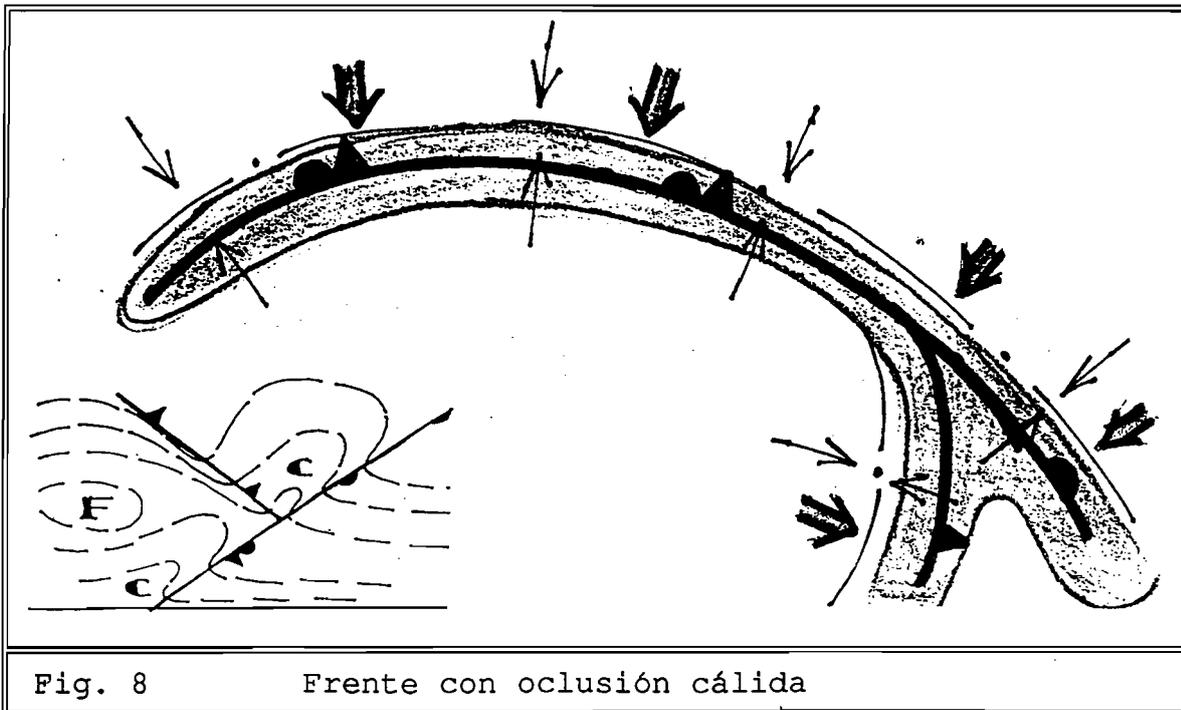
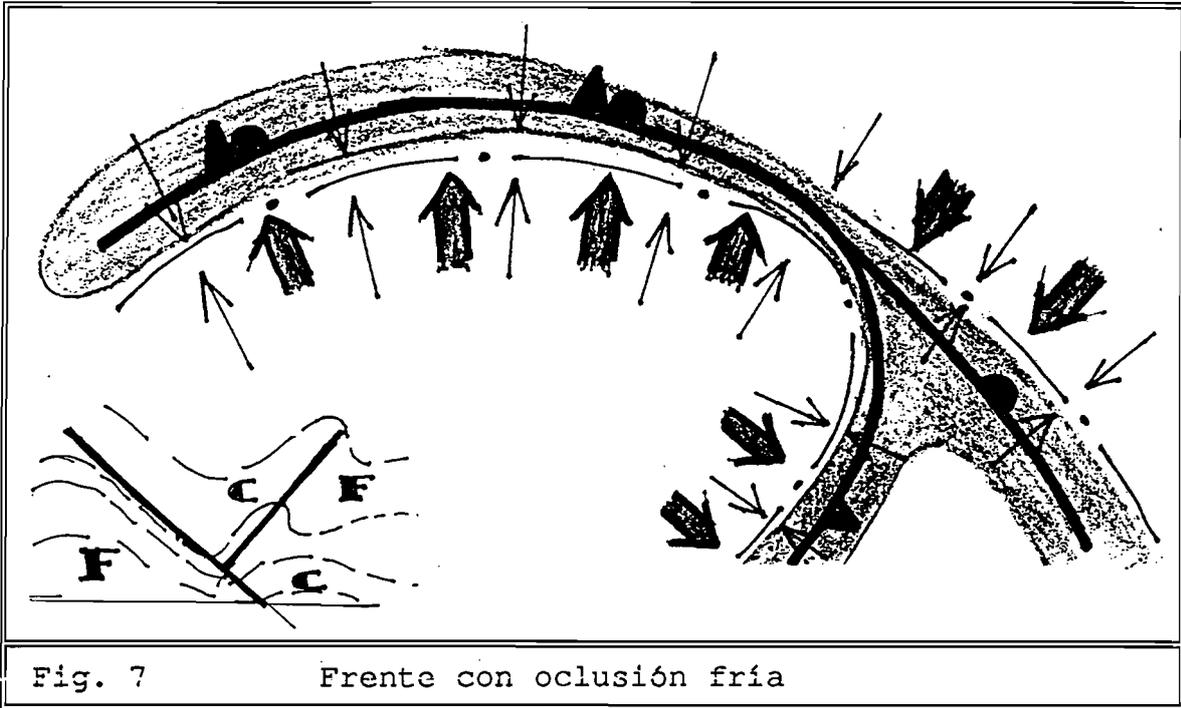


Fig.6

Frente cálido clásico  
(El código es idéntico al de la Fig.5)

En el caso de una oclusión la posición del PFT dependerá de si se trata de una oclusión fría o cálida. En las dos figuras siguientes se justifica la posición del PFT en ambos casos.



### **Aplicaciones:**

El **PFT** debe utilizarse para marcar fronteras térmicas en general.

En el caso de un frente frío este parámetro se localiza por delante de la línea de gradiente máximo de la THW (ver la figura 5).

En el caso de un frente cálido se sitúa por detrás del gradiente máximo (ver figura 6).

En las oclusiones, su posición depende de si esta es cálida o fría (figuras 7 y 8).

Este campo da una primera aproximación de la posición de los frentes.

Las ondulaciones incipientes en un frente **no** aparecen en general recogidas por el **PFT**.

### **Restricciones en su uso:**

Cuando se utiliza el **PFT** en niveles medios (500 mb), hay que tener en cuenta que los máximos de viento (que están en balance térmico a escala sinóptica), ofrecen un gradiente térmico fuerte a la derecha de este máximo y por lo tanto este parámetro dará señal en esta zona. En la figura 9 se muestra un caso ideal con esta situación.

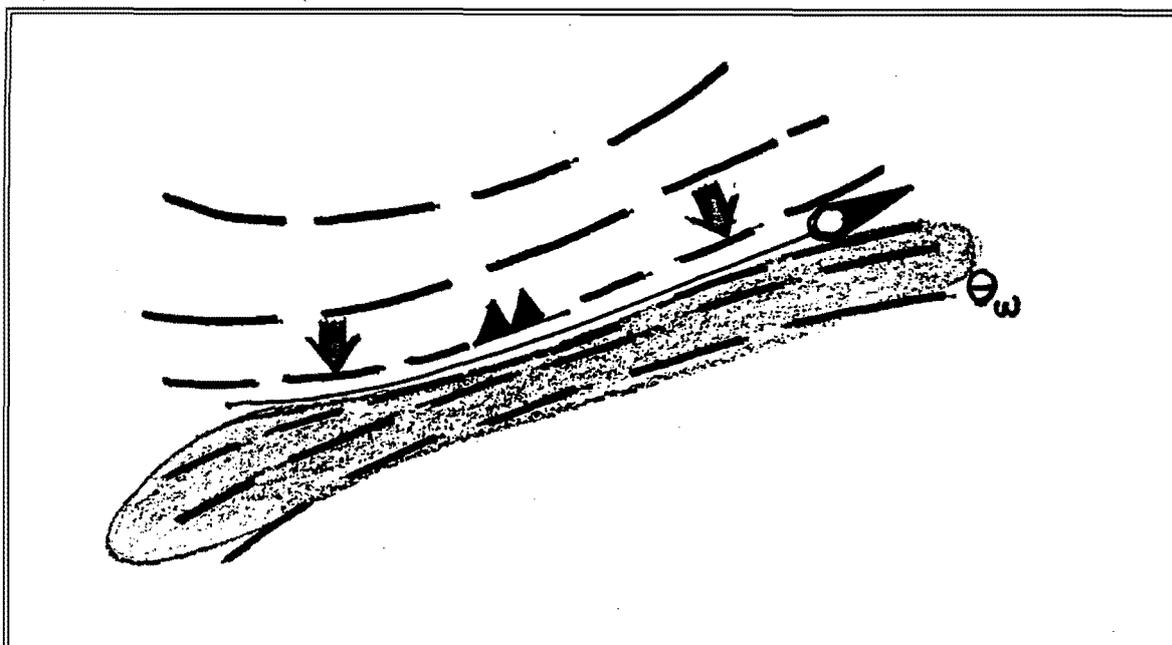


Fig.9 PFT en 500 mb asociado a un máximo de viento

### Cálculo del PFT:

Se ha desarrollado una macro que facilita la obtención del PFT en el McIDAS. Esta macro se llama YPFT y su uso es en todo equivalente a las demás macros existentes desarrolladas en el STAP. En concreto, su estructura es la siguiente:

```
YPFT NIVEL <KEYWORDS>
```

donde NIVEL es el nivel de cálculo que se desea utilizar (850, 700, etc)

y las keywords que admite son:

```
DAY= día de ejecución del modelo  
PAS= pasada del modelo  
PINI= período de predicción  
GRIDF= gridfile que contiene los campos
```

El PFT que se obtiene al usar esta macro tiene las siguientes unidades:

$$(PFT) = K \cdot KM^{-1} \cdot KM^{-1} \cdot 10^{-6}$$

### 3.- MODELOS CONCEPTUALES DE FRENTE

Como se ha apuntado en la introducción, en este capítulo se presentan los modelos conceptuales asociados a los frentes fríos, cálidos y ocluidos típicos, así como la distribución espacial que presentan distintos campos básicos en relación con ellos. Cuando decimos típico nos estamos refiriendo a frentes bien desarrollados y que presentan las características propias de cada uno claramente definidas. Por lo tanto, cuando apliquemos todos estos modelos a las situaciones reales pueden aparecer desviaciones debido a la gran cantidad de estados diferentes en los que se pueden presentar los frentes.

#### 3.1. Modelo conceptual de frente frío.

En la Fig.10 aparecen representados según el modelo clásico dos frentes fríos, uno de tipo anafrente y otro katafrente. Un frente frío tipo anafrente (Fig.10a) se caracteriza por un movimiento del aire cálido hacia arriba a lo largo de la superficie frontal inclinada, produciendo nubosidad postfrontal y precipitaciones extensas, con una banda de precipitación realizada en la posición del frente en superficie.

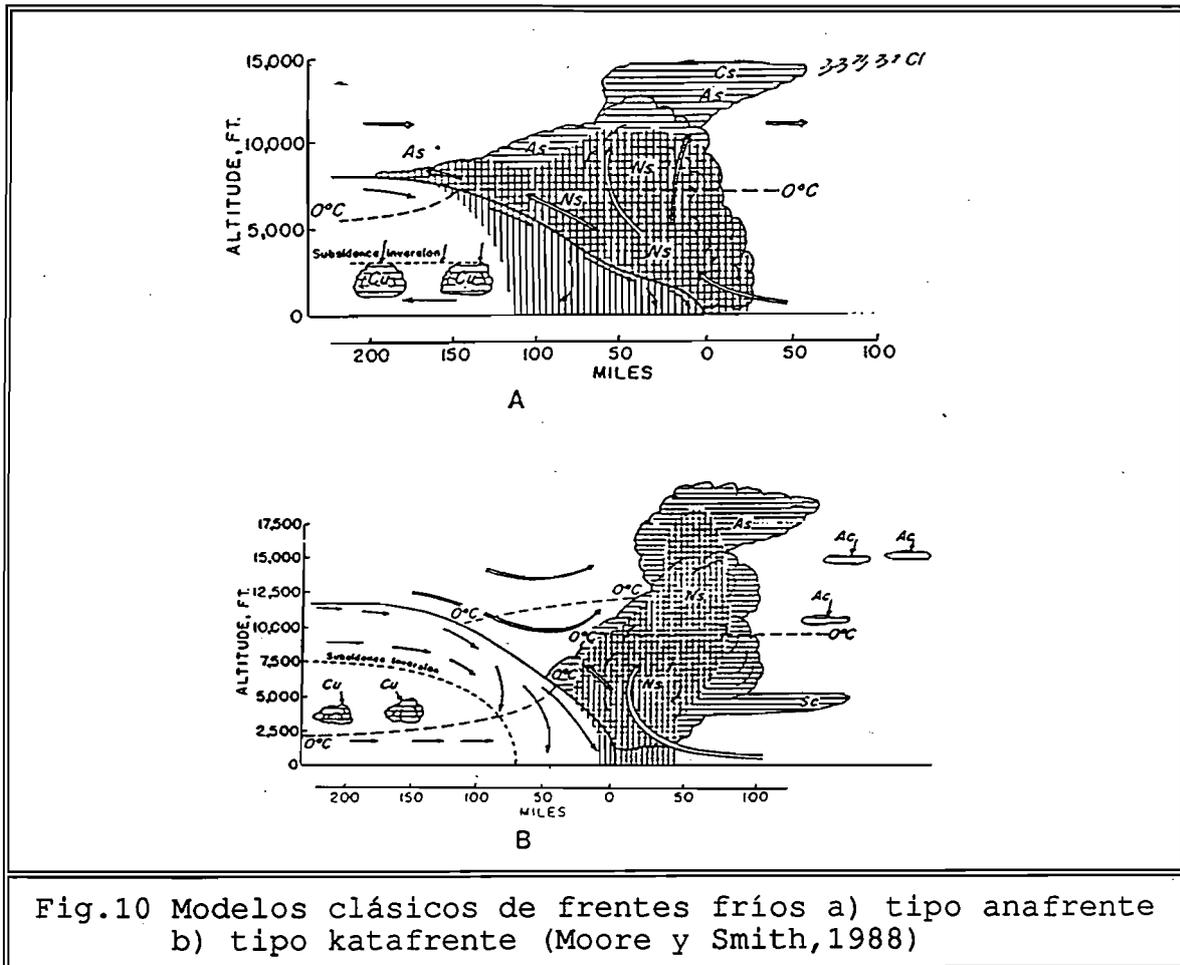


Fig.10 Modelos clásicos de frentes fríos a) tipo anafrente b) tipo katafrente (Moore y Smith,1988)

Un frente frío tipo katafrente (Fig.10b) se caracteriza por un descenso postfrontal de aire que produce una estrecha banda de precipitación a lo largo o por delante del frente en superficie. En los anafrentes la nubosidad aparece en las imágenes de satélite por detrás del frente en superficie, mientras que en los katafrentes aparece por delante.

Los esquemas para un anafrente y un katafrente desde el punto de vista de los flujos relativos al sistema, es decir, haciendo uso de los conceptos de bandas transportadoras de aire cálido y frío se muestran en la Fig.11. La banda transportadora de aire cálido (WCB) es una corriente de aire cálido y húmedo que fluye a lo largo de la longitud del frente frío, parte de ella en forma de un chorro de bajo nivel dentro de la capa límite justo delante del frente frío en superficie. Si el aire en el WCB tiene una componente de movimiento hacia atrás relativa al movimiento del frente frío y el ascenso de este aire tiene lugar en las cercanías y por encima de la superficie frontal fría tenemos un anafrente, mientras que si el aire dentro y por encima del WCB tiene una componente de movimiento hacia delante relativa al frente frío y el ascenso más importante se produce en el sector cálido tenemos un katafrente.

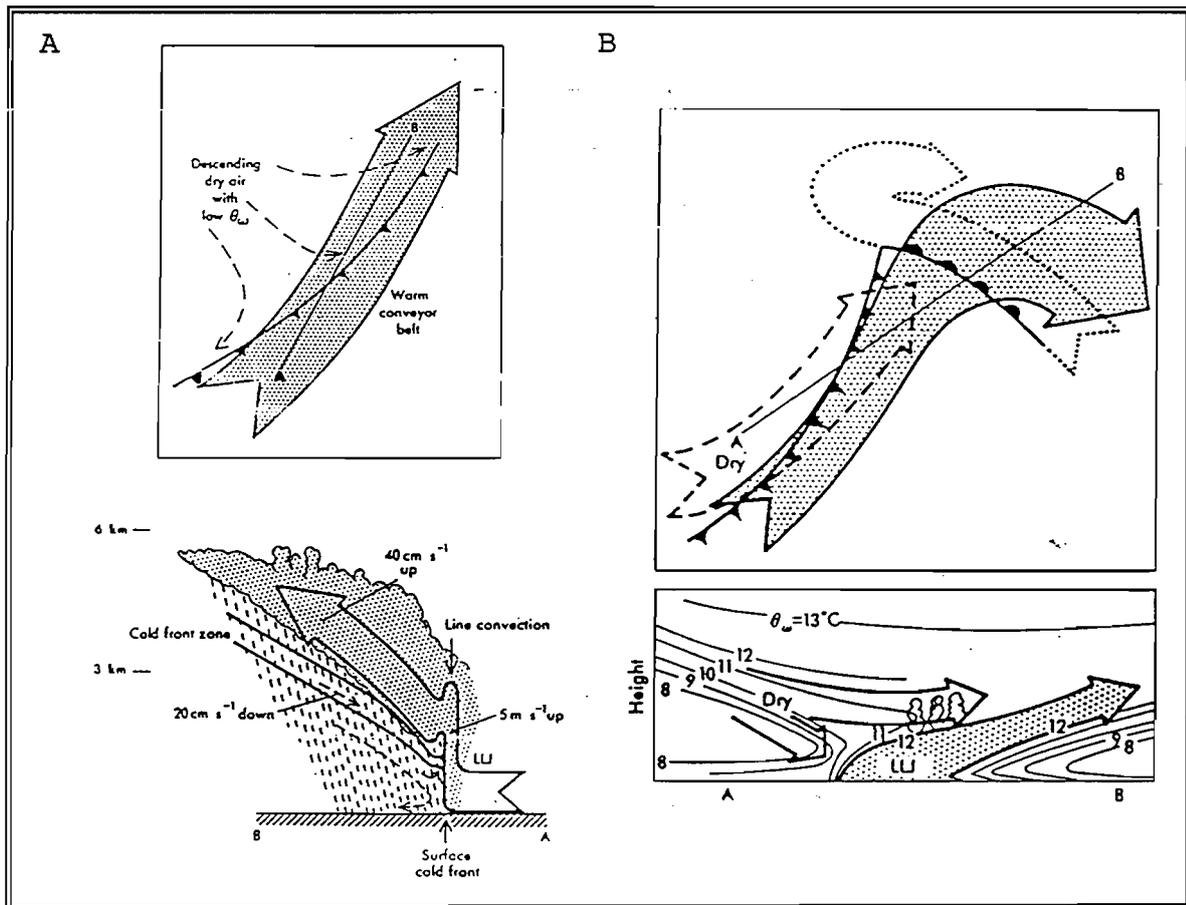


Fig.11 Modelo de flujos relativos para a) anafrente y b) katafrente. Se muestra en cada caso una sección horizontal y una vertical según la línea AB (Browning, 1986)

La distribución típica del campo de geopotencial en niveles altos y de espesor 500-1000 mb (Fig.12) muestra que el frente frío aparece por delante de la vaguada de espesor y a la derecha del máximo gradiente de isolíneas de espesor. La Fig. 12 corresponde al caso de un anafrente, por lo que las líneas de espesor y los vientos en altura son casi paralelos al frente frío, con débil gradiente de temperatura dentro del sector cálido.

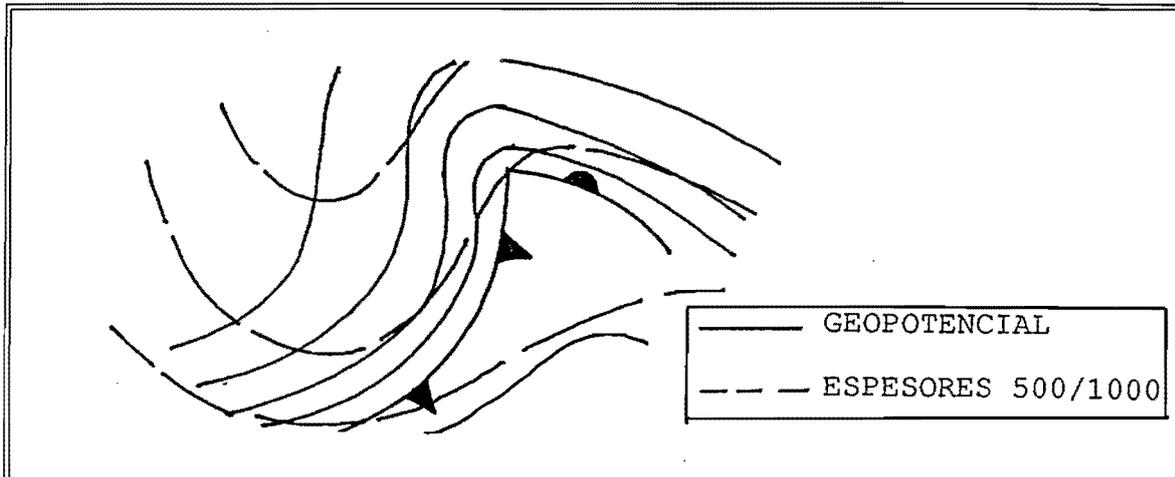


Fig.12 Geopotencial de 500 mb (línea discontinua) y espesor 500-1000 mb (continua) en un sistema frontal típico.

En el caso de un katafrente (no mostrado) las líneas de espesor y los vientos en altura cruzan el frente con un ángulo apreciable, quedando la zona de máximo gradiente de temperatura virtual media por delante del frente frío en superficie.

La distribución de temperatura potencial del termómetro húmedo (THW) en 850 mb asociada a un sistema frontal típico se muestra en la Fig.13 ( para más información sobre la THW consultar la Nota Técnica del STAP N° 5):

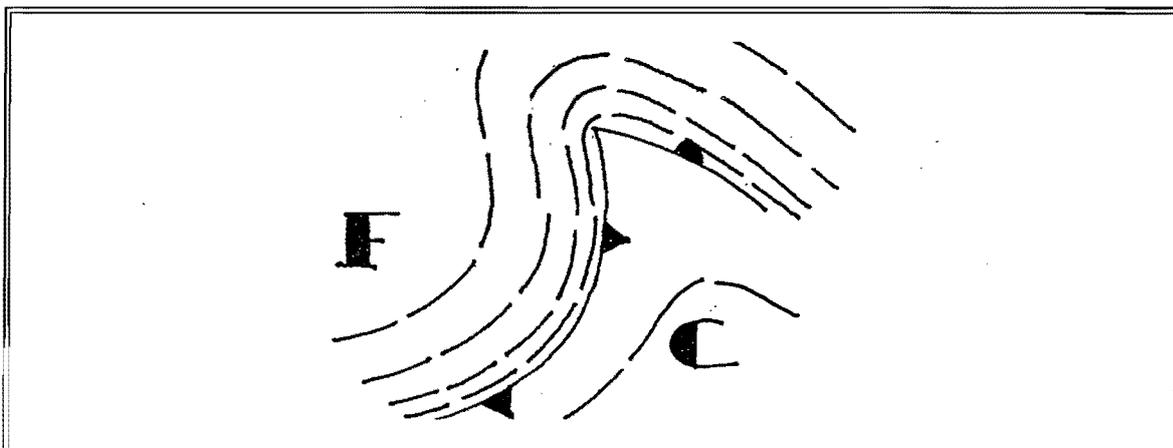
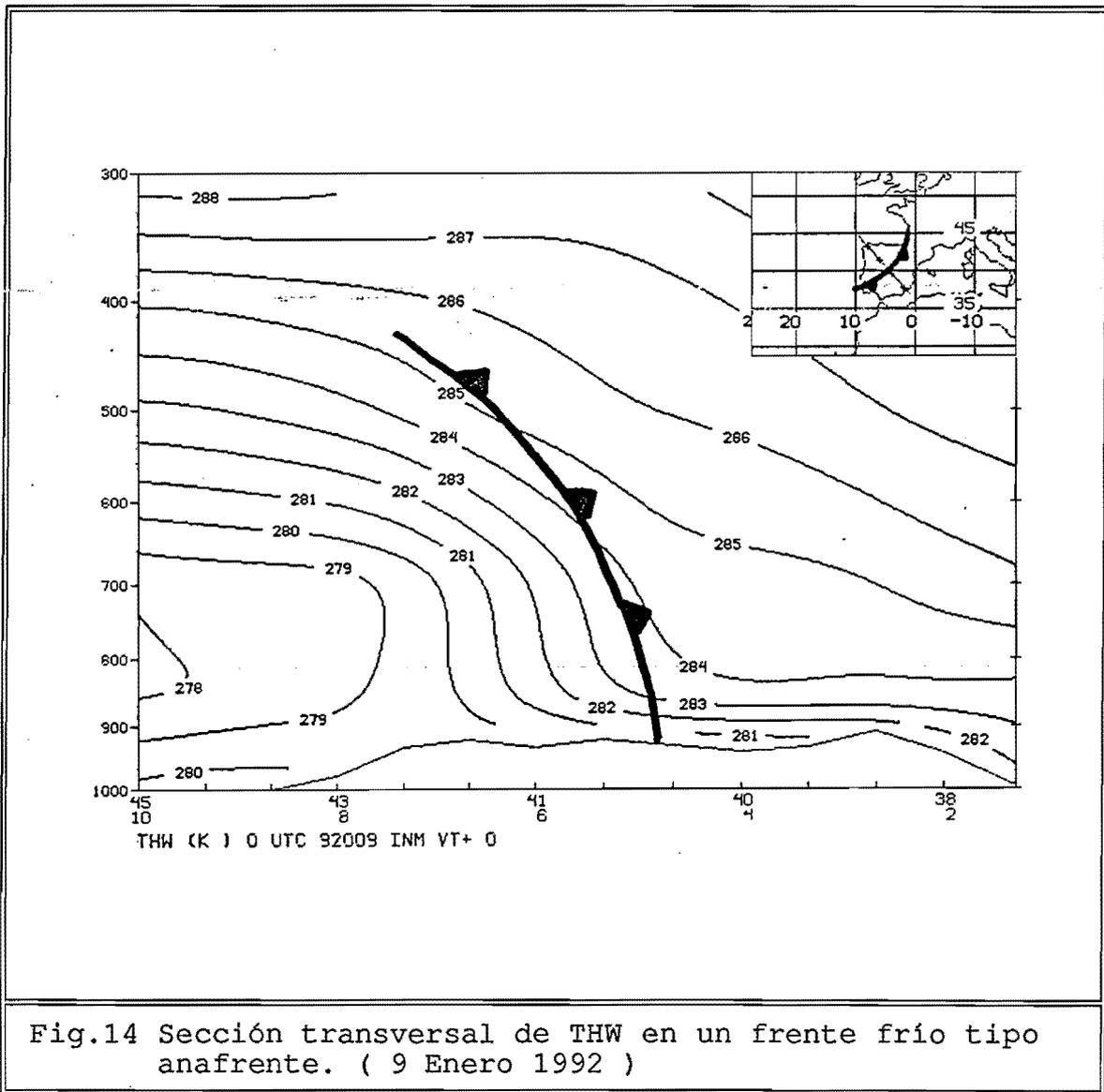


Fig.13 THW en 850 mb en el caso de un sistema frontal típico

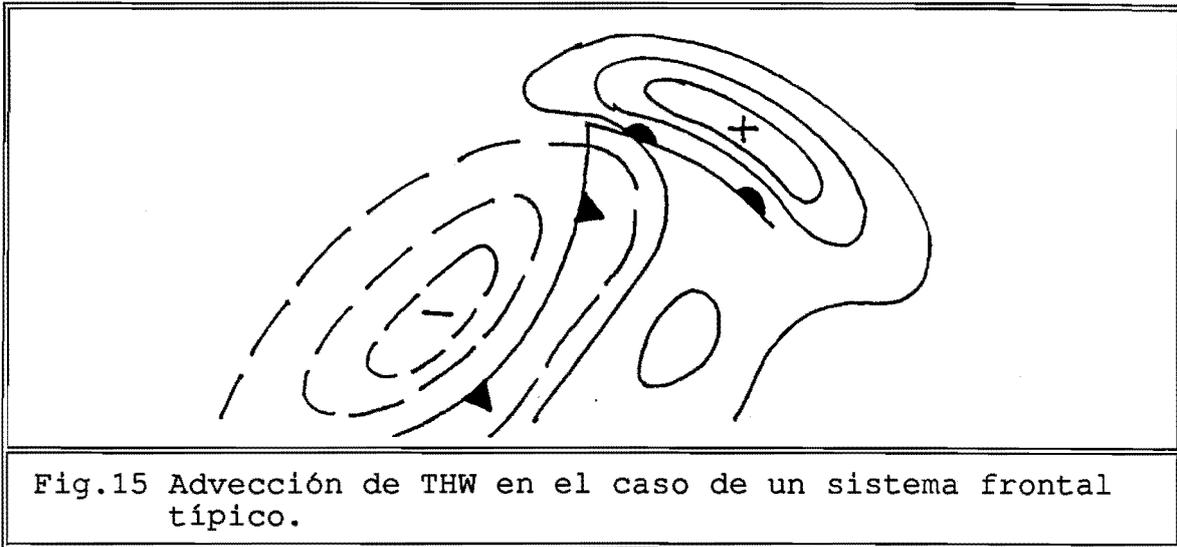
Vemos cómo el frente frío se coloca por delante del gradiente máximo de THW y por detrás del eje de THW máxima. En este campo y en el de espesores la situación del frente es análoga, siendo recomendable la THW ya que marca mejor la separación entre diferentes masas de aire.

La situación de un frente frío respecto al campo de temperatura potencial del húmedo queda claramente reflejada en la Fig.14, que muestra un corte transversal de THW para el caso de un frente frío: Se observa la descarga fría postfrontal y el sector cálido, quedando el frente por delante del máximo gradiente de THW, apreciándose además claramente en esta sección la inclinación de la superficie frontal (corresponde al caso de un anafrente).



En la Figura 15 aparece la distribución de advección de temperatura potencial del húmedo en 850 mb; el máximo de

advección fría queda por detrás del frente frío, siendo normal que esta advección penetre algo en el sector cálido.



Por lo que respecta a las distribuciones del parámetro frontal térmico (PFT) en el caso ideal de los frentes fríos, las ideas fundamentales se han apuntado en el capítulo 2. Recordar que este campo nos da la variación máxima del módulo del gradiente térmico en la dirección de este, es decir, marca fronteras entre masas de aire. Teniendo en cuenta que en un anafrente la frontera entre masas de aire se retrasa respecto a la posición del frente frío en superficie según se asciende en la atmósfera, la señal de la PFT se retrasará en 500 mb respecto de la señal en 700 mb y la señal en este nivel se retrasará respecto de la de 850 mb.

En el caso de un katafrente las cosas ocurrirán justo al contrario ya que la frontera entre masas de aire se desplaza hacia delante con respecto al frente frío en superficie según se asciende en la atmósfera.

En la Fig.16 aparece una sección transversal del PFT para el caso de un frente frío tipo anafrente, observándose como el máximo se desplaza hacia atrás en los niveles superiores respecto de los inferiores.

En 500 mb, como ya se apuntó en el capítulo 2, hay que ser muy cuidadosos al aplicar este campo ya que aparecerá una señal fuerte justo a la derecha de los máximos de viento, debido a que los máximos de viento se encuentran balanceados térmicamente a escala sinóptica y van acompañados siempre de un fuerte gradiente térmico. También hay que tener en cuenta que en 700 mb, donde las estructuras de humedad aparecen muy marcadas, se observarán señales secundarias asociadas a los máximos de humedad.

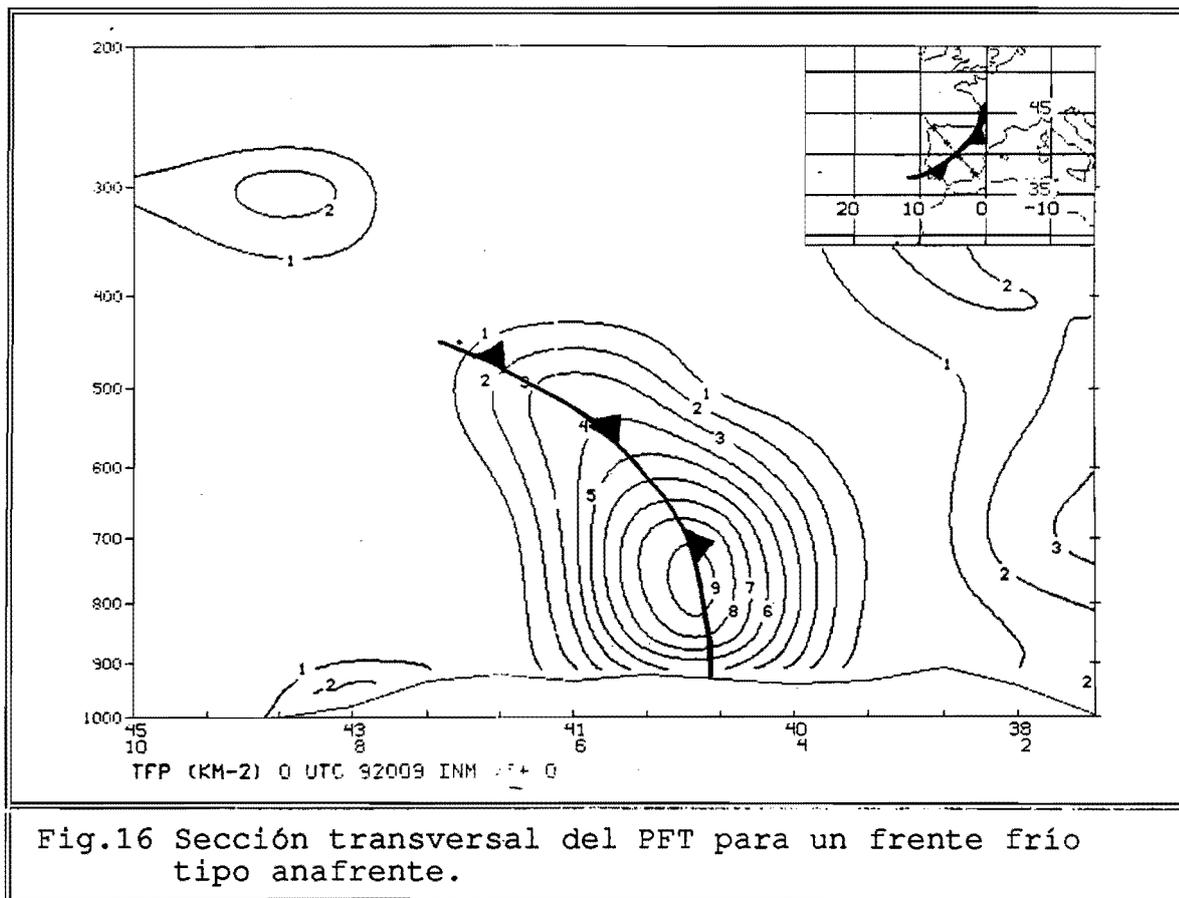


Fig.16 Sección transversal del PFT para un frente frío tipo anafrente.

Mención especial merece un caso particular de katafrente conocido como frente frío dividido o partido ('split front'). El esquema asociado a estos frentes fríos partidos se muestra en la Fig.17.

El WCB viaja por delante del frente frío en superficie, se eleva y gira anticiclónicamente hacia la derecha por encima de la superficie frontal cálida. El flujo descendente de aire seco por detrás del frente frío en superficie sobrevuela el WCB después de haber descendido desde el lado frío de la corriente en chorro de la troposfera superior. En el lado delantero de este flujo de aire seco el aire asciende convectivamente desde el tope del WCB generando una banda de lluvia a lo largo del frente frío superior. Este frente frío superior puede estar dentro del sector cálido o incluso por delante del frente cálido en superficie.

En este tipo de frentes la PFT se comporta como en el caso de un katafrente normal, desplazándose hacia delante según se asciende en la atmósfera, pero en muchas ocasiones puede aparecer mas señal en el nivel de 700 mb que en el de 850 mb debido al contraste de humedad existente entre el aire seco que desciende y el aire húmedo del WCB que asciende sobre la superficie frontal cálida. El modelo conceptual de la Fig. 18 pone claramente de manifiesto este contraste de masas de aire en niveles medios.

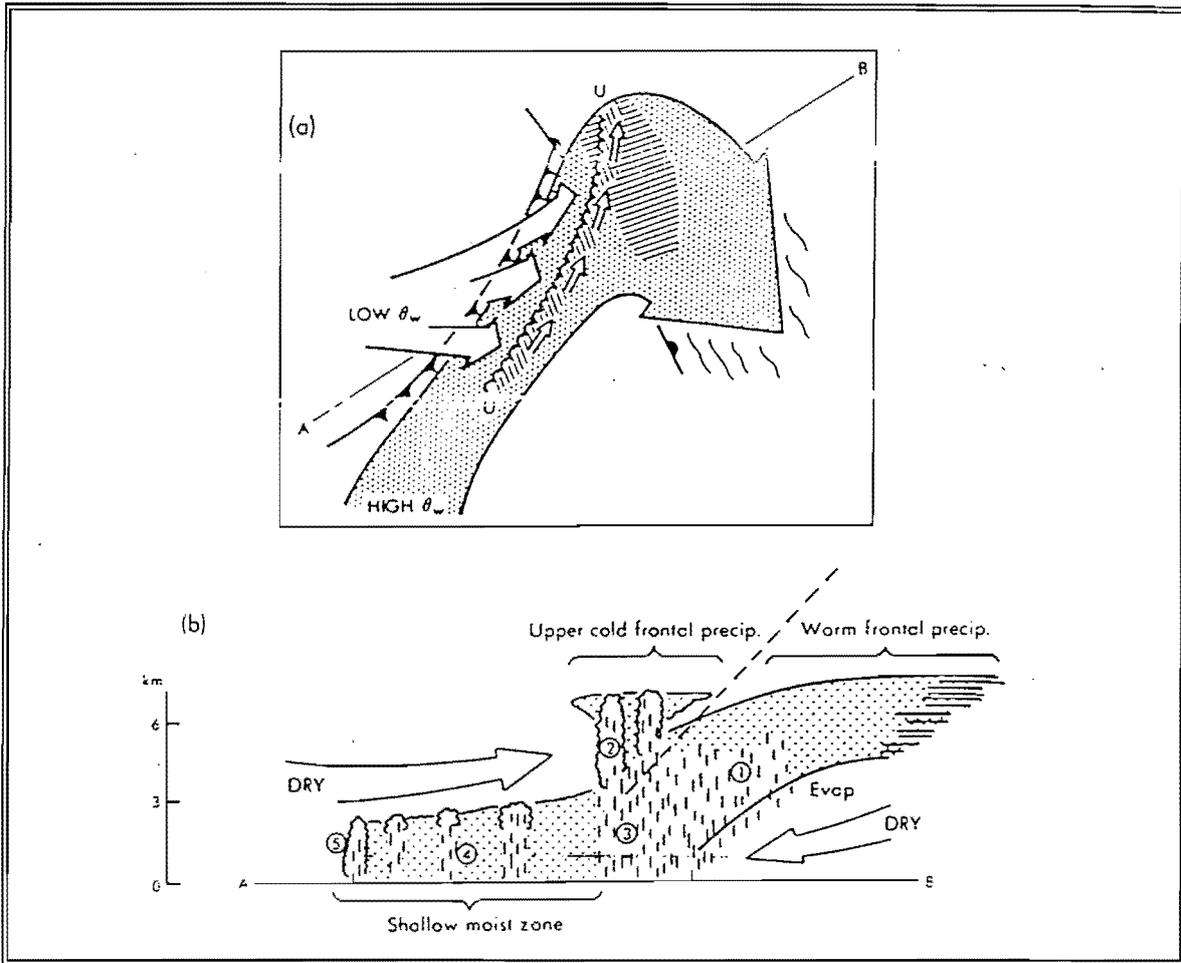


Fig.17 Esquema de un frente frío partido a) sección horizontal b) sección vertical según AB (Browning, 1986)

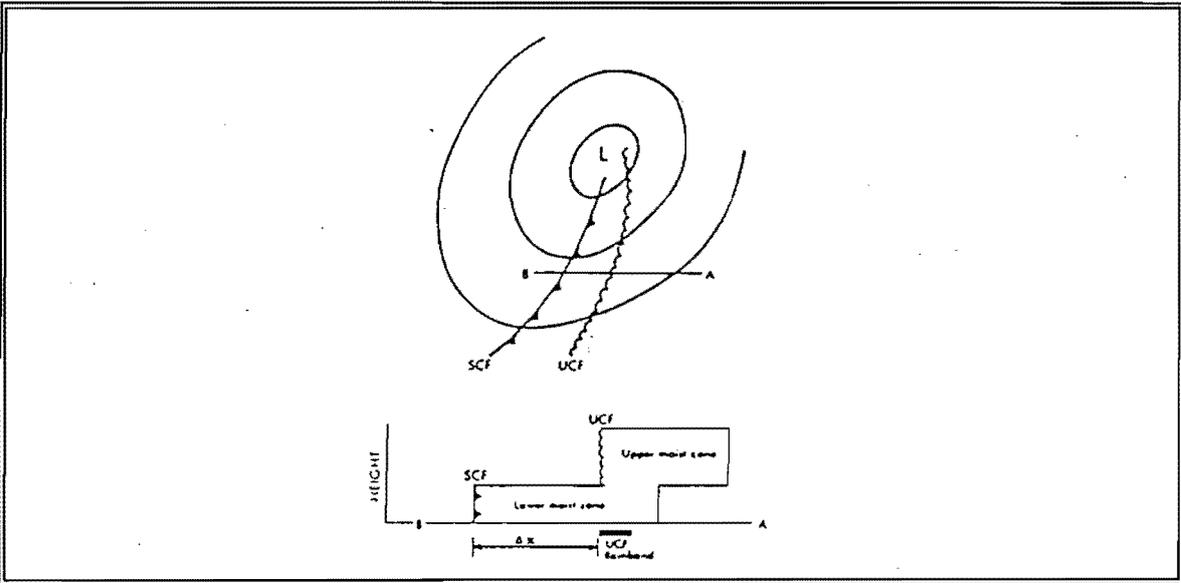


Fig.18 Modelo conceptual de frente frío partido. (Browning y Monk, 1982)

### 3.2.- Modelo conceptual de frente cálido

El esquema clásico de un frente cálido típico aparece en la Fig.19. El aire cálido asciende a lo largo de la superficie frontal cálida ya que se mueve más de prisa que el aire frío que tiene por delante, dando lugar a nubosidad y precipitaciones por delante del frente cálido en superficie.

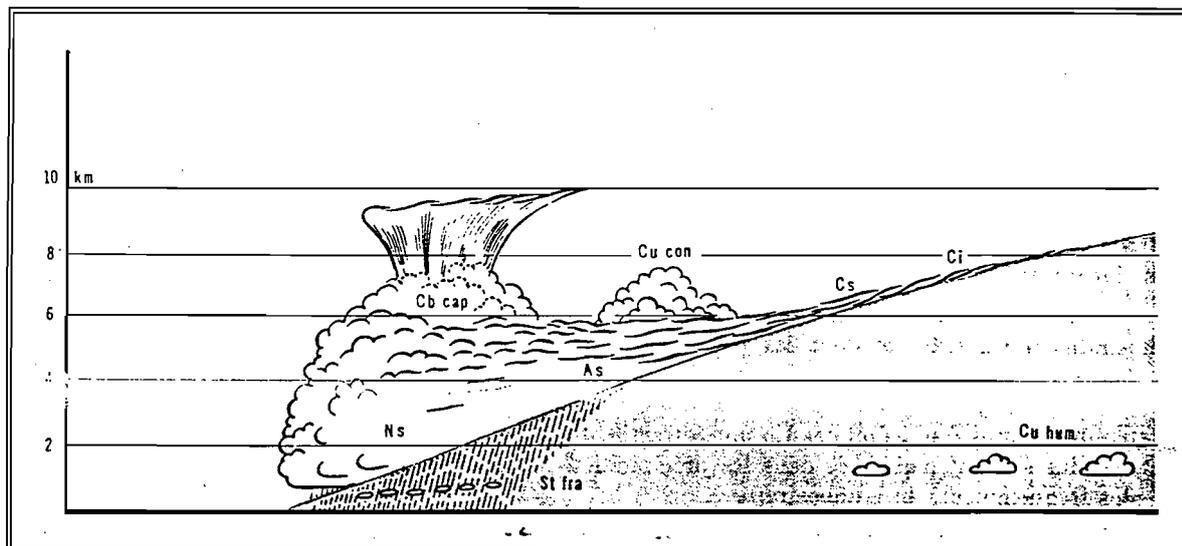


Fig.19 Esquema clásico de un frente cálido inestable.  
(Météorologie Nationale, 1961)

Desde el punto de vista de los flujos relativos al sistema, la situación se presenta en la Fig.11b. Además del WCB que asciende por encima de la superficie frontal cálida, aparece un flujo secundario conocido como banda transportadora de aire frío (CCB). El aire del CCB viaja hacia el oeste (relativamente) por delante del frente cálido en superficie y por debajo del WCB. Es un aire seco que proviene de la subsidencia en la zona de altas presiones al este de la baja que se va humedeciendo según viaja hacia el oeste debido a la evaporación de la precipitación que cae del WCB. Conforme viaja hacia el oeste y se acerca al centro de la baja este aire comienza a ascender, alcanzando la troposfera media cerca del borde oeste del WCB. Cuando emerge por debajo del WCB entra en una zona de deformación y una rama asciende anticiclónicamente juntándose con el WCB en niveles altos y otra desciende ciclónicamente alrededor del centro de la baja.

La distribución del campo de espesor 500-1000 mb y del geopotencial en 500 mb en la Fig.12. El frente cálido se sitúa por delante del eje de la dorsal de espesores y ligeramente por detrás del máximo gradiente de las isolíneas de espesor.

Por lo que respecta a la distribución de THW en 850 mb (Fig.13) el frente cálido se sitúa en el borde posterior de la zona con gradientes máximos de THW, por delante del eje de THW

máxima. Como ya se apuntó al hablar de los frentes fríos, este campo y el de espesor son muy parecidos pero la THW tiene la ventaja de resolver con mayor detalle las fronteras entre masas de aire.

En la Fig.20 aparece una sección transversal de THW para un frente cálido en la que se observa como el aire cálido se eleva sobre el aire frío, quedando el frente cálido situado detrás del gradiente máximo de THW.

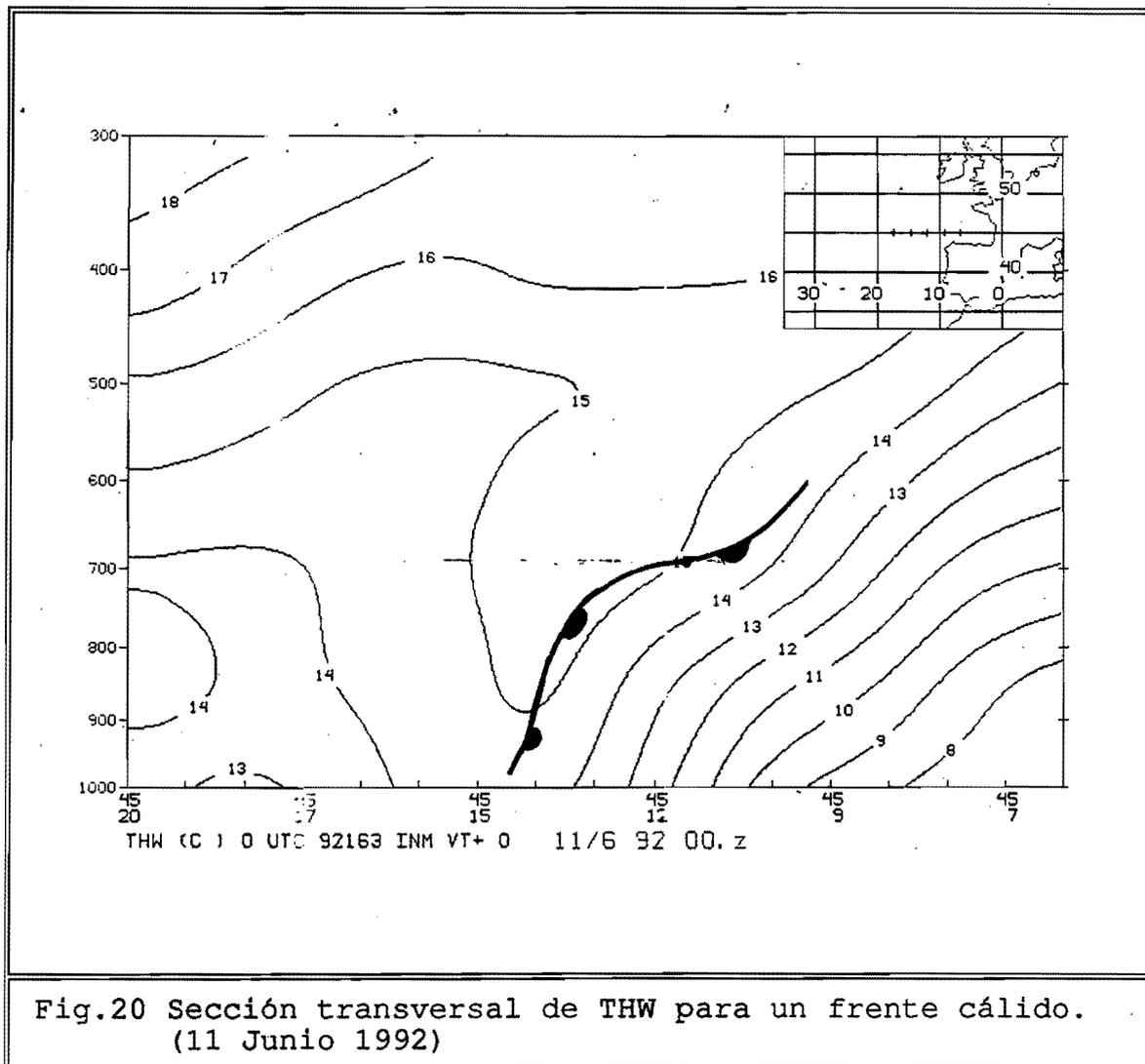


Fig.20 Sección transversal de THW para un frente cálido.  
(11 Junio 1992)

La advección de THW en 850 mb (Fig.15) muestra como el frente cálido queda por detrás del máximo de advección cálida. Debe tenerse en cuenta que por delante del frente frío, dentro del sector cálido, pueden aparecer máximos secundarios de advección que no deben confundirse con un frente cálido. La visión conjunta de THW y su advección aclara si los lóbulos de advección están o no asociados a frentes cálidos.

La distribución del PFT en un frente cálido típico se comentó en el capítulo 2 (Fig.6). Conforme se va ascendiendo en la atmósfera, la zona frontal se adelanta con respecto al frente

cálido en superficie, por lo que la señal de la PFT también se adelanta. Esto se ve claramente en la Fig.21, que muestra una sección transversal del PFT en un frente cálido. En general, las estructuras del PFT en los frentes cálidos suelen ser menos marcadas que en los frentes fríos.

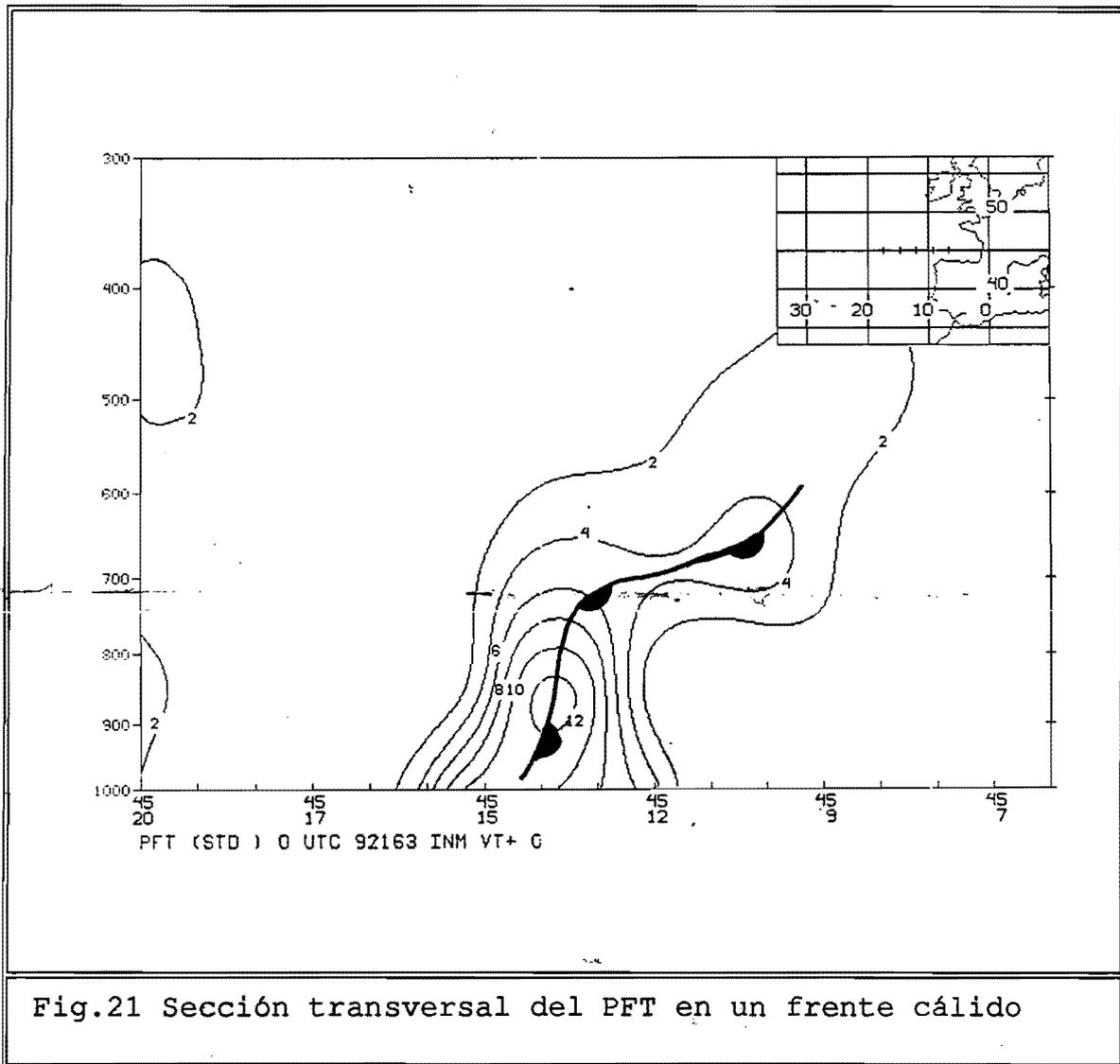


Fig.21 Sección transversal del PFT en un frente cálido

Un caso particular de frente cálido es el llamado frente cálido libre, que se caracteriza porque la nubosidad no presenta una estructura en forma de banda y porque no tiene una conexión directa con una banda de frente frío (no debe confundirse con frentes cálidos muy desarrollados que llevan asociados por lo general frentes fríos de poca entidad, aunque existentes).

La distribución que suele presentar la THW en 850 mb en este caso se muestra en la Fig.22. Aparece una dorsal pronunciada con poco gradiente en el lado frío, quedando el frente cálido libre por delante de la dorsal y por detrás del máximo gradiente de THW en la zona de caída de la dorsal.

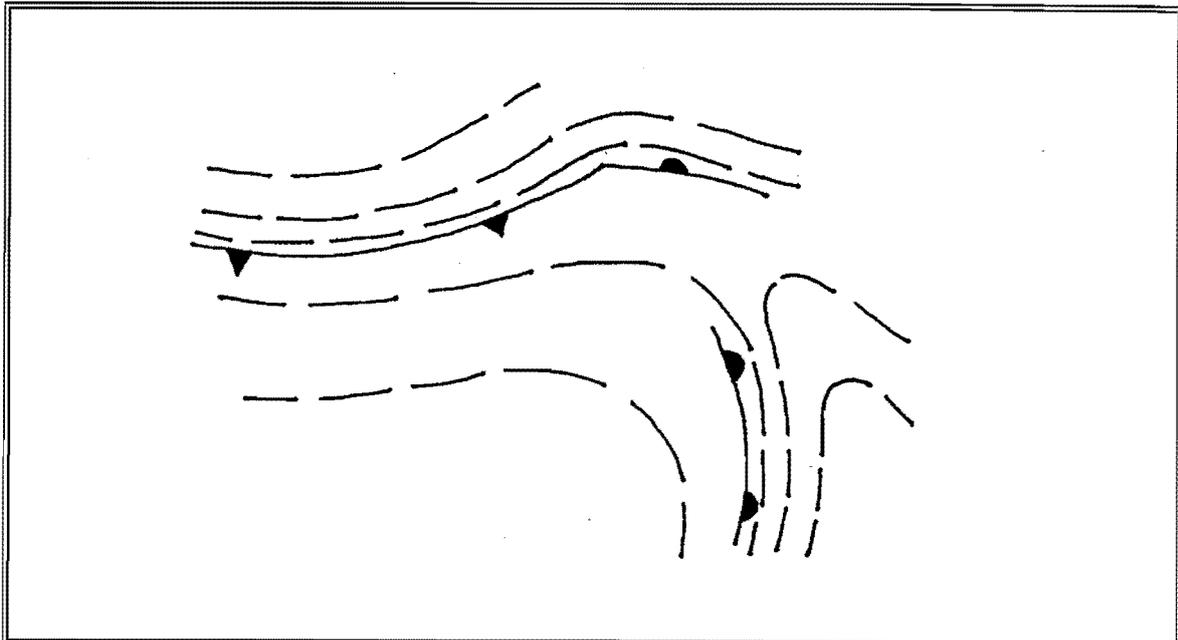


Fig.22 THW en 850 mb para el caso de un frente cálido libre.

La advección de THW, Fig.23, se caracteriza por presentar un máximo de advección cálida delante del frente cálido libre. Es en esta zona de advección cálida donde aparece la principal nubosidad y la máxima intensidad de precipitación.

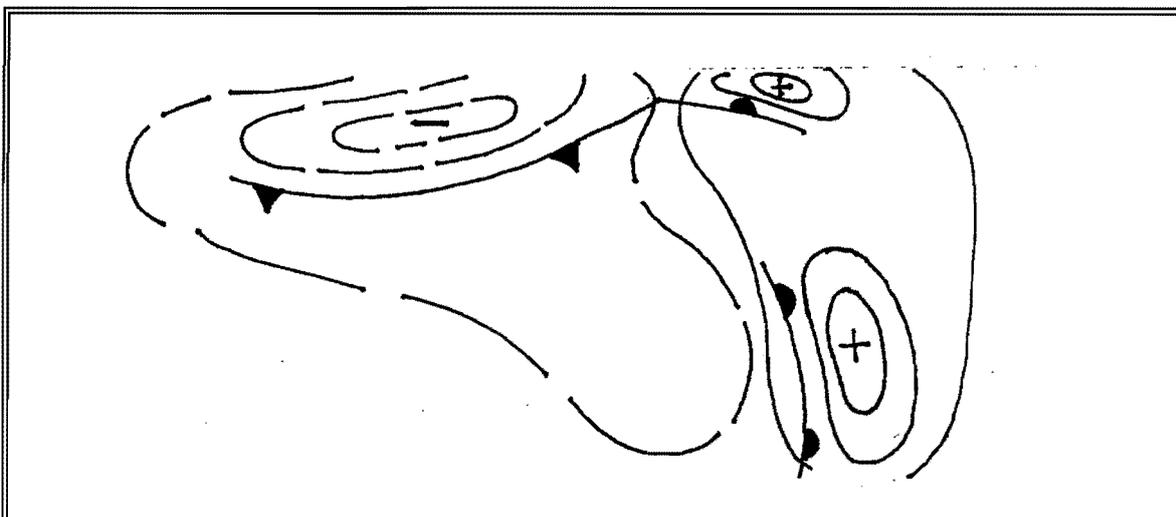


Fig.23 Advección de THW en el caso de un frente cálido libre.

El PFT en estos casos suele coincidir con el lado posterior de la nubosidad, de forma parecida a como ocurre con un frente cálido típico, aunque sin ninguna señal asociada a un frente frío.

### 3.3.- Modelo conceptual de las oclusiones.

En la Fig.24 se muestran los modelos conceptuales clásicos de oclusiones cálida y fría, modelos bien conocidos. En ambos casos, el aire cálido es forzado a elevarse entre dos masas de aire frío. Dependiendo de cual de estas masas de aire frío sea la más fría, tendremos una oclusión fría ( la masa que llega es más fría que la que hay por delante) o una oclusión cálida (la masa que llega es menos fría que la que hay por delante).

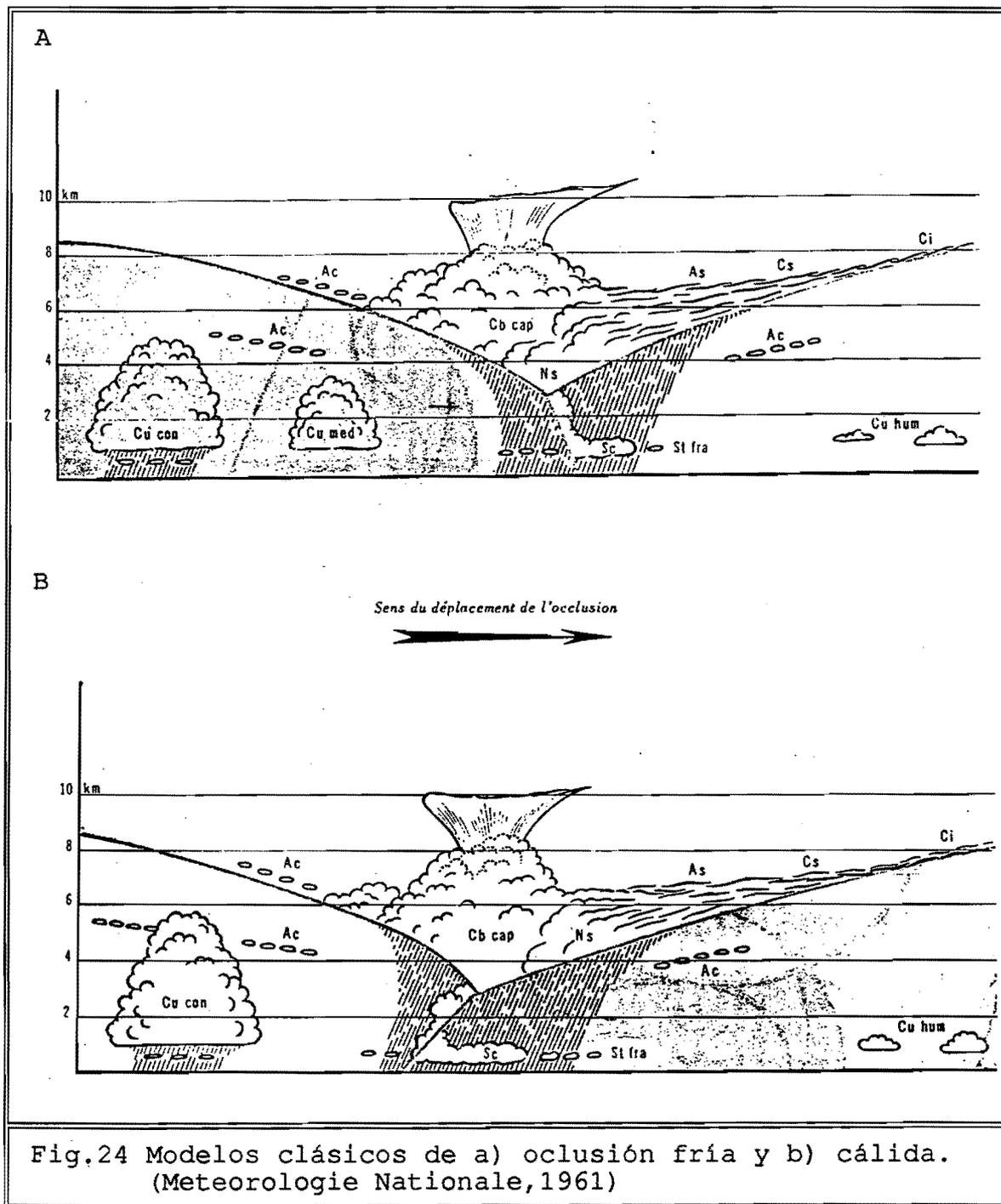
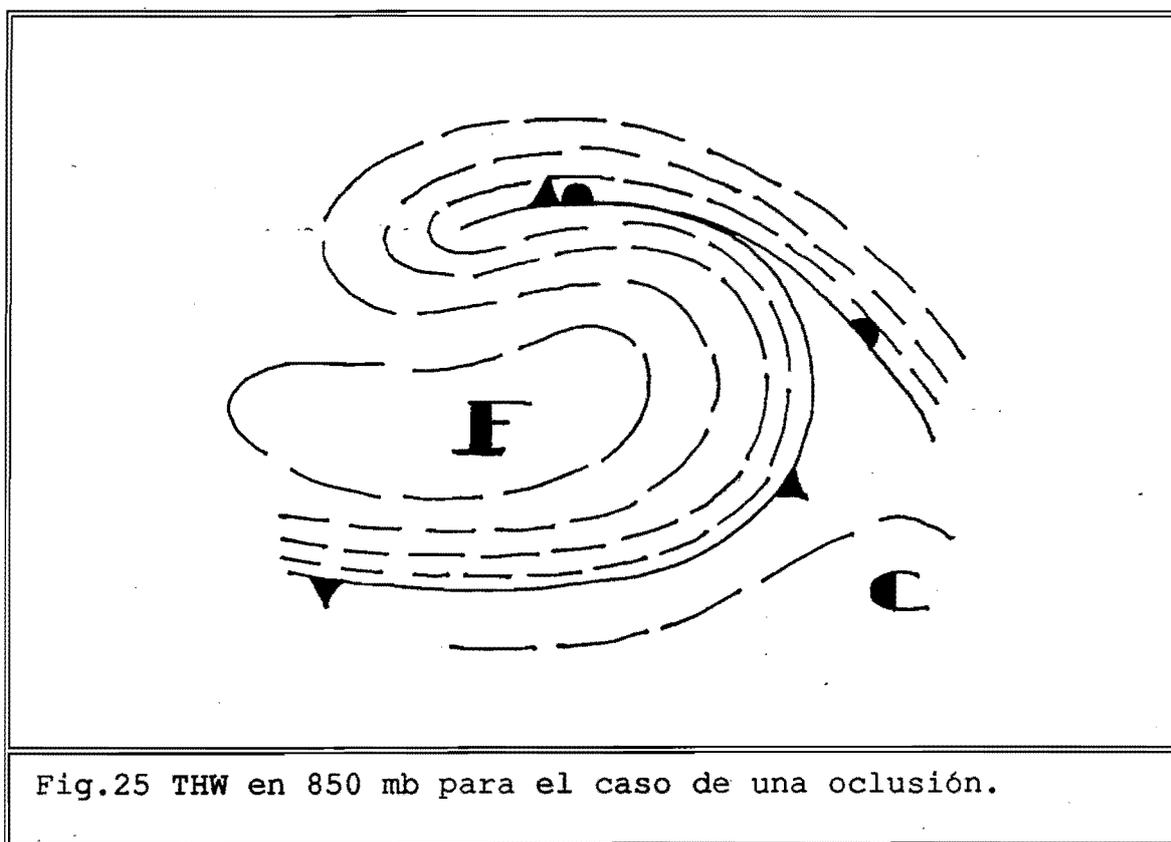
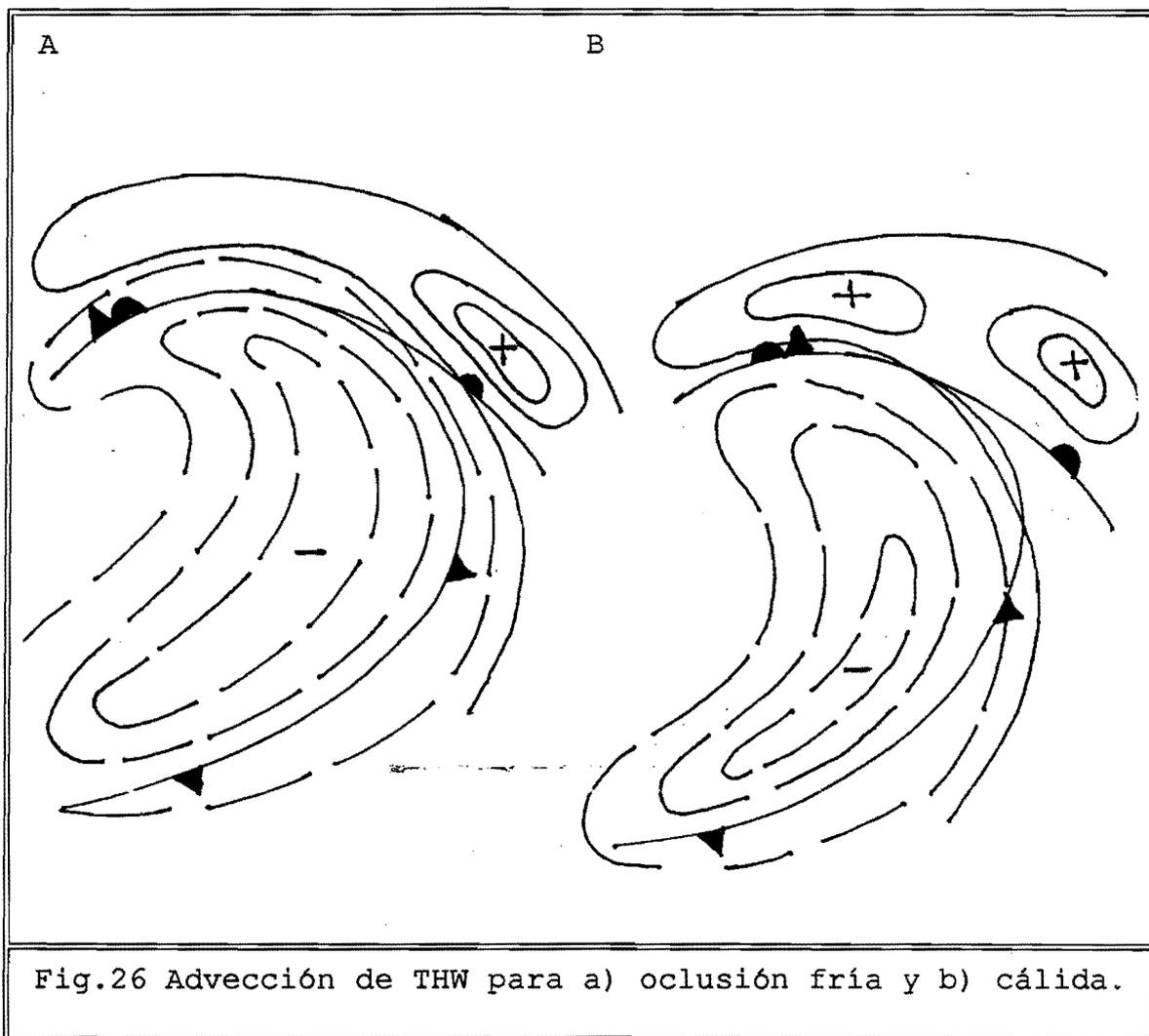


Fig.24 Modelos clásicos de a) oclusión fría y b) cálida.  
 (Météorologie Nationale, 1961)

La presencia de la masa de aire cálido entre dos masas de aire frío hace que la estructura de la THW en 850 mb sea característica (Fig.25), situándose el frente ocluido en la entrada del sector cálido en forma de dedo en el sector frío.

Por lo que respecta al campo de advección de THW en 850 mb, el esquema depende de la naturaleza de la oclusión (Fig.26). Una oclusión de tipo frío lleva asociada detrás de ella un máximo relativo de advección fría, quedando la advección cálida por delante embebida por lo general dentro de la advección asociada a l frente cálido. Si la oclusión es de tipo cálido la advección fría por detrás de ella no suele mostrar un máximo tan marcado como en el caso de una oclusión fría, mientras que suele aparecer un máximo de advección cálida diferenciado del asociado al frente cálido por delante de la oclusión. De todas formas, la estructura de la advección depende fuertemente del estado de desarrollo de los distintos frentes, por lo que el abanico de posibilidades es amplio.





La distribución del parámetro frontal térmico en el caso de las oclusiones no presenta una estructura típica única, pudiendo presentar diversos aspectos en función del grado de desarrollo de la oclusión y del nivel de cálculo utilizado, aunque es normal que no aparezca una señal bien definida salvo si la oclusión esta muy desarrollada.

De mucha ayuda para la localización de oclusiones es la combinación del PFT y de la humedad relativa en 700 mb, dado que la estructura de humedad en niveles medios queda muy bien marcada en este nivel y además es en este nivel donde la señal del PFT aparece más marcada para las oclusiones. En la Fig.27 se ve la estructura combinada de estos dos campos.

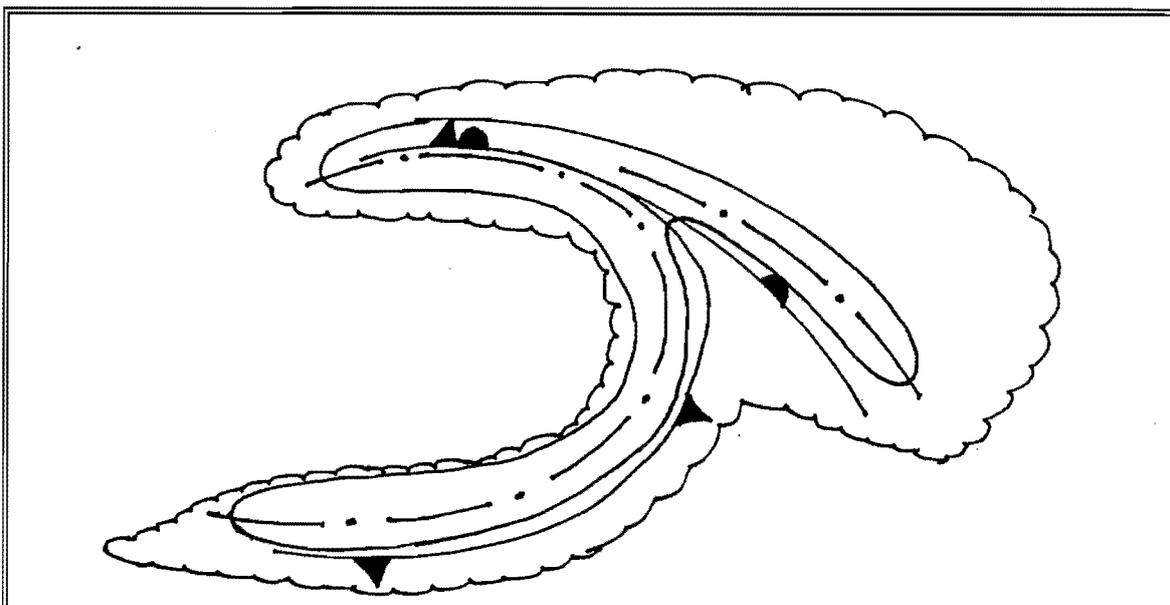


Fig.27 PFT y Humedad en 700 mb para una oclusión.

La distribución de la advección de vorticidad absoluta también puede ser muy útil ya que sobre la oclusión aparece en altura un máximo de advección positiva (Fig.28). Destacan las diferencias en los lóbulos de PVA asociados a un frente frío y a una oclusión: en la oclusión el máximo de PVA cae justo encima de ella, mientras que en el frente frío el máximo de PVA se sitúa por detrás.

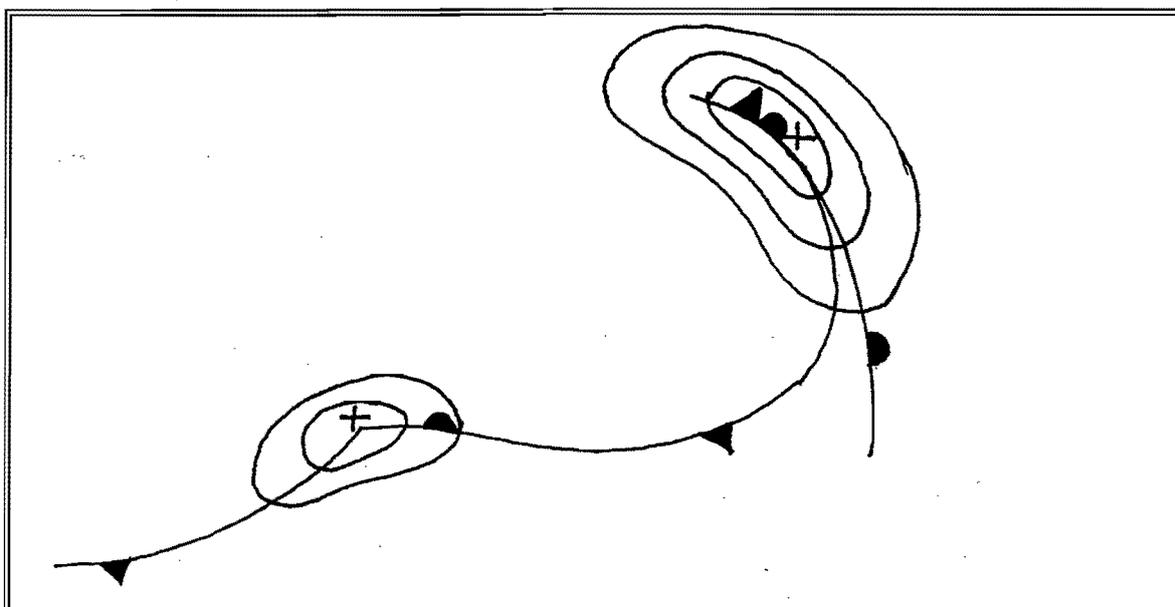


Fig.28 Advección de vorticidad en 300 mb en una oclusión.



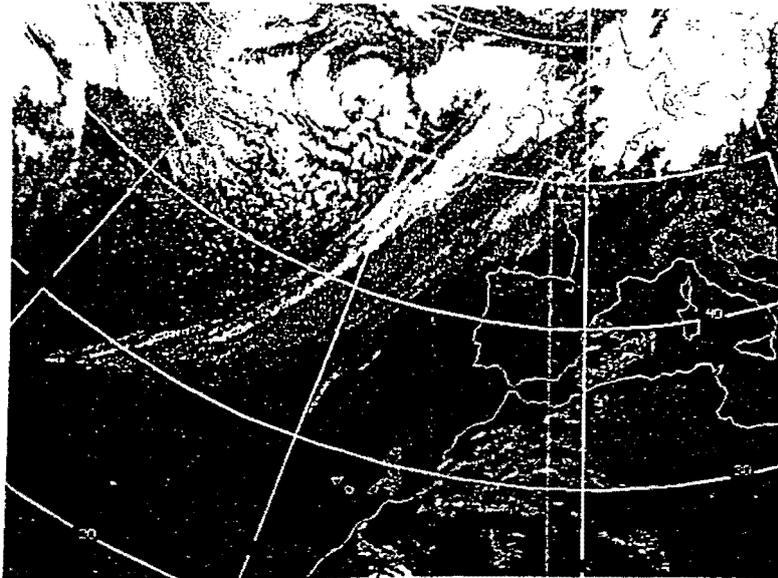
#### **4.- USO DE LOS DISTINTOS CAMPOS EN RELACION CON LOS SISTEMAS FRONTALES**

En este apartado se aplicarán los campos que acabamos de ver a una situación real, correspondiente al 20 de Febrero de 1990. Además de estos campos se han calculado otros diferentes como la vorticidad relativa, la divergencia de  $Q$  a varios niveles, la advección de vorticidad absoluta, la advección de espesores y algunos más, que dan una visión de conjunto bastante completa de la situación.

Para cada campo se da una descripción del mismo, una guía de su uso en relación con los sistemas frontales, las restricciones que deben tenerse en cuenta al usarlo y algunos comentarios sobre su comportamiento en la situación real objeto de estudio.

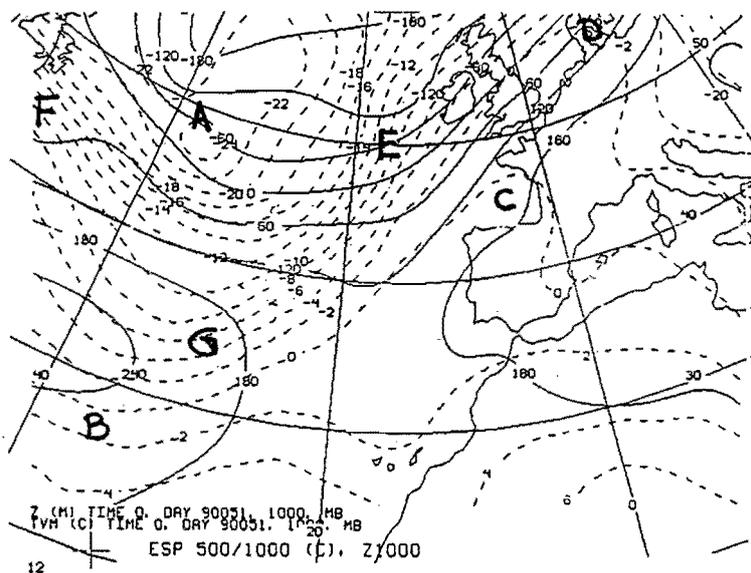


20/2/90  
00.z



IR

Z 1000 mb  
Z 500/1000  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

A<=>B Vaguada térmica

C<=>D Dorsal térmica

E==> Máximo de advección fría.

F==> Máximo de advección cálida.

G==> Máximo secundario de advección fría. Asociada al frente frío de latitudes más bajas.

CAMPO: Z 1000 mb; ESPEORES 500/1000

Nivel: 1000, 500/1000

Unidades: (Z 1000)=m ; (Z500/1000)=gdo C

**Descripción del campo:**

El significado del campo de espesores es el de la temperatura virtual media del estrato utilizado.

La combinación de ambos campos, permite un estudio cualitativo sobre el grado de desarrollo y su traslación (teoría de Sutcliffe).

**Uso en relación con sistemas frontales:**

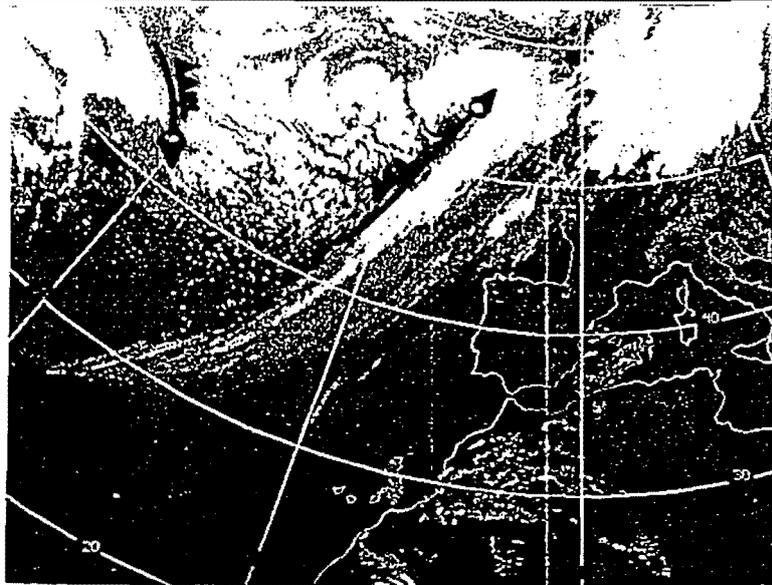
- f En las primeras etapas del Desarrollo, la configuración térmica está poco ondulada. De acuerdo con la teoría de Sutcliffe, predomina en esta etapa el término de conducción térmica que tiende a trasladar el Desarrollo en dirección de la cizalladura.
- f A medida que comienzan a tomar importancia la advección fría por detrás del Desarrollo incipiente en niveles bajos y la advección cálida por delante, se forman una vaguada y una dorsal térmica bien definidas. Comienza a predominar en esta fase la advección de vortici-  
dad térmica profundizando el Desarrollo.
- f El frente frío se sitúa por delante de la vaguada térmica, en la zona delantera de los máximos gradientes del campo térmico. El frente cálido se sitúa por delante del eje de la dorsal cálida, algo por detrás del máximo de advección cálida.
- f Si la advección cálida por delante de la depresión en niveles bajos tiene la suficiente entidad, el sector cálido penetra en el frío en forma de dedo. Esto es un signo de que el sistema frontal está ocluido. En ocasiones, se observa un arrollamiento en espiral del sector cálido sobre el frío.

**Restricciones en su uso:**

- f El campo de espesores sólo da una idea aproximada de la posición de los frentes. Para tener una idea más exacta de la posición de éstos, se debe acudir a la temperatura potencial equivalente, su advección y al PFT.

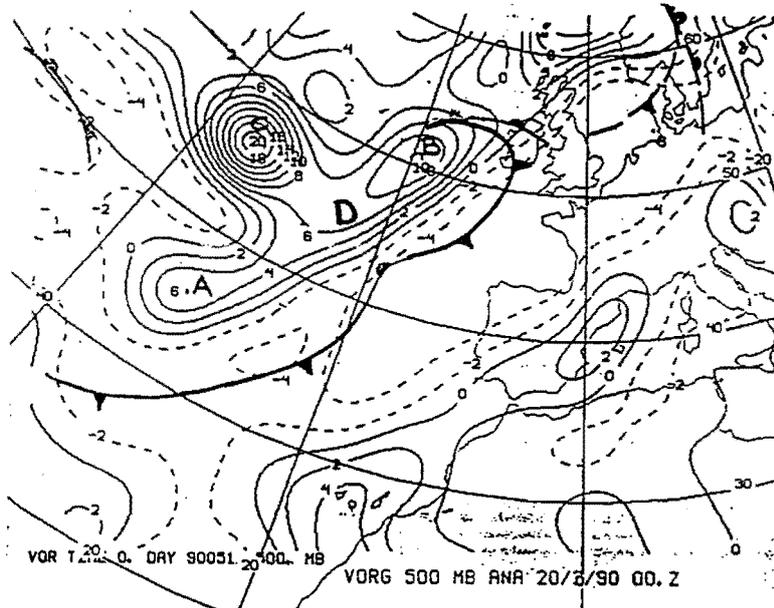
CAMPO: VORTICIDAD GEOSTROFICA RELATIVA (VORG)	Nivel: 500 mb
Unidades: 1.E-5*seg-1	
<p>Descripción del campo:</p> $\text{VORG} = (\delta v / \delta x) - (\delta u / \delta y) = (\text{VOR}) \text{curvatura} + (\text{VOR}) \text{cizalladura}$ <p>(VOR)cizalladura=0==&gt;Marca el eje de viento máximo</p>	
<p>Uso en relación con sistemas frontales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ La isolínea de VORG=0 marca el eje de viento máximo en zonas donde la curvatura del geopotencial sea poco significativa.</li> <li>£ Este campo combinado con su advección, es una guía para la localización y trazado de ondas cortas en altura.</li> <li>£ En un sistema frontal en desarrollo, los núcleos de VORG&gt;0 en altura se sitúan detrás de éste.</li> <li>£ A medida que el frente tiende a ocluirse, los núcleos de VORG&gt;0 se aproximan a éste, de modo que la advección de vorticidad se sitúa en la vertical de la oclusión.</li> <li>£ La oclusión (si la hay), comienza cerca del punto por donde cruza el máximo de viento en altura al sistema frontal.</li> </ul>	
<p>Restricciones en su uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ La isolínea de VORG=0 <u>no</u> debe usarse para marcar el eje de viento máximo en zonas donde el geopotencial tenga una curvatura significativa. La causa es que el término de curvatura enmascara al término de cizalladura.</li> <li>£ Antes de trazar vaguadas, hay que discriminar el origen de los máximos de vorticidad (cizalladura, curvatura o combinación de ambos).</li> </ul>	

20/2/90  
00.z



IR

Çg 500 mb  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

- A==> Núcleo de VORG en altura. Su posición respecto al frente frío es típica de una onda en desarrollo. La advección de este núcleo queda por detrás del frente.
- B==> La onda en altura, se encuentra muy próxima a la oclusión indicando que su advección se situará encima de ésta.
- C==> Máximo de vorticidad por cizalladura asociado a la salida de un máximo de viento (130 kt). Estos núcleos dan lugar por lo general a advecciones muy marcadas lo que puede desarrollar una vaguada en SFC.
- D==> Isolíneas de  $VORG > 0$  con un gradiente significativo cerca del sistema frontal. Esto dará lugar a un núcleo secundario de advección sobre el frente que inducirá una ondulación en éste.

NOTA: Los frentes están dibujados en superficie.

CAMPO: ADVECCION CG DE VORTICIDAD ABSOLUTA GEOSTR.

Nivel: 500 mb

Unidades: 1.E-9\*seg-2

Descripción del campo:

$$AVRG = -u \delta(f+VORG)/\delta x - v \delta(f+VORG)/\delta y$$

Primer término responsable del forzamiento en la tendencia del geopotencial. La variación con la altura de AVRG es un término de forzamiento en la ecuación w CG.

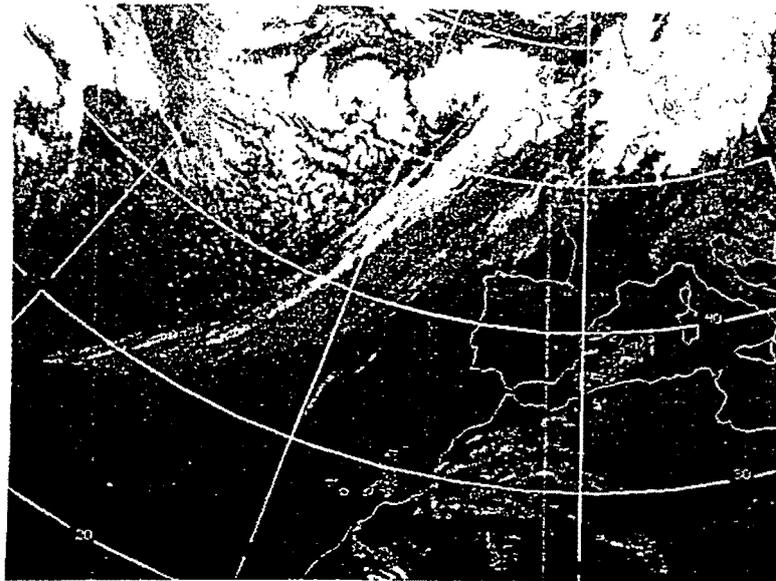
Uso en relación con sistemas frontales:

- £ Para un sistema en desarrollo, los núcleos de AVRG>0 quedan por detrás del sistema frontal.
- £ Un núcleo secundario de AVRG>0 sobre un frente, contribuye a la ondulación de este dando lugar a un frente cálido incipiente.
- £ En un sistema frontal ocluido, los núcleos de AVRG>0 en altura se sitúan encima de éste. A medida que la advección de vorticidad se adelanta a la depresión en niveles bajos, ésta comienza a rellenarse.
- £ Bajo el punto de vista de la teoría CG, la advección de vorticidad absoluta contribuye a profundizar (AVRG>0) o a eliminar (AVRG<0) el desarrollo en niveles bajos.
- £ Una advección marcada en el aire frío dará lugar a un aumento de la curvatura ciclónica en SFC lo que induce una vaguada que puede evolucionar a frente frío en las horas siguientes.

Restricciones en su uso:

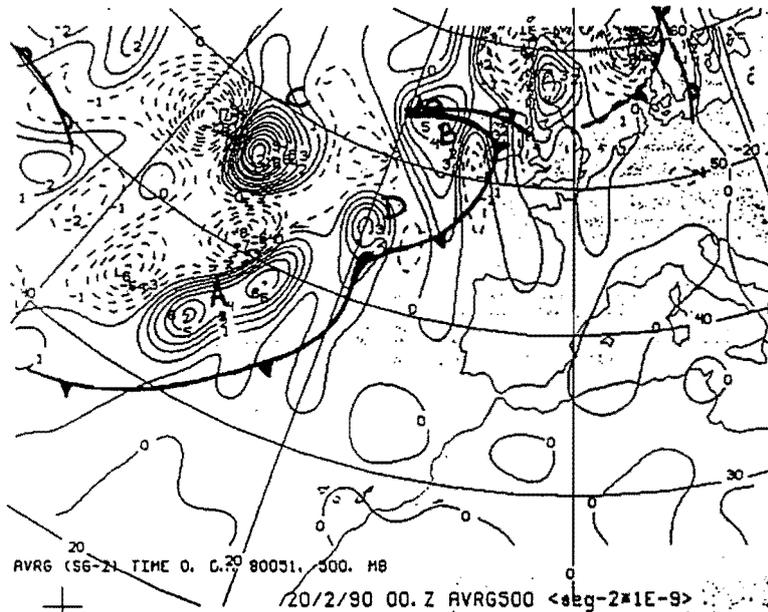
- £ Para una evaluación cualitativa del forzamiento dinámico, debe combinarse la variación en la vertical de este término con la advección de espesores.
- £ Bajo el punto de vista de la tendencia del geopotencial, este campo debe combinarse con la advección térmica diferencial (que a su vez influye en la tendencia de la estabilidad estática).

20/2/90  
00.z



IR

Adv( $\zeta_g + f$ )  
500 mb  
20/2/90  
00.z

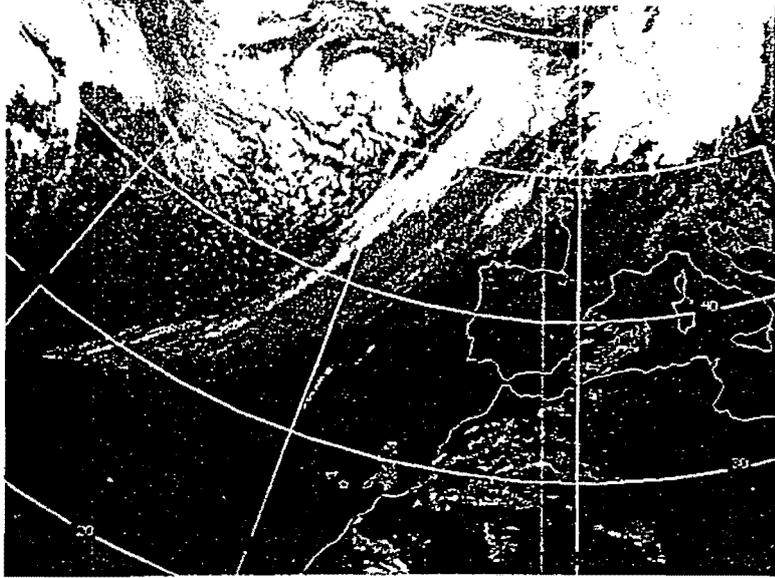


#### Comentarios:

- A==> Núcleo de  $AVRG > 0$  situado por detrás del frente frío. Situación típica de una onda en desarrollo.
- B==> El núcleo de  $AVRG > 0$  se encuentra encima de la oclusión, indicando que el sistema comienza a decaer.
- C==> Desarrollo en el aire frío. Aunque la advección térmica (espesores) es negativa sobre la zona, predomina la advección de vorticidad que puede comprobarse mediante la Divergencia de Q. Una advección de este tipo debe inducir la aparición de una vaguada en SFC.
- D==> Núcleo secundario de  $AVRG > 0$  sobre el frente frío. Se induce una ondulación en éste dando lugar a un frente cálido incipiente.

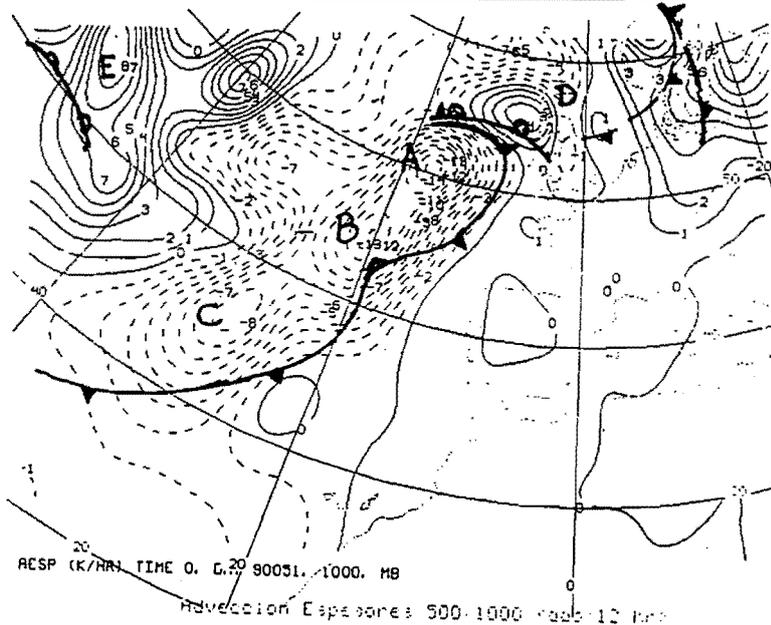
CAMPO: ADVECCION DE ESPESORES 500/1000 POR Vg 1000	Nivel: 500/1000
Unidades: gdos/12 horas	
<p>Descripción del campo: <span style="float: right;">-&gt;</span>  <math>AESP = -\sigma_{g1000} \delta(ESP)/\delta x - v_{g1000} \delta(ESP)/\delta y = -Cte * Vg \nabla(Tvm)</math>  Su Laplaciana es el segundo término responsable del forzamiento en la ecuación w CG. Su variación con la altura es el segundo término responsable del forzamiento en la tendencia del geopotencial.</p>	
<p>Uso en relación con sistemas frontales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ Para un sistema en desarrollo, los núcleos de <math>AESP &lt; 0</math> quedan por detrás del sistema frontal, penetrando algo la advección fría en el sector cálido.</li> <li>£ La advección cálida comienza a dar señal por delante del frente frío. Los máximos de <math>AESP &gt; 0</math> se sitúan por delante del frente cálido. Es normal encontrar algún máximo relativo de <math>AESP &gt; 0</math> en el sector cálido.</li> <li>£ El signo del forzamiento total adiabático se evalúa mediante la divergencia del vector Q. No obstante, la evaluación de los términos AVRg y AESP junto con el forzamiento total, nos da información sobre los procesos físicos predominantes.</li> </ul>	
<p>Restricciones en su uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ Para una evaluación cualitativa del forzamiento dinámico, debe combinarse la advección de espesores con la variación con la altura de la advección de vorticidad en niveles medios (700, 500 mb).</li> <li>£ Al comenzar la ondulación del frente, no debe esperarse encontrar aún un máximo relativo de <math>AESP &gt; 0</math> por delante del frente cálido incipiente.</li> </ul>	

20/2/90  
00.z.



IR

Adv(ESP).  
500/1000  
Vg 1000  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

- A==> Máximo de AESP<0 situado por detrás del frente frío(-14 gdo/12 hr). El dipolo que se forma entre esta zona y la parte delantera del frente cálido intensifican tanto la vaguada como la dorsal térmica. Una consecuencia será el arrollamiento del sector cálido sobre el frío indicando la formación de una oclusión.
- B==> A pesar de existir una advección fría notable(-13 gdos/12 hr) predomina aquí la advección de vorticidad en altura ondulando el frente(consultar los resultados del vector Q sobre esta zona).
- C==> Advección fría asociada a la parte más meridional del frente frío.
- D==> Máximo de advección cálida por delante del frente cálido.
- E==> Advección cálida muy fuerte asociada a un frente cálido bien desarrollado.

CAMPO: DIVERGENCIA DEL VECTOR Q Niveles: 850, 700, 500

Unidades: 1.E-16\*mb-1\*seg-3

Descripción del campo:

$$Q = -\frac{R}{p} \left[ (\delta V_g / \delta x) \nabla T, (\delta V_g / \delta y) \nabla T \right]$$

DIVQ < 0 ==> Convergencia de Q ==> Ascensos

DIVQ > 0 ==> Divergencia de Q ==> Subsistencia

DIVQ es el único término responsable del forzamiento dinámico adiab.

Uso en relación con sistemas frontales:

£ Las posiciones de los ascensos, marcadas por  $DIVQ < 0$ , por niveles relativos al sistema frontal dan una idea de la estructura dinámica tridimensional de la superficie frontal.

£ No debe confundirse la Divergencia del vector Q con las velocidades verticales instantáneas que proporcionan los modelos numéricos. La Divergencia de Q marca el forzamiento adiabático a escala sinóptica.

Restricciones en su uso:

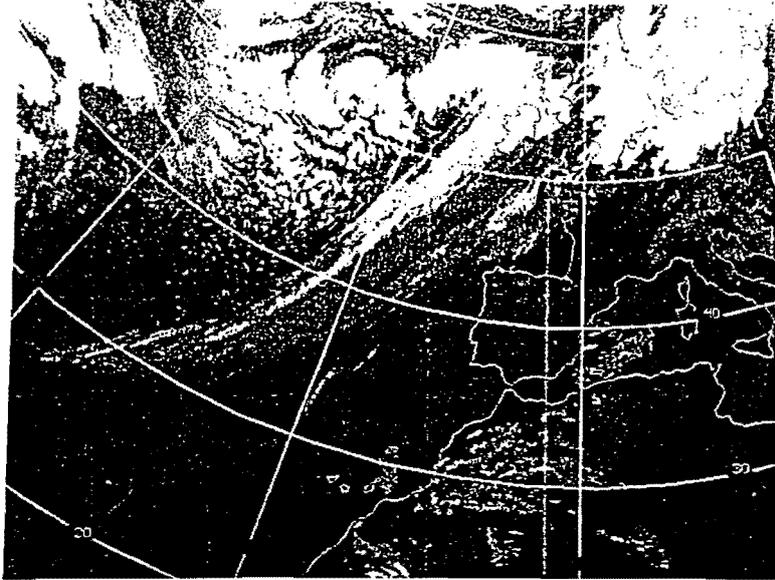
£ Al usar este campo para evaluar forzamientos dinámicos debe tenerse en cuenta que:

Se trata de forzamientos adiabáticos por lo que deben tenerse en mente los efectos diabáticos debidos principalmente a la liberación de calor latente.

A igualdad de forzamiento, la respuesta de la atmósfera será tanto más activa cuanto menor sea la estabilidad estática.

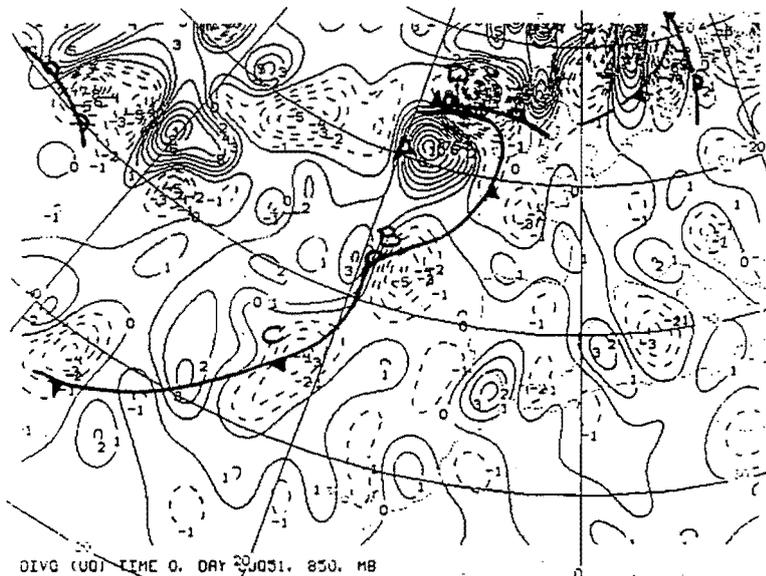
A la hora de deducir movimientos verticales a partir de este campo, hay que tener en cuenta el término de acoplamiento entre niveles ( $\delta^2 w / \delta p^2$ ). Este hecho enmascara la interpretación de la DivQ en niveles muy cerca del suelo o de la Tropopausa.

20/2/90  
00.z



IR

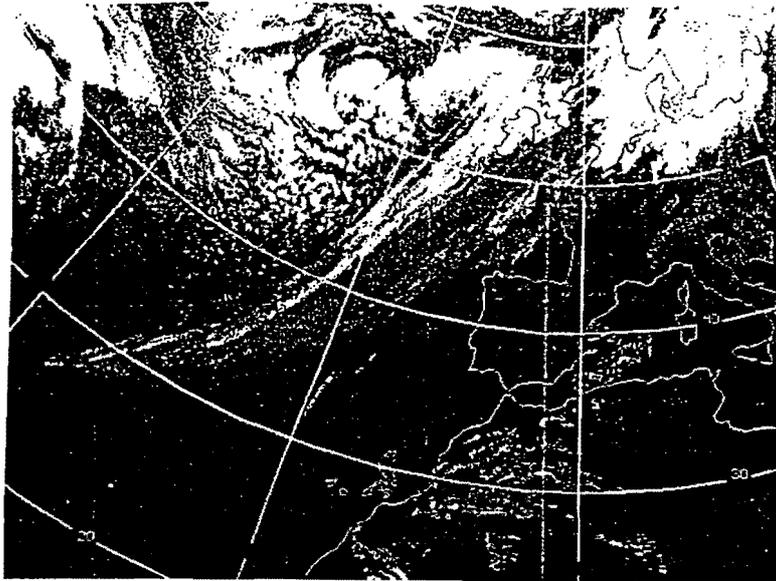
DivQ  
850 mb  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

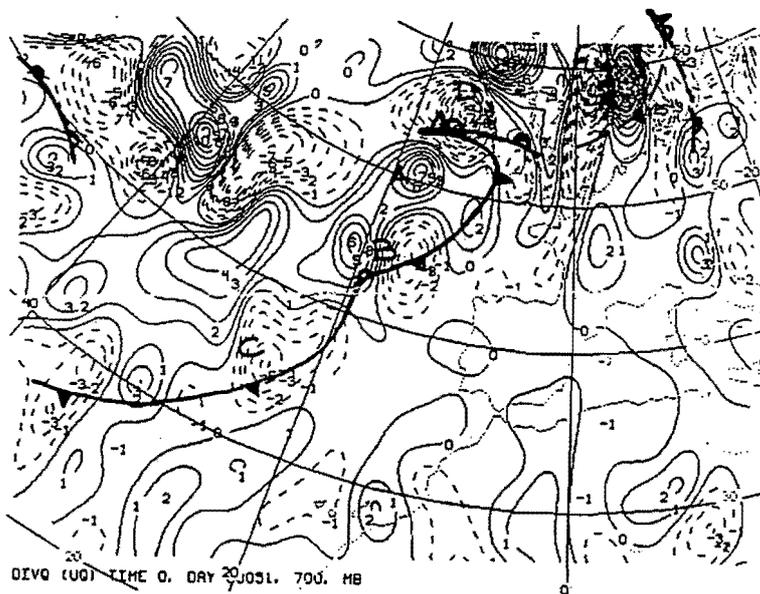
- A==> Subsistencia fuerte sobre la zona donde se sitúa un máximo de advección fría. Por delante de esta zona comienzan los forzamientos positivos.
- B==> Sobre esta zona se compensan los efectos de un máximo relativo de advección de vorticidad en altura con un máximo relativo de advección fría. Si se observa el forzamiento adiabático en 700 y 500 se comprueba un aumento de éste con la altura sobre la ondulación incipiente.
- C==> Forzamiento positivo sobre la banda del frente frío
- D==> Forzamiento positivo por delante de la oclusión y el frente cálido donde existe un máximo relativo de advección cálida (4 gdos/12 hr). Los ascensos se extienden hacia atrás sobre el frente frío.

20/2/90  
00.z



IR

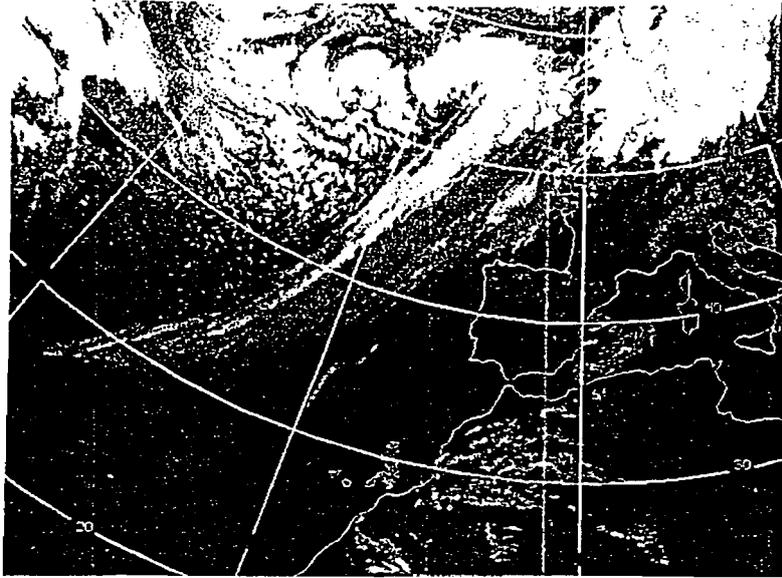
DivQ  
700 mb  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

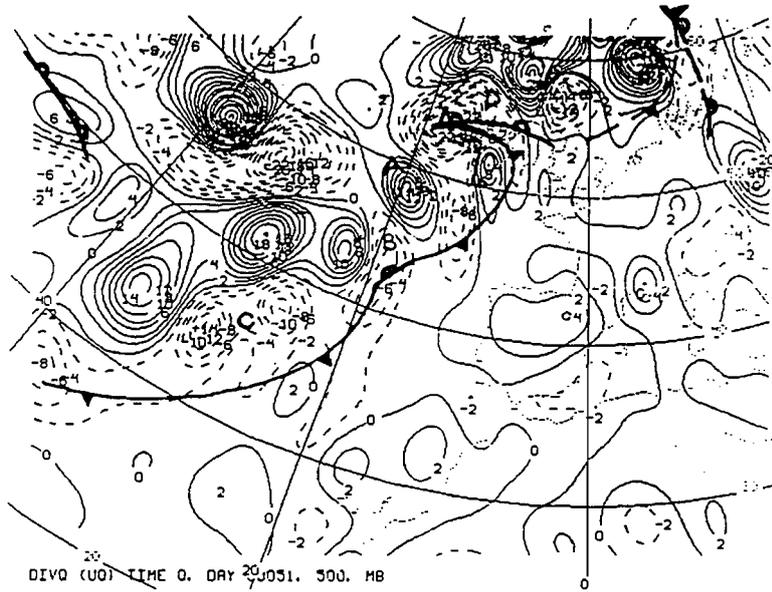
- A==> Subsistencia moderada en el máximo de advección fría. Algo retrasada respecto al núcleo del mismo origen en 850 mb. La subsistencia se prolonga en una banda amplia por detrás del sistema frontal sobre la zona de descarga fría.
- B==> Ascensos algo al Norte de la ondulación incipiente con un máximo relativo sobre el frente frío.
- C==> Máximo relativo de ascensos por detrás del frente frío. Situado por detrás del correspondiente a 850 mb.
- D==> Ascensos sobre toda la zona ocluida. el máximo está situado por delante de la oclusión. La zona de ascensos al Oeste de D responde al forzamiento causado por la advección de vorticidad asociada a la zona de salida del máximo de viento en altura (ver punto C en VORG y AVRQ 500 mb).

20/2/90  
00.z



IR

DivQ  
500 mb  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

- A==> Subsistencia fuerte algo al Sur de la correspondiente a los niveles de 850 y 700 mb. También en este nivel se aprecia una banda amplia de subsistencia por detrás del sistema frontal extendiéndose hacia el Suroeste.
- B==> En este nivel aparecen ascensos sobre la ondulación incipiente.
- C==> Banda amplia de ascensos por detrás del frente frío. Esta banda está situada por detrás de las correspondientes a 850 y 700 mb.
- D==> Ascensos importantes sobre la zona de oclusión con un máximo sobre esta.

CAMPO: Parámetro frontal térmico(PFT)

Nivel:500,700 y 850

Unidades:<PFT>=K\*Km-1\*Km-1\*1.E-6

Descripción del campo:

Este campo calcula la variación máxima del módulo del gradiente térmico en la dirección de éste.Su expresión es:

-> U==>Unitario en dirección del gradiente térmico  
TFP=-U Gr/GrT/- T=>THW

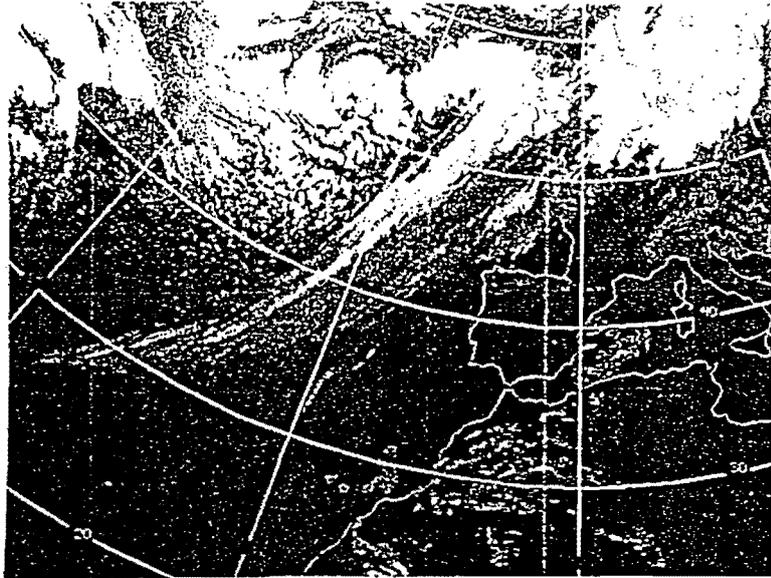
Uso en relación con sistemas frontales:

- £ En principio, parece más coherente con lo citado hasta ahora en relación con la localización de frentes, usar la temperatura potencial del húmedo en el PFT en lugar de los espesores. La THW marca mejor que los espesores la separación de masas de aire, por lo que parece lógico estudiar la variación de los gradientes de THW más que los de los espesores. La experiencia de trabajo hasta la fecha parece confirmar esta hipótesis.
- £ Un sistema frontal bien desarrollado da señal en este campo en 500, 700, 850 y 1000 mb (este último sobre zonas marítimas). Cuando el sistema frontal es débil a menudo no aparece señal clara en el PFT sobre todo para frentes cálidos y oclusiones.

Restricciones en su uso:

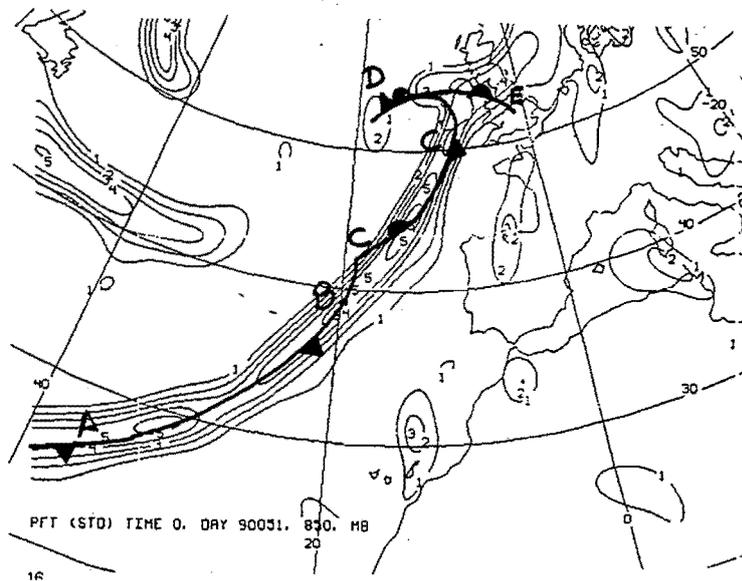
- £ En general este campo marca fronteras entre masas de aire. Estas no siempre se corresponden con frentes.
- £ En 500 mb aparecerá una frontera marcada coincidiendo con el máximo de viento a este nivel. La razón es que los máximos de viento están en balance térmico a escala sinóptica, por lo que un máximo de viento llevará aparejado un fuerte gradiente térmico normal a la dirección de éste. Deben por tanto distinguirse las fronteras térmicas de origen frontal de las asociadas a máximos de viento en niveles medios.

20/2/90  
00.z



IR

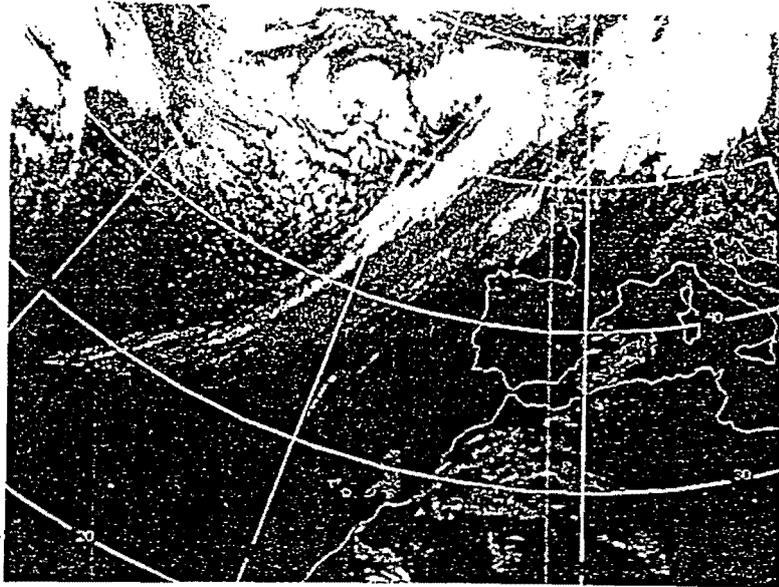
PFT  
850 mb  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

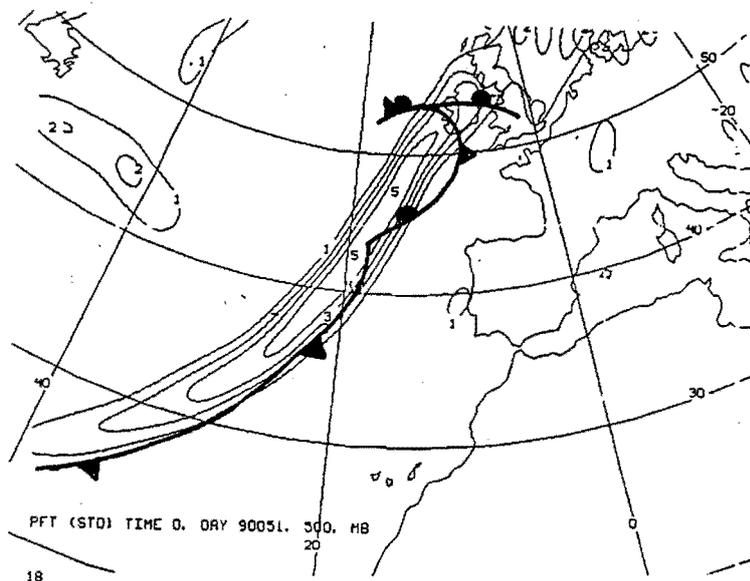
- A<=>B El frente frío entre A y B aparece bien tratado con el PFT en 850. La ondulación incipiente en cambio no se refleja en este campo.
- B<=>C Este tramo de frente frío también aparece claro en el PFT. Igual que en el caso anterior el eje de máximos queda un poco por detrás del frente en superficie (zona de transición entre los máximos de advección fría y el comienzo de la advección cálida).
- D==> La oclusión no aparece con claridad en el PFT en este caso (posiblemente porque no tenga aún la suficiente entidad).
- E==> El frente cálido tampoco aparece claramente marcado con el PFT en este caso.

20/2/90  
00.z



IR

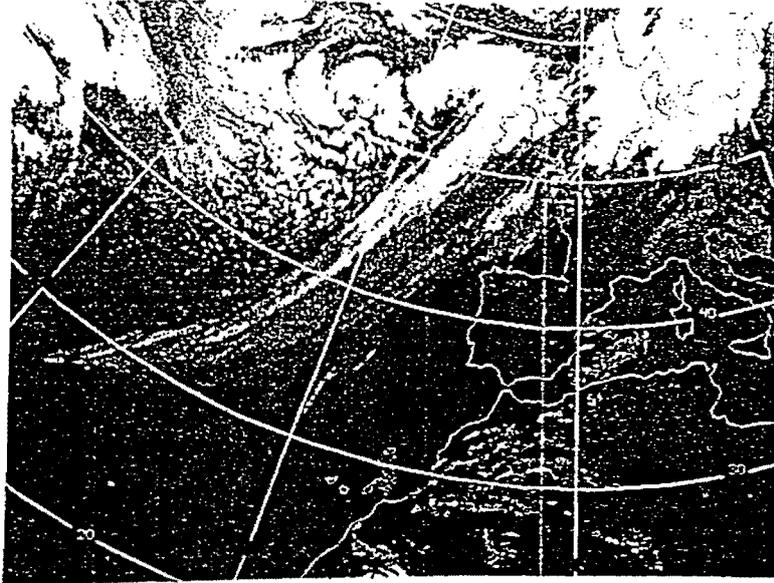
PFT  
500 mb  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

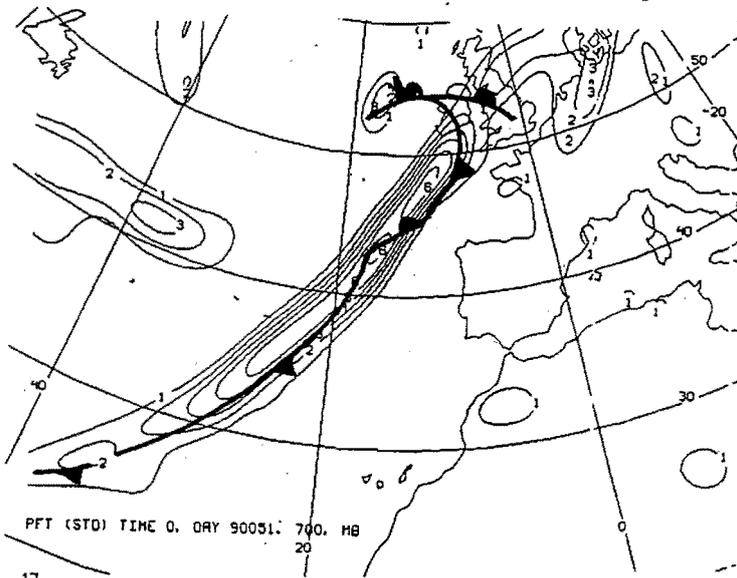
El eje de máximo PFT en este nivel queda retrasado respecto a los de 700 y 850 mb. Parece deducirse de esto que este frente es de tipo Anafrente.

20/2/90  
00.z



IR

PFT  
700 mb  
20/2/90  
00.z



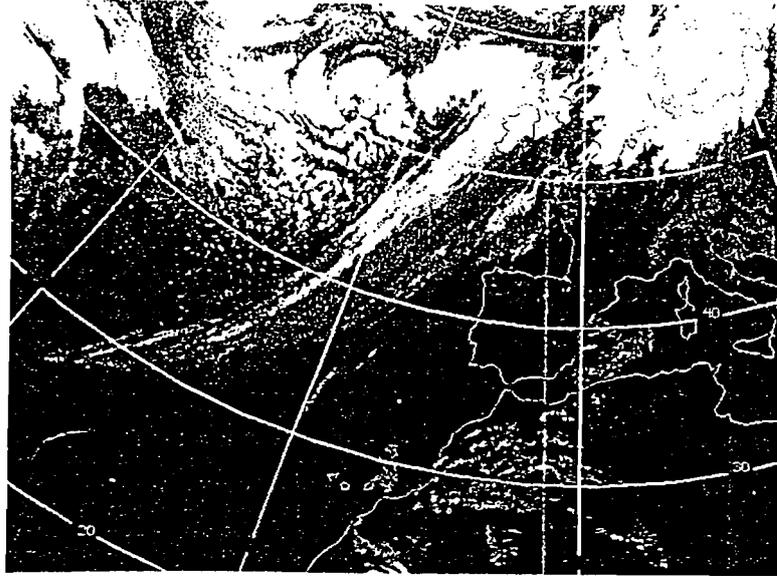
**Comentarios:**

Las características son esencialmente las mismas que en el nivel de 850 mb. Solo hacer notar que:

- \* El eje de PFT máximo en este nivel queda por detrás del correspondiente a 850 mb.
- \* No ofrece señal en absoluto en el frente cálido a este nivel posiblemente porque no tenga aún la suficiente entidad.

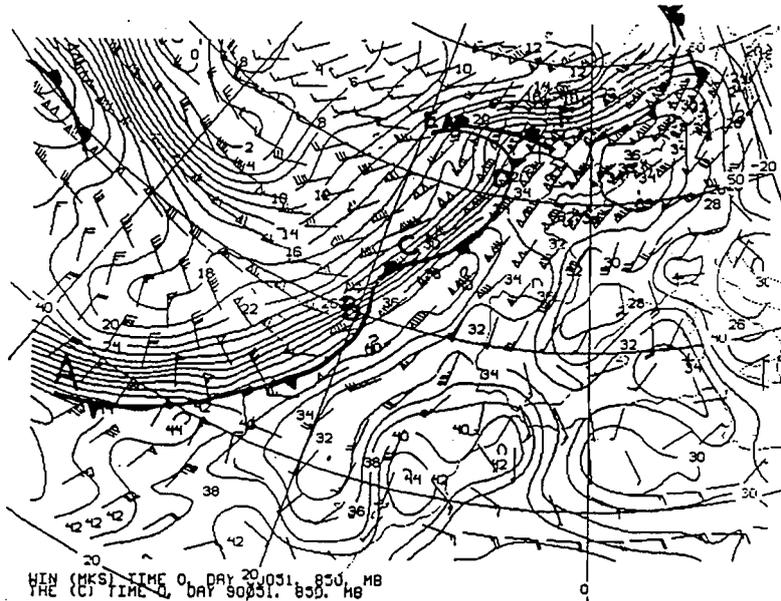
CAMPO: TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE (THE)	Nivel: 850 y/o 1000
Unidades: gdos (C ó K)	
<p>Descripción del campo:  La temperatura potencial equivalente, es un invariante para evaporaciones y condensaciones de agua en el seno del aire siempre que estos procesos sean isobáricos y que el calor latente absorbido o desprendido haya sido tomado o cedido por el propio aire.</p>	
<p>Uso en relación con sistemas frontales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ Este campo es un buen indicador de la identidad de una masa de aire determinada. La separación entre masas de aire diferentes viene marcada en este campo por gradientes significativos.</li> <li>£ En principio, un frente frío estará situado por delante del gradiente máximo de THE y por detrás del eje de THE máximo.</li> <li>£ Un frente cálido (si existe) se sitúa en el borde posterior de la zona con gradientes máximos de THE en el sector cálido.</li> <li>£ Las oclusiones, se manifiestan como una entrada en forma de dedo del sector cálido hacia el frío.</li> <li>£ El nivel de 1000 mb sólo debe usarse sobre zonas marítimas.</li> </ul> <p><u>NOTA:</u></p> <p>El uso de la <u>Temperatura Potencial del Termómetro Húmedo (THW)</u> es análogo al de la THE. Al depender menos del contenido de humedad los gradientes son más débiles y el resultado presenta un aspecto más suavizado.</p>	
<p>Restricciones en su uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>£ Este campo debe combinarse con la advección de THE para situar correctamente los frentes. La THE da una primera idea de la posición de los sistemas frontales.</li> <li>£ Las posibles ondulaciones de un frente hay que situarlas mediante la advección de vorticidad en altura sobre la banda frontal. Una ondulación incipiente <u>no</u> aparecerá reflejada en este campo.</li> </ul>	

20/2/90  
00.z



IR

THE 850  
Flujo  
humedad  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

- A<=>B Frente frío por delante de la zona con gradiente máximo de THE y por detrás del eje de THE máxima.
- B<=>C La ondulación incipiente no se refleja en el campo de THE ni en el flujo de humedad.
- C<=>D Frente frío que conecta con la oclusión. Las características son similares al sector A-B aunque el giro del flujo de humedad no es tan evidente como en éste.
- D<=>E Oclusión. Notar la entrada en forma de dedo del sector cálido en el frío.
- F==> Frente cálido. Desde la oclusión hacia el gradiente max. de THE.

CAMPO: ADVECCION DE TEMPERATURA POTENCIAL EQUIV.

Nivel:850 y/o 1000

Unidades: gdos en 12 horas

Descripción del campo:

La advección positiva de THE a bajos niveles (si ésta tiene la suficiente entidad) marca zonas donde aumenta la inestabilidad potencial. Obviamente advecciones negativas indican lo contrario.

Uso en relación con sistemas frontales:

- £ Por detrás del frente frío debe existir un máximo de advección fría. Lo normal es que esta advección fría penetre algo en el sector cálido.
- £ Algo por delante del frente frío, comienza la advección cálida. En este sector pueden aparecer máximos relativos de advección cálida que no deben confundirse con los asociados al frente cálido (consultar la distribución de THE).
- £ Un máximo de advección cálida bien definido lleva por detrás un frente cálido. Para asegurar la ubicación de este frente, debe consultarse la THE. El frente cálido debe situarse entre el máximo de advección cálida y el gradiente máximo de THE por delante del sector cálido (consultar PFT).
- £ Sobre una ondulación incipiente no debe esperarse señal en este campo.

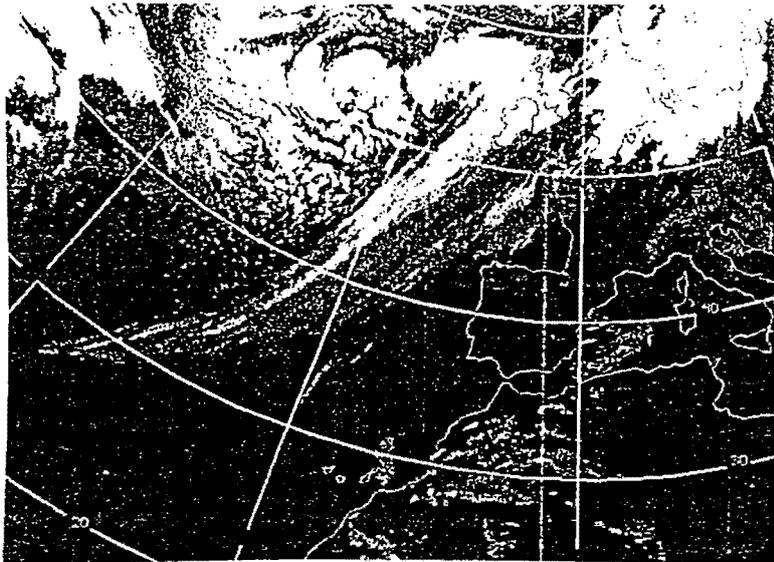
NOTA:

El uso de la Advección de Temperatura Potencial del Termómetro Húmedo es análogo al de la advección de THE.

Restricciones en su uso:

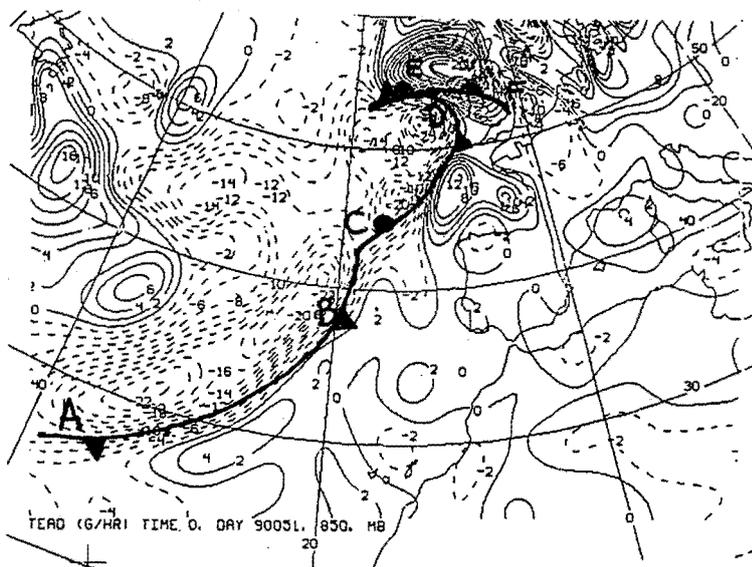
- £ Este campo debe combinarse con la distribución de THE para situar correctamente los frentes. La THE (o la THW) dan una primera idea de la posición de los sistemas frontales.
- £ Las posibles ondulaciones de un frente hay que situarlas mediante la advección de vorticidad en altura sobre la banda frontal. Una ondulación incipiente no aparecerá reflejada en este campo.

20/2/90  
00.z



IR

Adv THE  
850 mb  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

- A<=>B Frente frío por delante de la zona con máximos de advección fría (-16 a -18 grados en 12 horas). La advección fría penetra algo en el sector cálido.
- B<=>C La ondulación incipiente no se refleja en el campo de Adv(THE) aunque si se observa una disminución notable de advección fría.
- C<=>D Frente frío que conecta con la oclusión. Las características son similares al sector A-B con un máximo de advección fría por detrás (-20 grados en 12 hr). Hay que hacer notar que estos valores, aparentemente escandalosos, quedan parcialmente compensados por subsidencia, del mismo modo que los ascensos compensan en parte las advecciones cálidas fuertes.
- E<=>F Máximo de advección cálida (18º/12 hr) por delante del frente cálido, extendiéndose hacia la parte delantera de la oclusión.

CAMPO: THE + Vector Q

Nivel: 850 y/o 1000

Unidades: <THE>=gdos (C ó K); <Q>= $m \cdot mb^{-1} \cdot seg^{-3} \cdot 1.E-11$

**Descripción del campo:**

En teoría CG cuando el vector Q está dirigido desde el aire frío hacia el cálido se habla de circulación directa (asciende el aire cálido, subside el frío) y de Frontogénesis. En el caso opuesto tenemos circulación indirecta y Frontolisis.

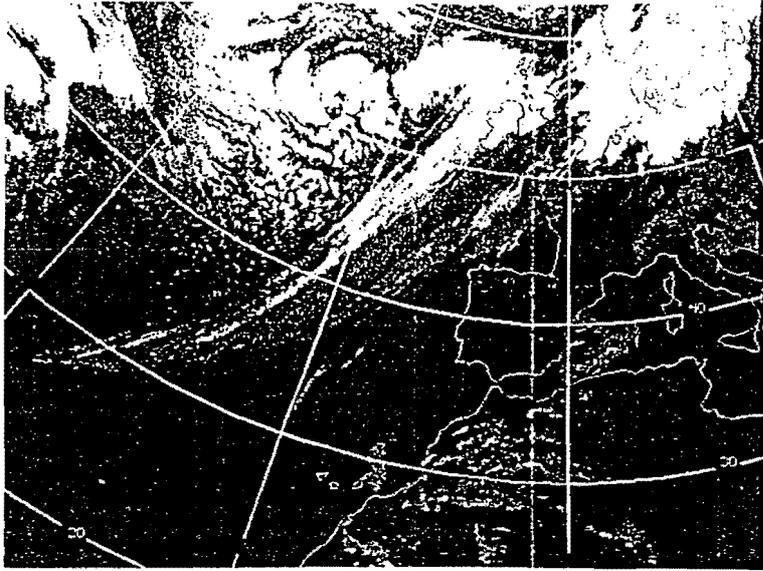
**Uso en relación con sistemas frontales:**

- £ La superposición de vectores Q sobre el campo de THE da una primera visión de las zonas con circulaciones directa e indirecta.
- £ Como consecuencia del punto anterior, podemos tener una idea cualitativa de las zonas donde tiene lugar Frontogénesis y/o Frontolisis.
- £ Las zonas con convergencia/divergencia del vector Q pueden distinguirse mediante esta combinación de campos.
- £ Si el sistema estudiado tiene un desarrollo significativo, el vector Q marca dirección y sentido de las circulaciones ageostróficas inducidas en niveles bajos para la conservación de los balances geostrófico y térmico (teoría CG).

**Restricciones en su uso:**

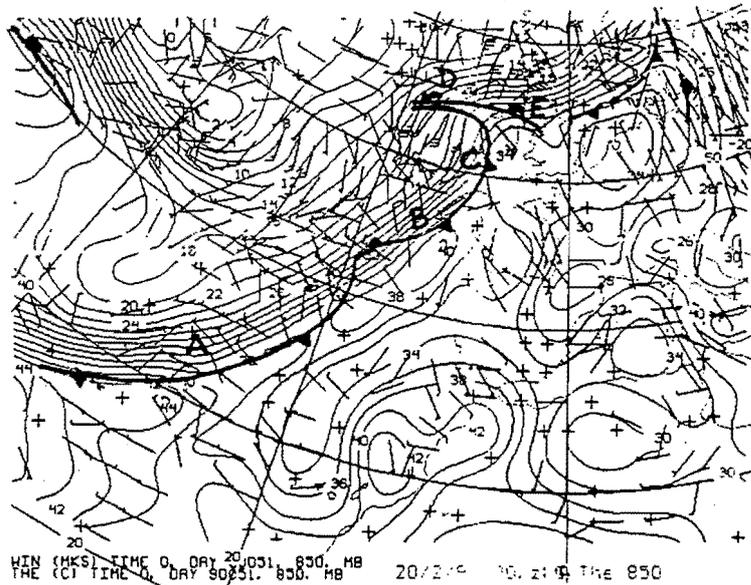
- £ Las limitaciones en el uso del vector Q para estimar Frontogénesis/ Frontolisis son las propias de la teoría CG. Esta teoría subestima las situaciones de Frontogénesis/ Frontolisis. La razón es que esta teoría no tiene en cuenta las advecciones ageostróficas que son cruciales en estas situaciones.

20/2/90  
00.z



IR

THE 850  
Q 850  
20/2/90  
00.z



#### Comentarios:

- A==> Circulación directa en el frente frío.Frente frío en Frontogénesis. El gradiente térmico tiende a incrementarse.Covergencia de Q sobre el frente extendiendose hacia atrás.
- B==> La ondulación incipiente no se refleja en este campo.El primer tramo del frente frío al Norte de la ondulación muestra frontogénesis más debil que en A.
- C==> Sector del frente frío con Frontogénesis muy débil o nula.Covergencia de Q en la parte trasera.
- D==> Sobre la oclusión existe una convergencia notable de Q.Comienza la Frontolisis.
- E==> Circulación directa muy intensa en el frente cálido.Covergencia de Q en la parte delantera del frente.Situación Frontogenética.

CAMPO: Función frontogenética CG

Nivel:850 y/o 1000

Unidades:<FFG>=gdo\*mb-1\*seg-3\*1.E-14

Descripción del campo:

Este campo es la proyección del vector Q en la dirección del gradiente térmico. En definitiva, se trata del cálculo ya efectuado sobre la combinación de Q y THE. Los valores positivos corresponden a circulación directa y Frontogénesis y los negativos a lo opuesto.

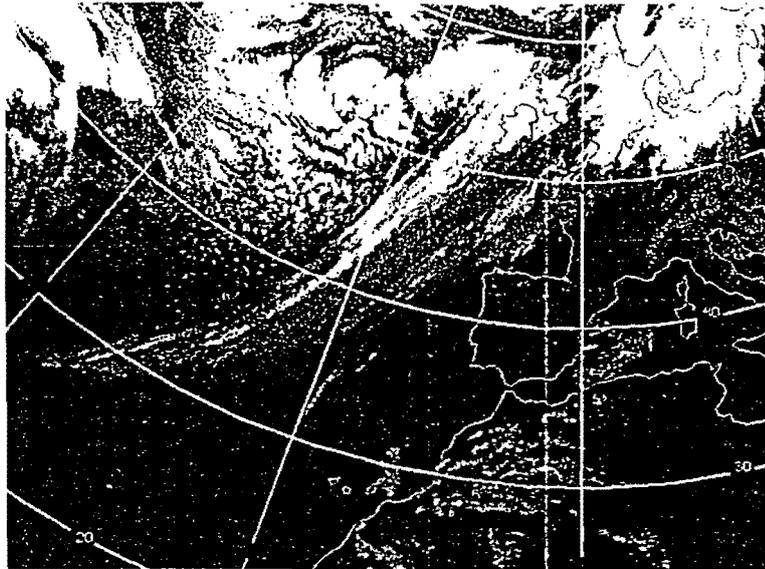
Uso en relación con sistemas frontales:

- £ Un frente frío en desarrollo lleva asociado un lóbulo alargado de  $FFG > 0$ .
- £ Una ondulación incipiente lleva asociado en muchas ocasiones un máximo relativo de  $FFG > 0$ . La causa es que un máximo de advección de vorticidad en altura sobre la banda frontal (causante de la ondulación) da lugar a un aumento local de la circulación del vector Q lo que a su vez provoca un aumento de su proyección.
- £ Un frente cálido en desarrollo lleva asociado un lóbulo de  $FFG > 0$  con los valores máximos en su parte delantera. Los máximos de convergencia de Q asociados a la advección cálida del frente aparecen sobre esta zona.

Restricciones en su uso:

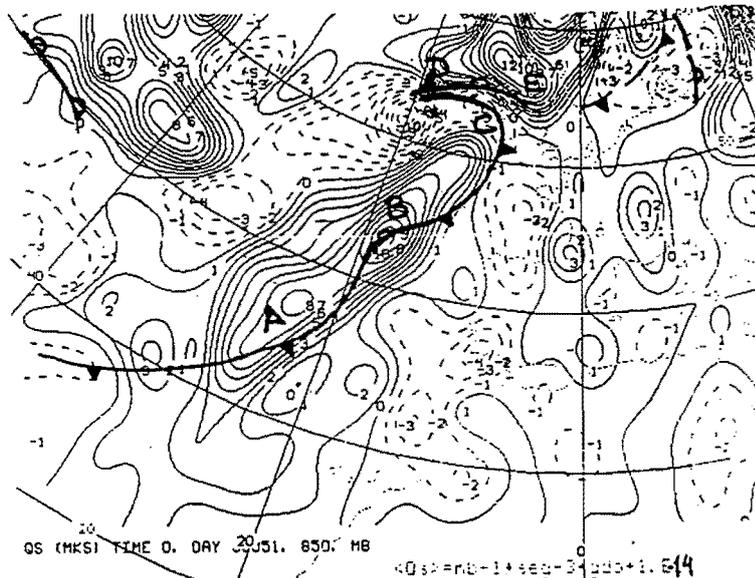
- £ Las limitaciones en el uso del vector Q para estimar Frontogénesis/ Frontolisis son las propias de la teoría CG. Esta teoría subestima las situaciones de Frontogénesis/ Frontolisis. La razón es que esta teoría no tiene en cuenta las advecciones ageostróficas que son cruciales en estas situaciones.

20/2/90  
00.z



IR

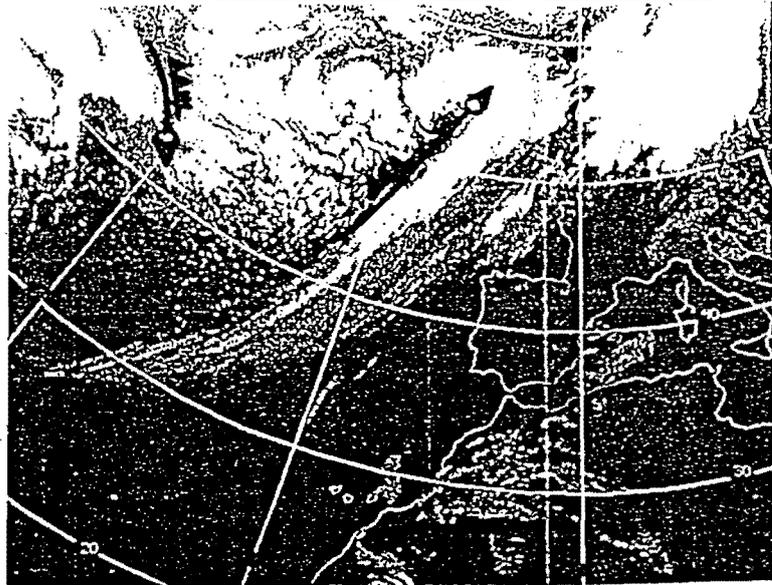
FFG  
850 mb  
20/2/90  
00.z



**Comentarios:**

- A==> Circulación directa en el frente frío. Frente frío en Frontogénesis. El gradiente térmico tiende a incrementarse. Convergencia de Q sobre el frente extendiéndose hacia atrás.
- B==> La oclusión incipiente se refleja en este campo como un máximo relativo de  $FFG > 0$ .
- C==> Sector del frente frío con un comienzo de frontolisis.
- D==> El comienzo de la frontolisis se extiende hacia la zona ocluida.
- E==> Frontogénesis en la parte delantera del frente cálido.

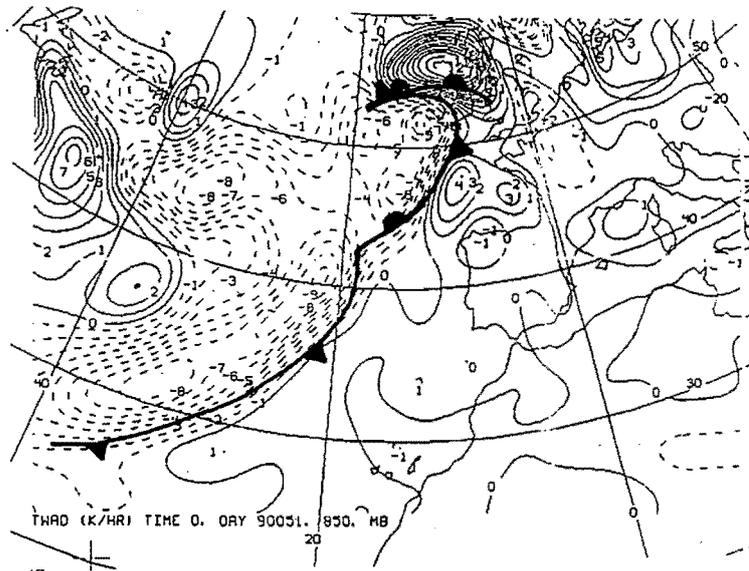
20/2/90  
00.z



IR

ADV THW  
850 mb

20/2/90  
00.z

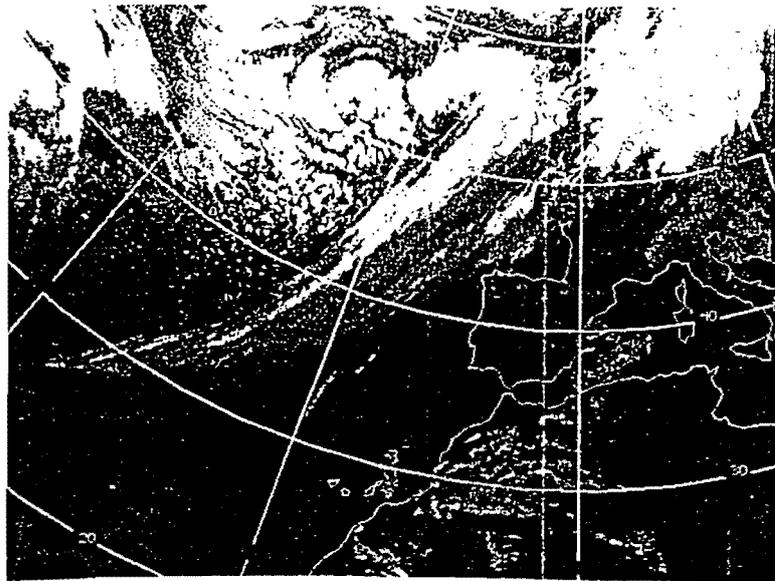


Comentarios:

Los mismos que en el caso de la advección de temperatura potencial equivalente.

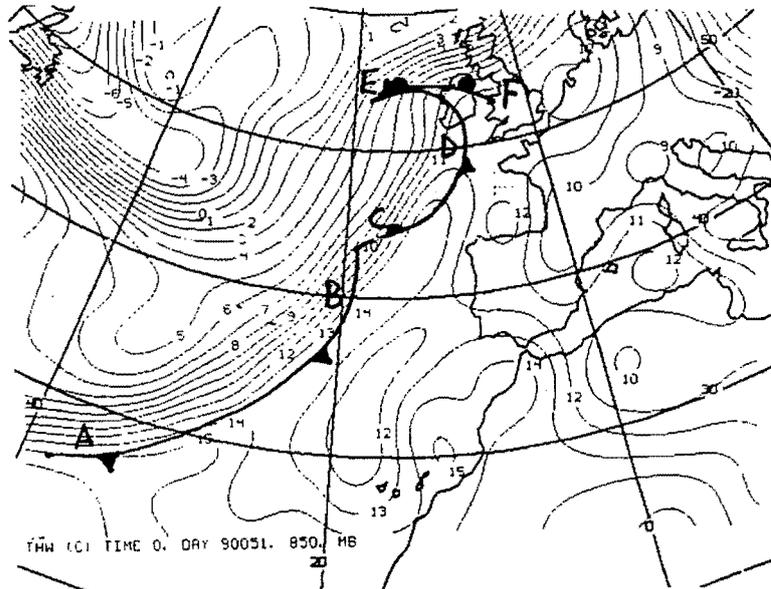


20/2/90  
00.z



IR

THW  
850  
20/2/90  
00.z



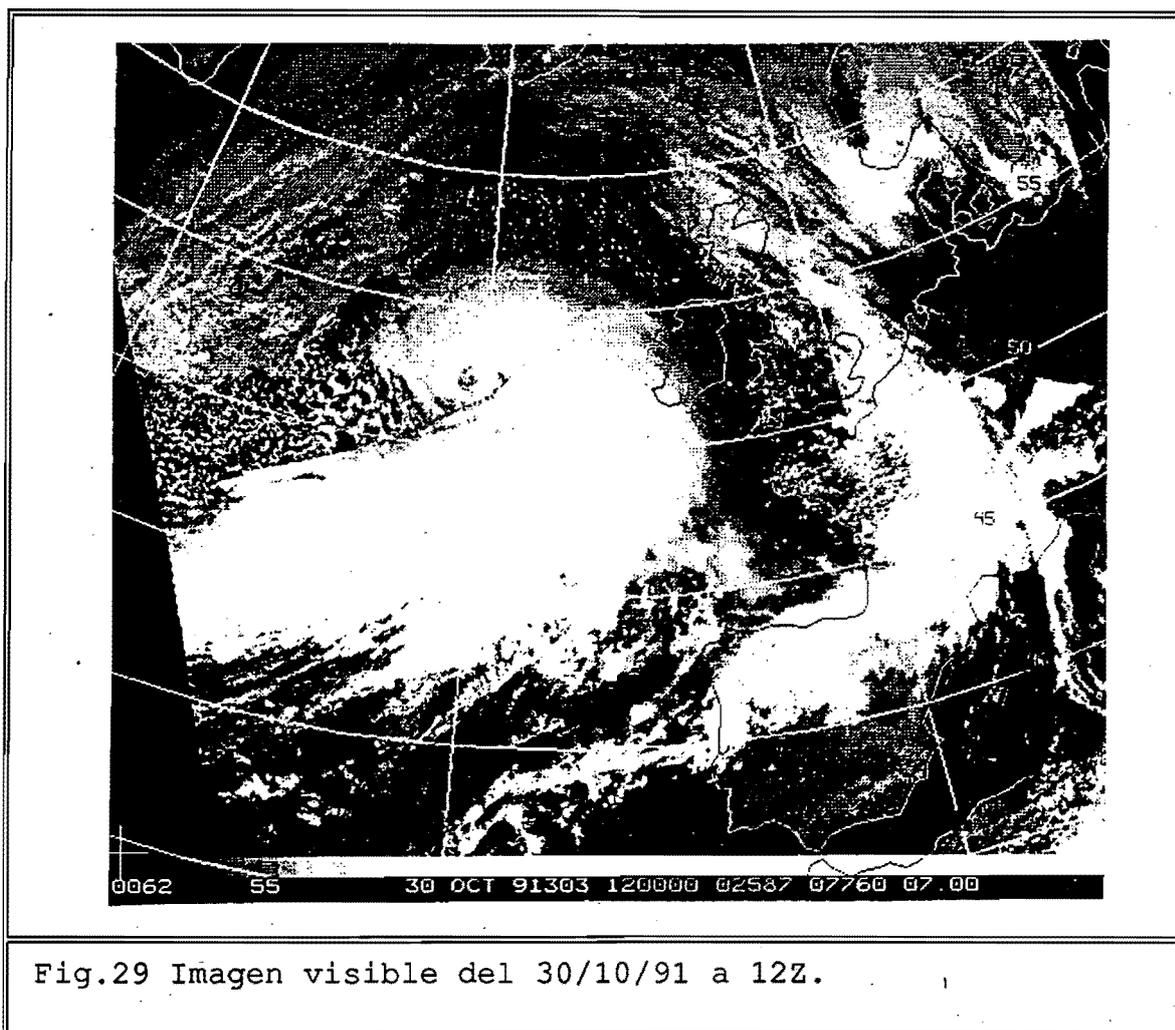
Comentarios:

Los mismos que en el caso de la temperatura potencial equivalente



## 5.- EJERCICIO DE APLICACION

Como se apuntó en la introducción, en este apartado se pretende, partiendo de una imagen de satélite y con la ayuda de los campos básicos proporcionados por un análisis objetivo, hacer el trazado paso a paso de los frentes presentes en la imagen. La situación corresponde al 30 de Octubre de 1991 a las 12Z y la imagen correspondiente en canal visible se muestra en la Fig.29. Dado que el objetivo de la presente Nota está encaminado a la predicción de la situación de los sistemas frontales, no haremos uso de los datos de superficie.



Se trata de un caso de ciclogénesis en el Atlántico Norte con caídas de geopotencial en 1000 mb de 160 m. entre el 30 a las 00Z y el 30 a las 12Z. La evolución fue bastante rápida, estando el 30 a las 12Z la baja ya en proceso de oclusión, apreciándose claramente las bandas transportadoras cálida y fría. Sobre Europa existe otro sistema frontal con una extensa oclusión que se extiende por el norte de la imagen y llega hasta los 40° W.

Los campos básicos que vamos a utilizar y que se proponen para su uso rutinario a la hora de situar los distintos frentes son los siguientes:

- a) Geopotencial 1000 mb (Fig.30) + THW 850 mb (Fig.31)
- b) Advección THW 850 mb (Fig.32) + PFT 850 mb (Fig.33)
- c) PFT 700 mb (Fig.34) + Humedad Relativa 700 mb (Fig.35)
- d) PFT 500 mb (Fig.36) + Espesores 500-1000 mb (Fig.37)
- e) Advección de vorticidad geostrófica 500 mb (Fig.38)

Una primera idea de la situación de los frentes nos la da la superposición del geopotencial de 1000 mb y de la THW en 850 mb (Fig.30,31). Se ve cómo las estructuras de frente frío, frente cálido y oclusión quedan perfectamente marcadas para la baja situada en las proximidades de  $50^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{W}$ , apreciándose también el fuerte gradiente asociado al frente frío situado sobre las Islas Británicas, oeste de Francia y norte de la península Ibérica, así como la extensa estructura en forma de dedo cálido asociada a la oclusión que aparece en la parte norte de la imagen. El campo de espesores (en forma de temperatura virtual media del estrato 500-1000 mb) de la Fig.37 muestra en líneas generales esta misma estructura, pero como ya dijimos anteriormente las fronteras quedan mucho mejor marcadas con la THW.

Comparando la imagen con el análisis de 1000 mb de la Fig.29 se ve como el análisis no ha colocado bien el centro de la baja, desplazándolo ligeramente hacia la izquierda. En lo que sigue, y teniendo en cuenta que lo que se quiere es disponer de herramientas para el trazado de frentes previstos, nos olvidaremos de esta pequeña diferencia y trazaremos los frentes haciendo caso solamente a los campos, sin preocuparnos de la imagen. En los casos en que queramos situar los frentes sobre un análisis es evidente que la imagen de satélite es el dato principal y lo que tendremos es que retocar ligeramente los campos analizados para ajustarnos a la imagen.

El siguiente paso en el trazado de los frentes es usar las indicaciones del PFT en 850 mb y de la advección de THW en 850 mb (Fig.32,33). Se ve como las zonas de advección fría y cálida quedan claramente marcadas lo que, junto a las fronteras señaladas por el PFT nos permite colocar ya de forma bastante precisa el frente frío, cálido y la oclusión. La advección fría penetra ligeramente en el sector cálido y el máximo de advección cálida queda por delante del frente cálido. Por lo que respecta al frente frío sobre las Islas Británicas y a la oclusión asociada, la señal es menos clara, apareciendo junto a la frontera del frente frío y de la oclusión otras señales diferentes que no marcan ningún frente y que dificultan la comprensión del campo. Hay que tener en cuenta que esta oclusión

no es un frente típico y por lo tanto los esquemas de los diferentes campos se alejan del comportamiento que tienen en situaciones bien caracterizadas.

El PFT en 700 y 500 mb se muestra en las Fig. 34 y 36. El frente frío de la baja del centro de la imagen queda bien caracterizado, desplazándose la señal hacia atrás conforme se asciende en la atmósfera, indicándonos que se trata de un frente frío tipo anafrente. En el frente cálido se ve como la señal se adelanta en niveles altos respecto de niveles bajos, aunque en este caso la estructura no queda tan bien marcada. Recordar que en niveles medios y altos el PFT está muy relacionado con la posición de los máximos de viento y esto es lo que observamos en 500 mb, donde el máximo de viento ataca al frente frío por el punto de oclusión, recomponiéndose corriente abajo. En el frente frío de la derecha el PFT da señal en los tres niveles y aproximadamente en la misma posición debido a que el frente se encuentra frenado por un potente anticiclón situado sobre el centro y norte de Europa.

De mucho interés para situar las oclusiones es el campo de advección de vorticidad geostrofica en 500 mb (ver Fig.38). Como hemos visto antes, los máximos de advección deben caer en la vertical de las oclusiones y por detrás del frente frío y esto es lo que se observa en la Fig.38, donde el frente frío está por delante del máximo de advección y la oclusión cae en la zona de advección positiva, cerca del máximo. Se ve también como existe un máximo de advección sobre el frente frío de la derecha de la imagen, lo que nos indica que este frente, aunque todavía no ocluido, tenderá a transformarse en una oclusión rápidamente.

Con la información de todos estos campos se pueden trazar los distintos frentes y el resultado aparece en la Fig.39 (los frentes están trazados teniendo en cuenta solo los campos y no la imagen, como ya se apuntó anteriormente). Se ha incluido también, para una visión de conjunto más completa, la posición relativa que respecto a los frentes tiene el PFT en los distintos niveles.



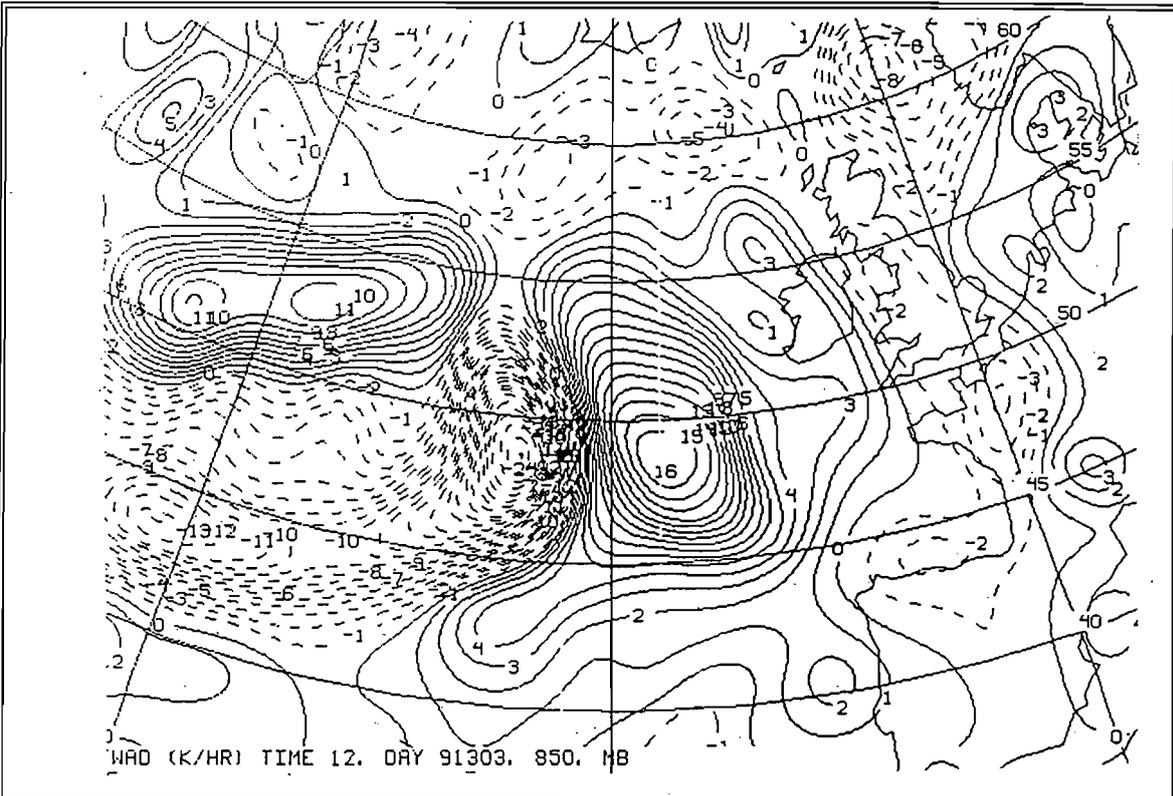


Fig.32 Advección de THW en 850 mb. 30/10/91 12Z

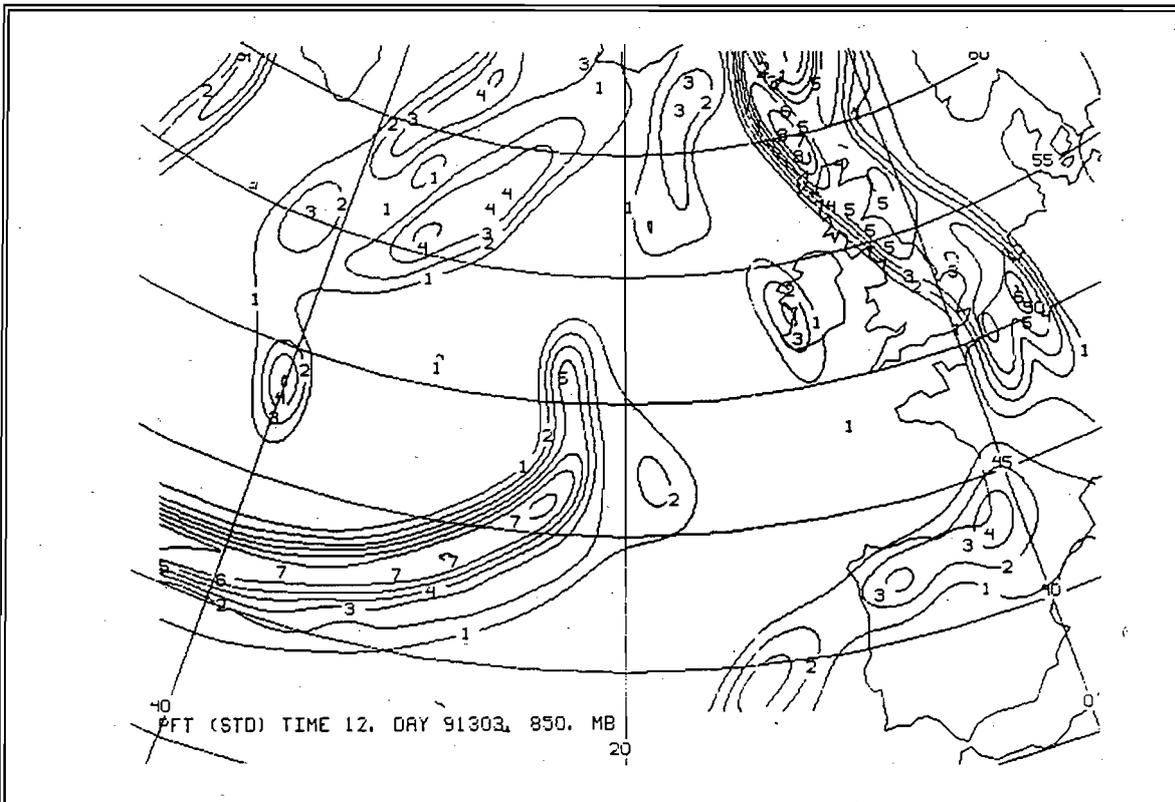


Fig.33 PFT 850 mb. 30/10/91 12Z

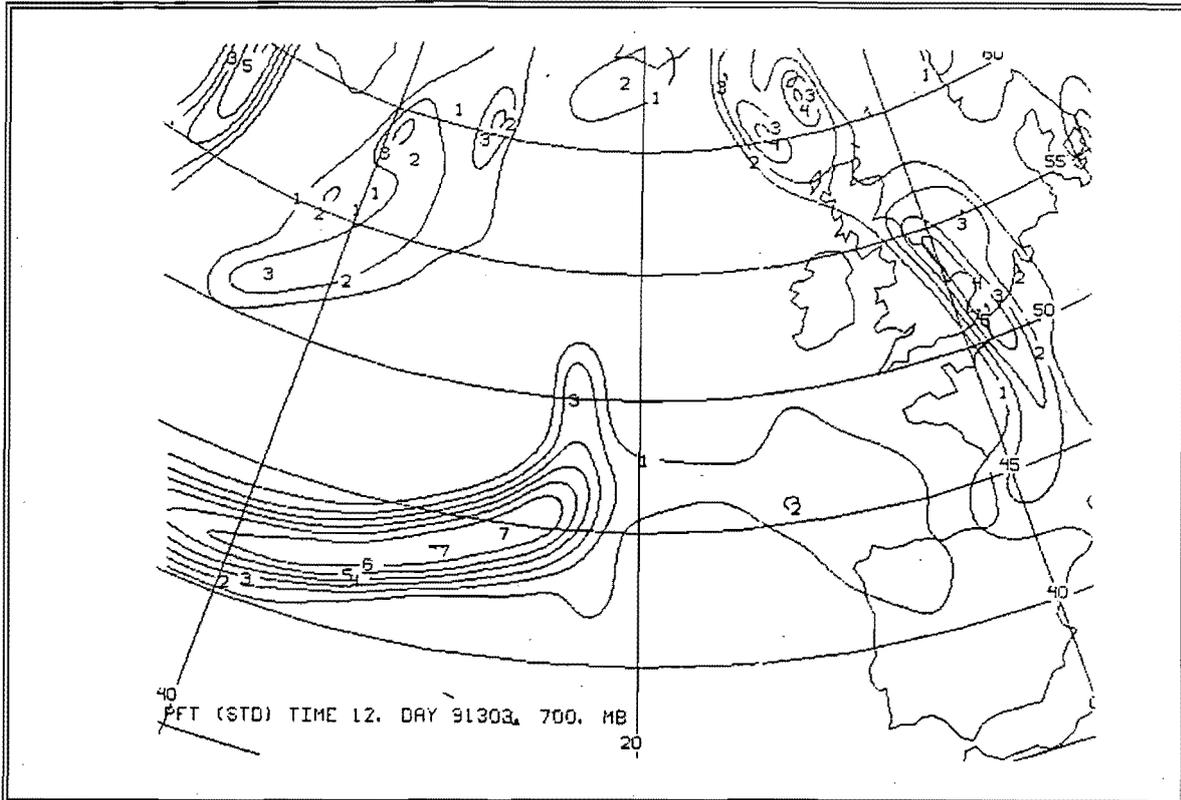


Fig.34 PFT 700 mb. 30/10/91 12Z

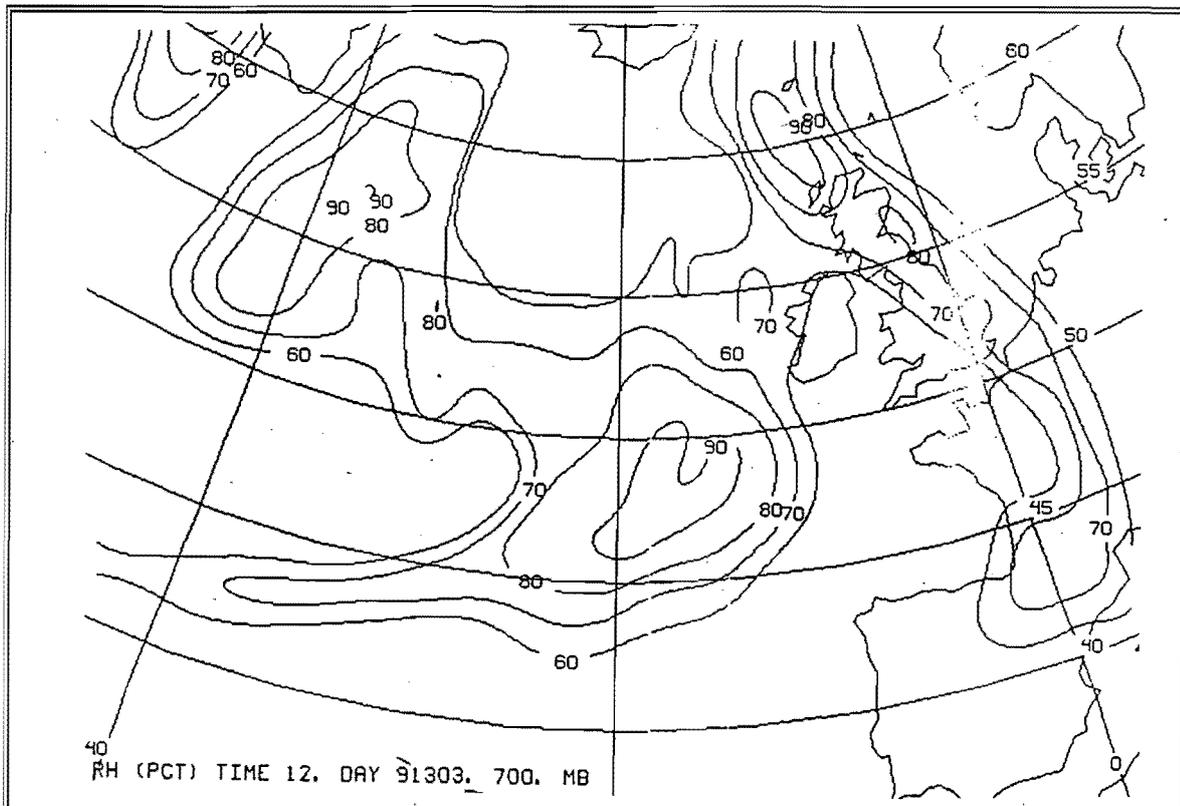


Fig.35 Humedad relativa en 700 mb. 30/10/91 12Z

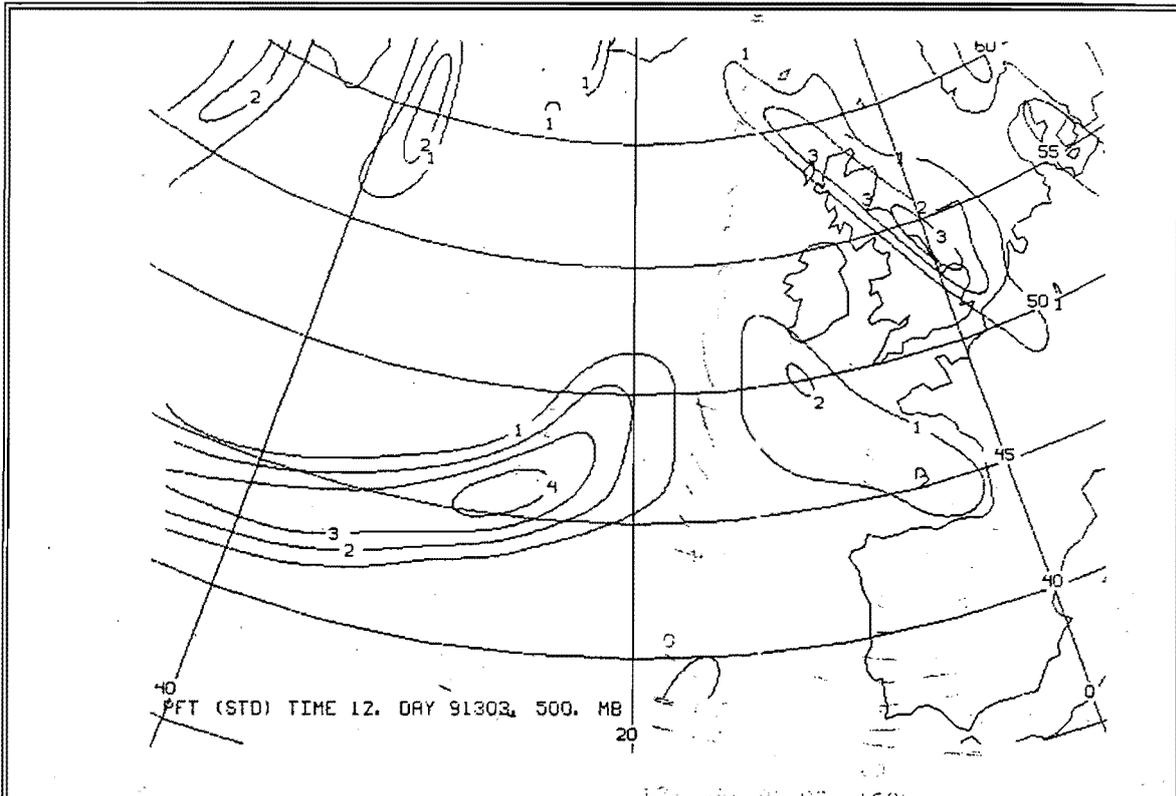


Fig.36 PFT 500 mb. 30/10/91 12Z

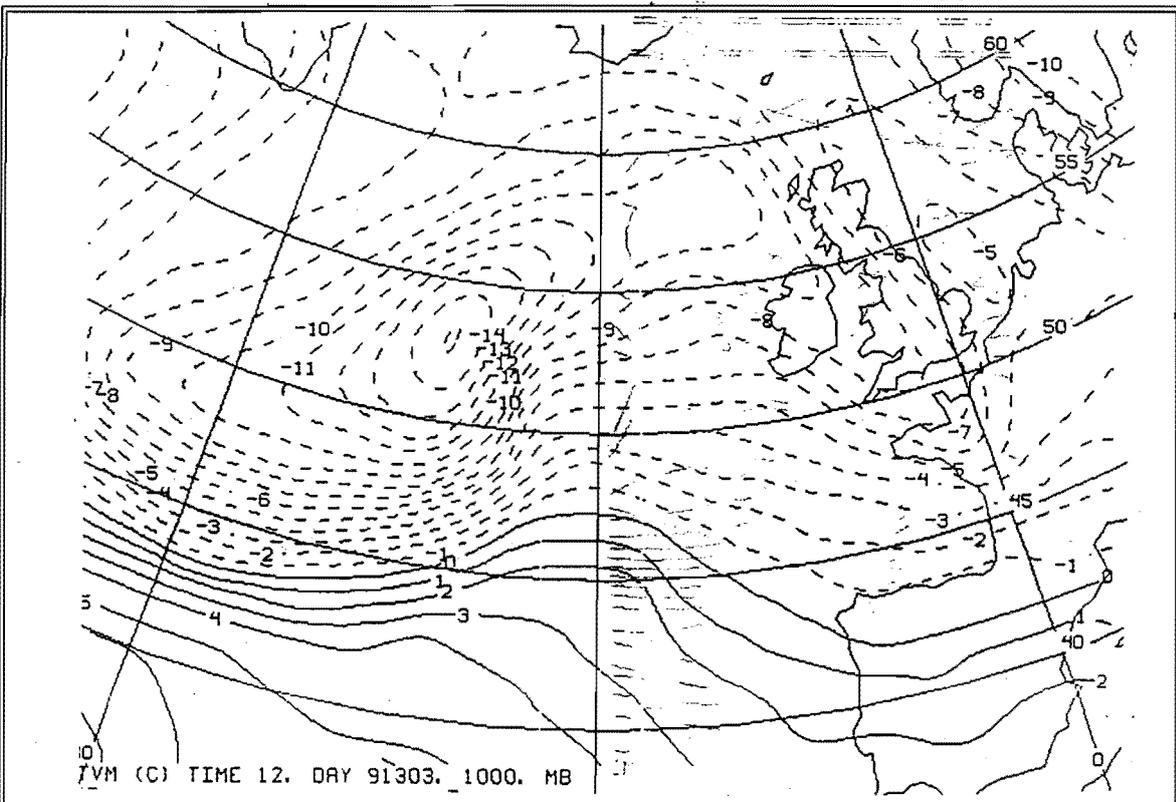


Fig.37 Espesor 500-1000 mb. 30/10/91 12Z

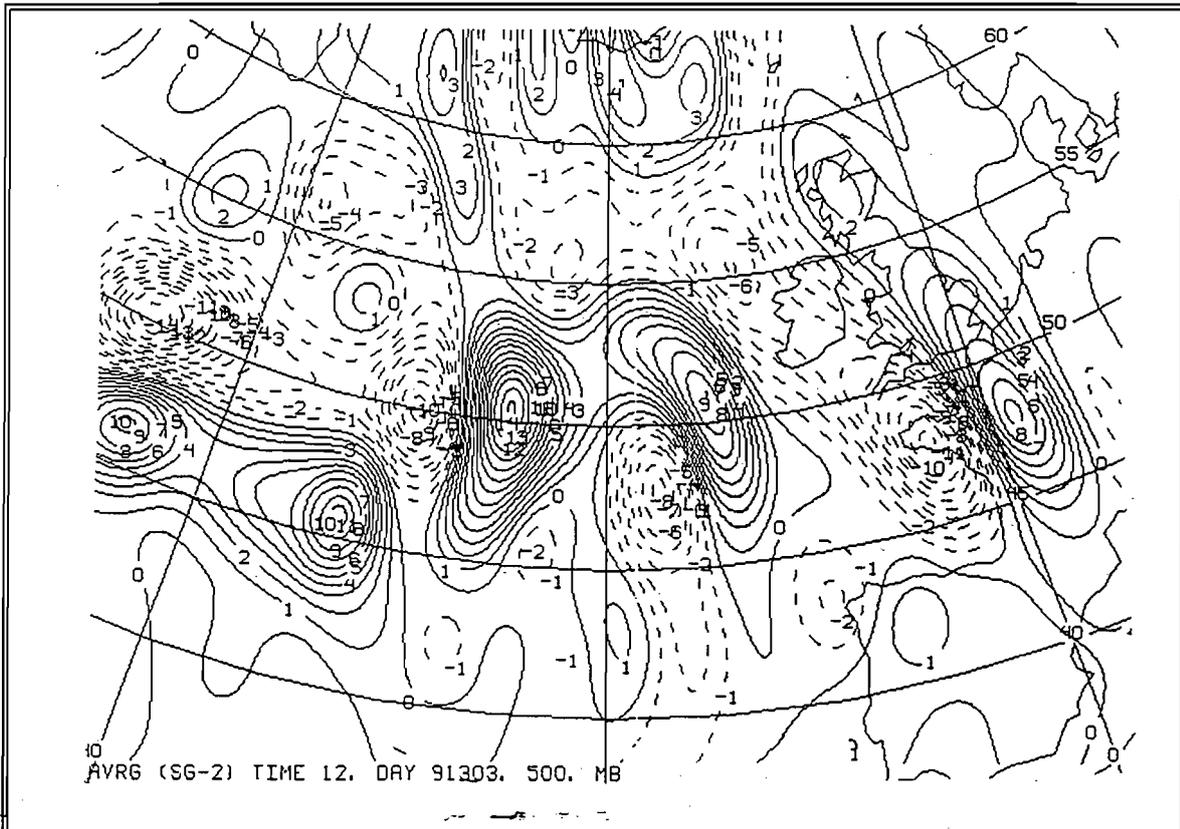


Fig.38 Advección de vorticidad 500 mb 30/10/91 12Z

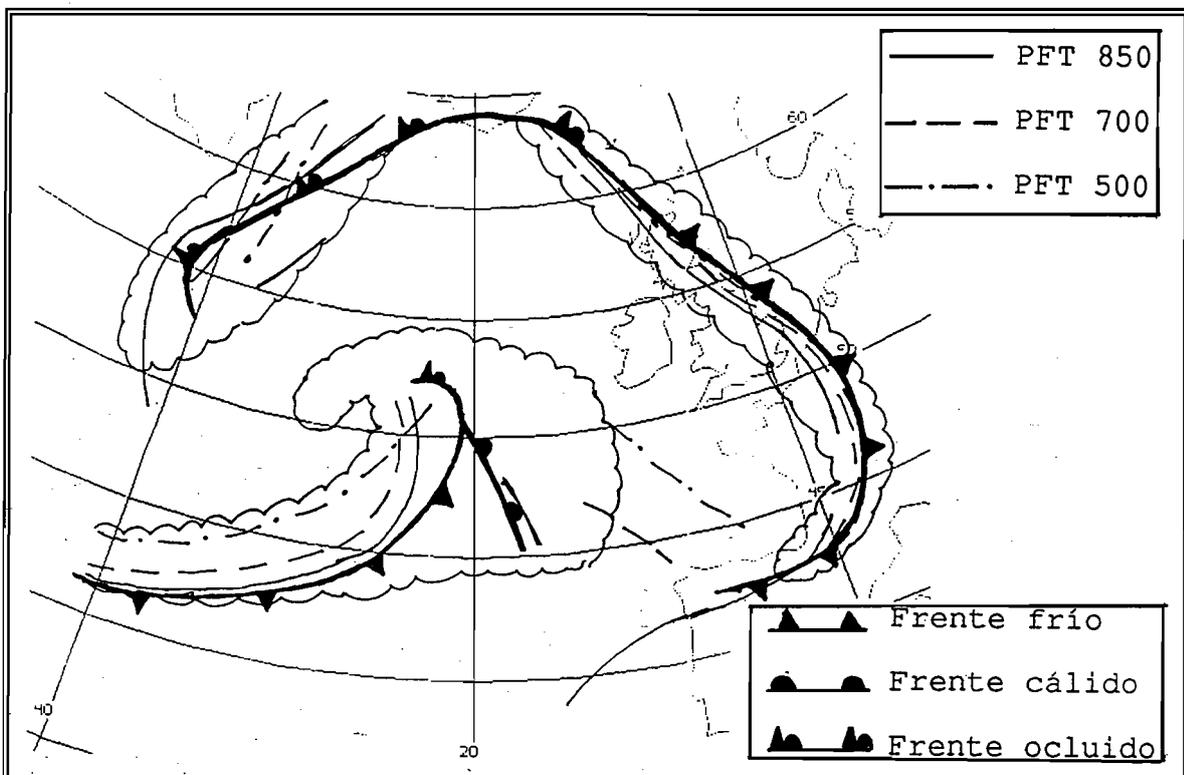


Fig.39 Posición relativa de los frentes y el PFT.

## APENDICE

### DESARROLLO ANALITICO DEL PFT.

A partir de la definición de PFT:

$$PFT = -\vec{u}_{\nabla\theta_w} \cdot \nabla |\nabla\theta_w|$$

donde

$$\vec{u}_{\nabla\theta_w} = \frac{\nabla\theta_w}{|\nabla\theta_w|}$$

y

$$\nabla |\nabla\theta_w| = \frac{1}{|\nabla\theta_w|} [\nabla\theta_w \cdot \nabla] \nabla\theta_w$$

Los dos vectores citados tienen la misma dirección si

$$\vec{k} \cdot \vec{u}_{\nabla\theta_w} \times \nabla |\nabla\theta_w| = 0$$

Desarrollando la expresión anterior se llega a:

$$\vec{k} \cdot \vec{u}_{\nabla\theta_w} \times \nabla |\nabla\theta_w| = \frac{1}{|\nabla\theta_w|^2} \left[ \frac{\partial^2 \theta_w}{\partial x \partial y} \{ (\partial\theta_w / \partial x)^2 - (\partial\theta_w / \partial y)^2 \} - \right.$$

$$\left. - \frac{\partial\theta_w}{\partial x} \frac{\partial\theta_w}{\partial y} \left\{ \frac{\partial^2 \theta_w}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \theta_w}{\partial y^2} \right\} \right]$$

La expresión anterior puede simplificarse si se considera el sistema de coordenadas ligado al frente que se muestra en la figura A-1.

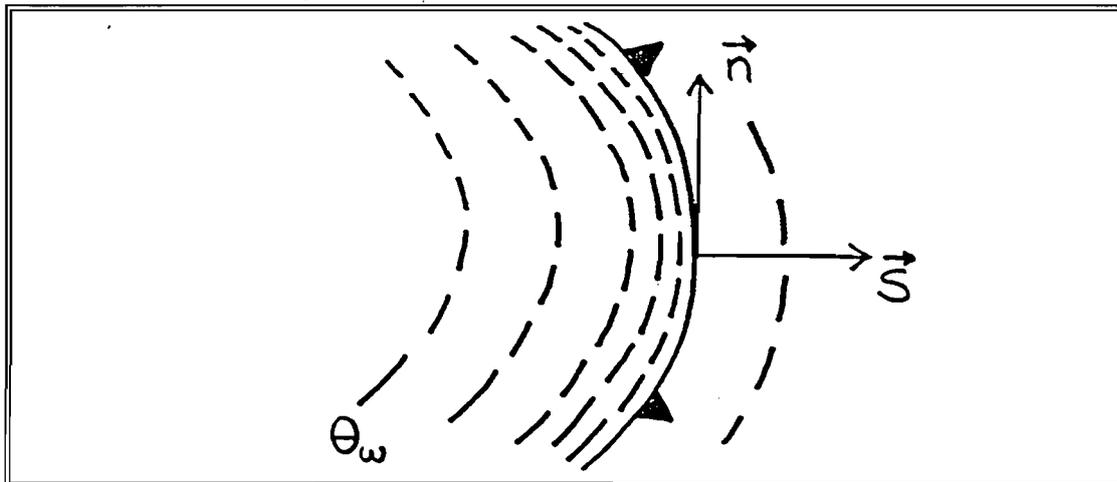


Fig.A-1 Sistema de coordenadas ligadas a un frente frío

En este caso

$$\nabla\theta_w = \frac{\partial\theta_w}{\partial s} \vec{s}$$

y resulta inmediato que

$$\vec{k} \cdot \vec{u}_{\theta_w} \times \nabla |\nabla\theta_w| = \frac{\partial^2\theta_w}{\partial s \partial n}$$

Hay que hacer notar que sobre la parte central del eje de gradiente máximo de THW

$$\frac{\partial^2\theta_w}{\partial s \partial n} = 0 \implies \vec{u}_{\theta_w} \parallel |\nabla|\nabla\theta_w|$$

y el PFT marcaría el cambio máximo del gradiente en su dirección. En los extremos de los lóbulos de gradiente máximo en cambio el PFT marcaría la derivada direccional en dirección del gradiente térmico.

Estas consideraciones son coherentes con los resultados numéricos que se presentan en esta Nota Técnica. En la figura A-2, se muestran las direcciones del gradiente de temperatura potencial del húmedo y del gradiente del módulo del gradiente térmico húmedo.

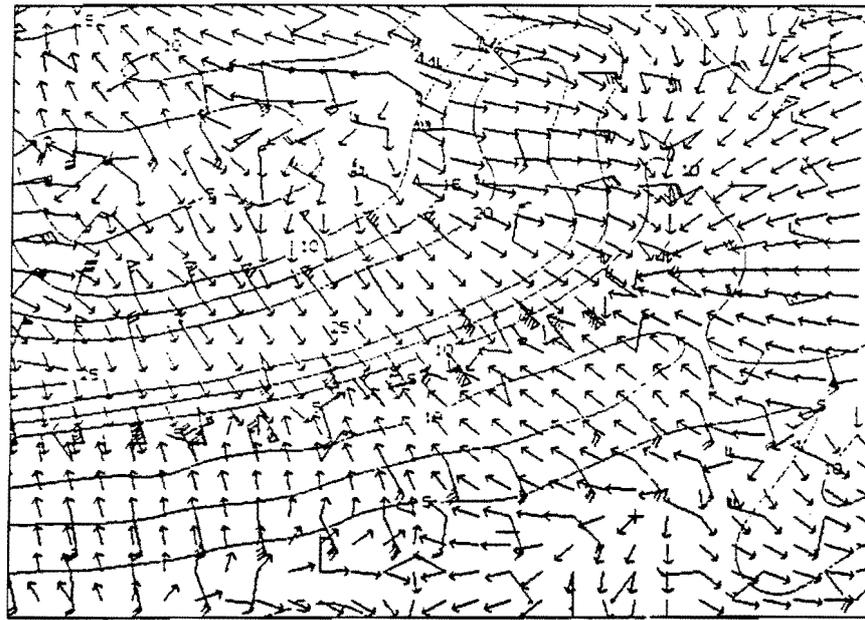


Figura A-2

Líneas llenas: Gradiente de T.Pot. del húmedo  
 → : Dirección del gradiente de THW  
 || : Gradiente del módulo del gradiente de THW



### CUADRO RESUMEN FINAL

Con el fin de resumir el uso de campos derivados en relación con la localización, caracterización y estado de desarrollo de los sistemas frontales, se muestra a continuación un cuadro resumen de acuerdo al código que se indica:

CAMPOS : CODIGO	SIGNIFICADO
VORG 300/500	Vorticidad geostrófica
AVRG 300/500	Advección de vorticidad geostrófica
ESP	Espesores 500/1000
AESP	Advección de espesores 500/1000 por Vg de 1000
Q	Vector Q de Hoskins
THW	Temperatura Potencial del termómetro húmedo
ADTHW	Advección de T.Pot.del húmedo
PFT	Parámetro frontal térmico

CODIGO de UTILIZACION	SIGNIFICADO
L	Localización
O	Ondulación del sistema frontal
C	Caracterización: (Anafrente/Catafrente)
F	Estado de desarrollo: (Frontogénesis/Frontolisis)

CAMPOS	UTILIDAD
VORG	O
AVRG	O
ESP	L
AESP	L
$Q+THW=FFG$ (Función frontogenética)	F
THW	L
ADTHW	L
PFT	C

**Nota final:**

El estado de Frontogénesis/Frontolisis dentro de la teoría cuasi-geostrófica, viene dado por la proyección del vector Q en dirección del gradiente térmico.

Este cálculo en McIDAS se efectúa mediante el uso de la Macro **YFRQG** cuya sintaxis se detalla a continuación:

**MACRO YFRQG**

Sintaxis:

**YFRQG Nivel (o Help) Keywords**

Nivel: Cualquiera de los niveles de un modelo numérico.

Keywords:

DAY=

PAS=

PINI=

GRIDF=(Si se utiliza esta keyword no es necesario el uso de las anteriores).

Los resultados de esta Macro se depositan en el Fichero Grid en uso. Las salidas que ofrece son:

1. Componentes del vector Q de Hoskins en unidades:

1.E-11 m\*mb-1\*sg-3

Este resultado puede plotearse igual que las componentes de un campo de viento usando el comando **GRDPLT**.

2. QS=Proyección del vector Q en dirección del gradiente térmico en unidades: 1.E-14 K\*mb-1\*sg-3

3. QN=Proyección del vector Q en dirección normal al gradiente térmico en las mismas unidades que QS.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- **Browning K.A.** Conceptual Models of Precipitation Systems. *Weather and Forecasting* 1986, Vol.1, pag 23-41.
- 2.- **Browning K.A y Monk G.A.** A simple model for the Synoptics Analysis of Cold Fronts. *Quart. J. R. Soc.* 1982, 108 pag 435-452.
- 3.- **Les Nuages (Tome II) Systèmes nuageux et types de ciels.** *Météorologie Nationale* 1961.
- 4.- **Moore J.T. y Smith K.F.** Diagnosis of anafronts and katafronts. *Weather and Forecasting* 1989, Vol.4 pag 61-72.
- 5.- **Renard R.J. y Clarke L.C.** Experiments in numerical objective frontal analysis. *Monthly Weather Review* 1965, Vol.93 pag 547-556.
- 6.- **Zwatz-Meise V. y Hufnagl F.** Some results about the relation between an objective front parameter and cloud bands in satellite images and its connection to classical cold fronts models. *Meteorology and Atmospheric Physics* 1990 pag 77-89.