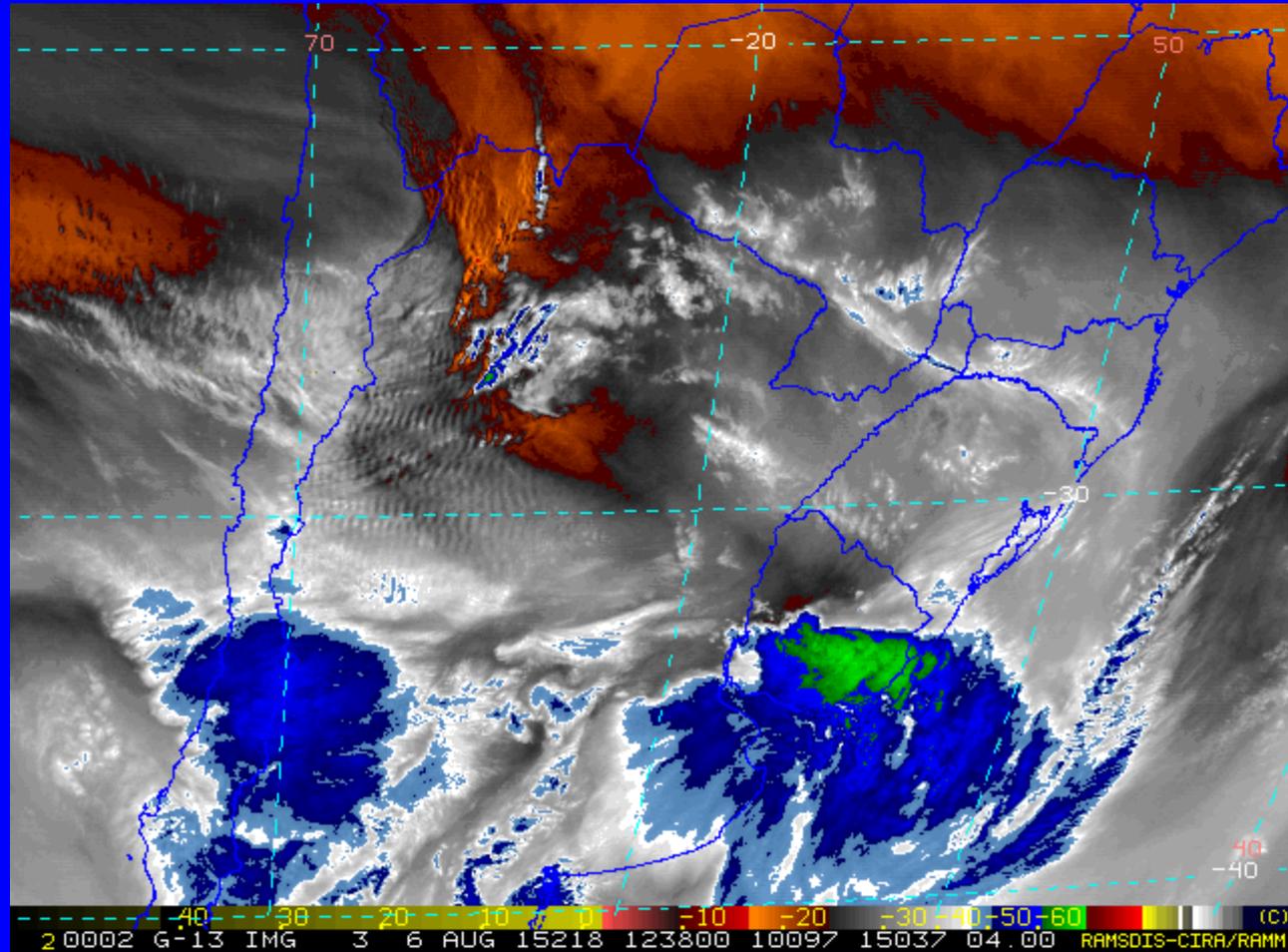


# Turbulencia Pronostico y Diagnostico



Mike Davison

# Función de la Turbulencia

- ¿Cual es la función de la turbulencia en la atmosfera?
  - ¿Incomodar a la tripulación?
  - ¿Asustar los pasajeros?
  - ¿Costarle dinero a la aerolínea?

# Función de la Turbulencia

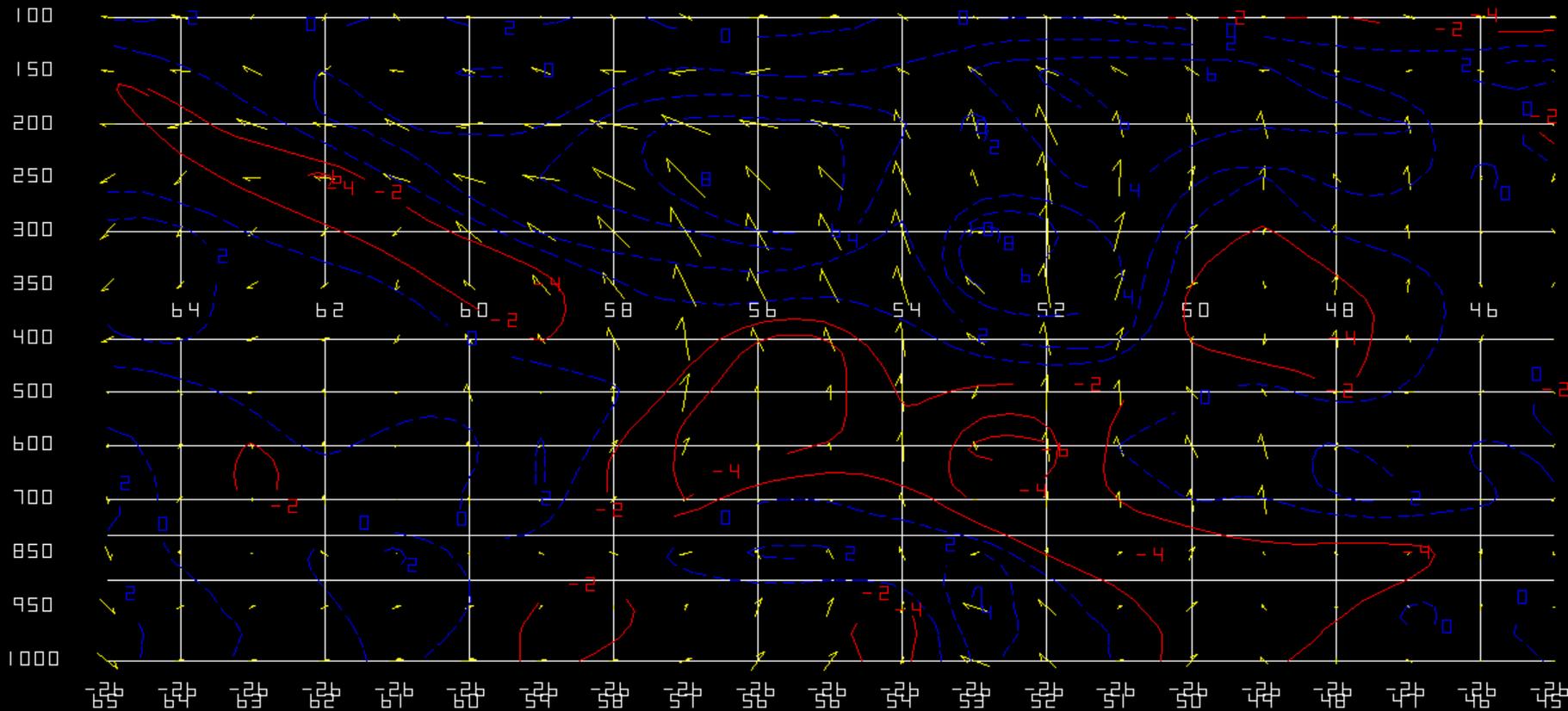
- Impacto físico a la atmosfera y la corriente en chorro.
  - La turbulencia es el equivalente del freno de un vehículo
  - Es la manera del jet de disipar energía y evitar que se acelere descontroladamente.

# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

- Regiones de abrupto, e irregulares, ascenso/descenso de parcelas de aire.

GFS3:Lat/Lon 26S/ 65W=> 26S/ 45W:FHR= 84:FHRS= 0/ 0::FIL1=OCT061500.GFS03  
2015/10/ 6/ 0-WDVR.LT00 CLR6&WDVR.GT00 CLR7 DASH&ACRC AROW CLR2&ANIM



# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

- Ángulo de las alas con relación al fuselaje.

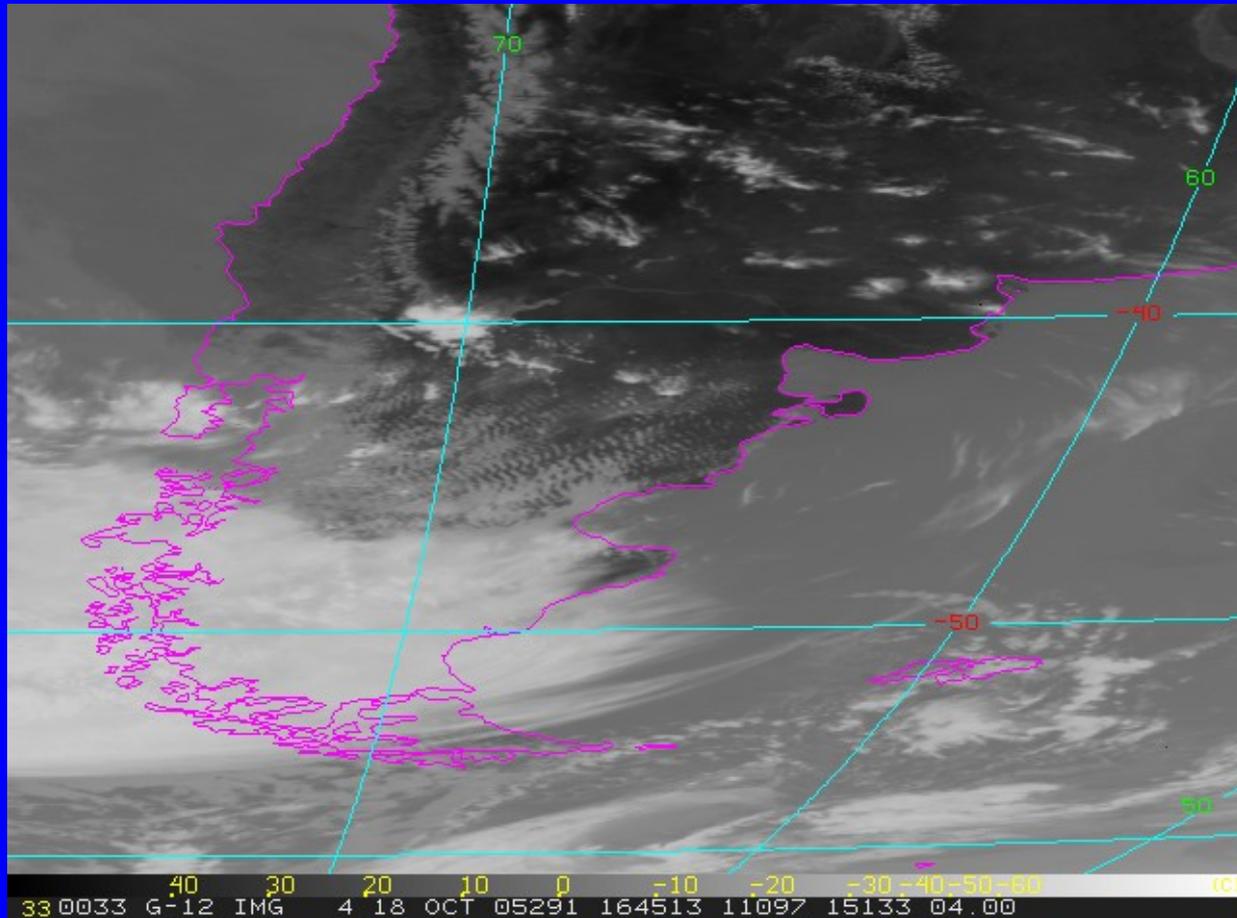


- Configuración “Delta” menos susceptible.



# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

- Que la aeronave esta ascendiendo, o descendiendo, por un área de turbulencia.



# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

- Directamente proporcional a la velocidad de la aeronave
  - Mientras mas rápido un avión ingrese un área de turbulencia, con mayor intensidad se va a sentir la turbulencia.
- Inversamente proporcional al peso de la aeronave
  - Mientras mas pesada sea la aeronave, menor va a ser la turbulencia sentida.
- Directamente proporcional al largo de las alas.
  - Mientras mas largas sean las alas, mayor va a ser el impacto que la turbulencia va a tener en la aeronave.

# Factores que Contribuyen a la Turbulencia

- Airbus 380, su peso lo protege de la turbulencia, pero el largo de las alas lo puede hacer susceptible.



# Turbulencia

- Factores que causan turbulencia no son constantes sino que varían o “pulsan”.
  - Una aeronave puede reportar turbulencia, mientras que otra bajo similares circunstancias no la reporta.
- Turbulencia no es simplemente una incomodidad para los pasajeros, puede causar daños estructurales a una aeronave en vuelo.
  - B-52 en los 60’s, con bombas nucleares, en Maryland.
  - Heridas y muertes han sido reportado cuando aviones violentamente sacudidos en turbulencia extrema.



Cola de Buzz One  
Four, 1964

# Impacto de Turbulencia



# Categorías de Aeronaves

Table 2-5. Aircraft turbulence category type.

Military Aircraft Turbulence Categories	
Aircraft Type	Turbulence Category
OH-58 UH-1 AH-1 T-41 T-51	I
AH-64 B-52H C-37 C-130 C-141 C-20 C-12 C-5A/B C-9A/C C-37 C-141 CC18-180 CH-47 CT-43A DA-20 E-3B E-4B F-15 F-16 KC-135 RAH- 66T-1A T-6 T-38 T-43A TG-10 U-25 U-21 UH-72a H-3 H-69 V-22	II
A-10 C-17A C-21A C-32A/B EA-6B F-117A F-14 F-18 KC-10 M/RQ-1A (see note 2) RQ-4A T-37 U-2 UV-18A/B UV-20	III
B-1B B-2A (see note 1) F-22 (see note 1) MQ-9	IV
Civilian Aircraft Turbulence Categories	
Aircraft Type	Turbulence Category
C-150 C-172 C-175 C-182 C-185 PA-38 PAY-3	I
A-319 A-320 A-321 A-300 A-340 (200 - 300) A-340 (500-600) B-200 B-350 B-727 B-737 (600 - 900) B-747 B-777 BE-20 C-208 C-310 C-402 C-414A C-421 CD-8 CL-600 CRJ DC-8 (Super 62) DC-10 G-520 Gulfstream IV & V L-13 L-23 MD-80 PA-18	II
B-737-200 B-757 B-767 DC-8 (Super 63) DHC-6 E-145 JS-41 LJ-25 LJ-35 LJ-55 LJ-60 MD-11	III
<p>Note 1: Turbulence categories for aircraft with auto gust alleviation systems may not be accurately depicted by the above table.</p> <p>Note 2: M/RQ-1 is a default CAT III in strong wind and mountain wave environments, but should be considered CAT I in proximity to strong wind directional shear or operating near the LCL.</p> <p>General Note: An aircraft's weight, airspeed, and/or altitude may change its turbulence category from its default value.</p>	

Pronósticos para aeronaves categoría II

AFWA TN 98-002, Feb 2012



# Factores que Acentúan la Probabilidad de Turbulencia

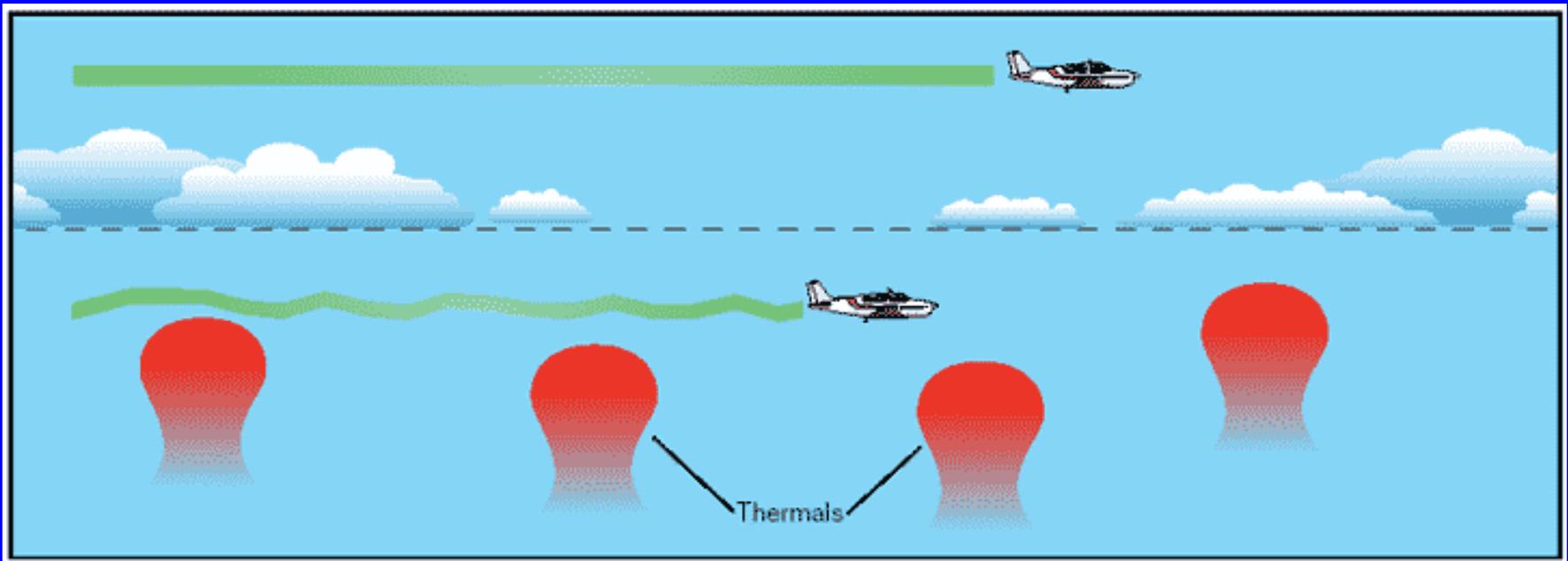
- Jet/Corriente en Chorro en Altura
- Gradiente de Temperatura
  - Horizontal
  - Vertical
- Cortante
  - Horizontal
  - Vertical
- Ondas de Gravedad
- Terreno Montañoso

# Tipos de Turbulencia

# Tipos de Turbulencia

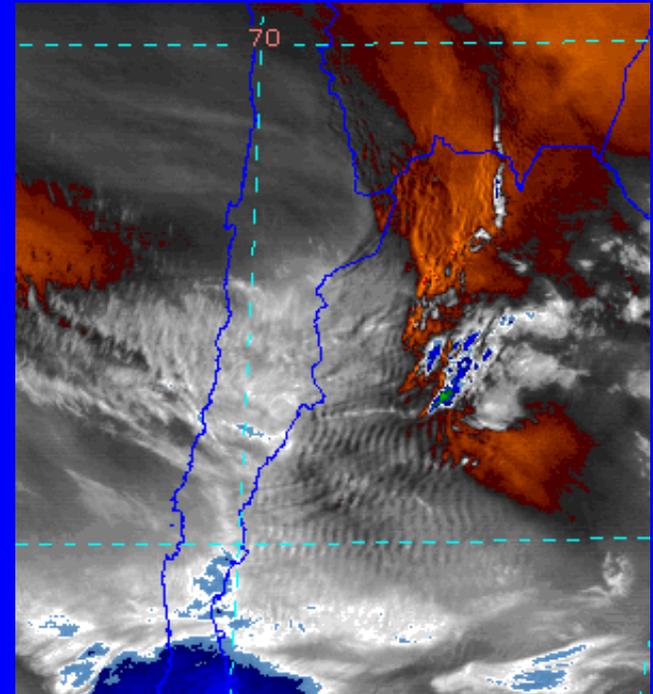
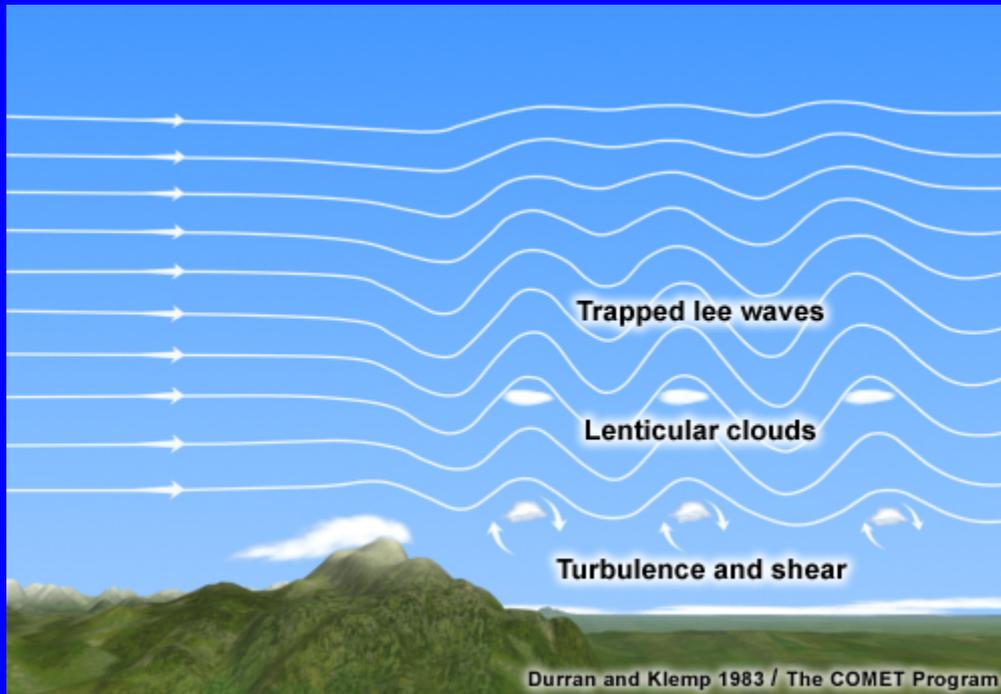
- **Termal:** Se asocia al calentamiento desigual de la superficie de la Tierra
  - Generalmente observado tarde en la mañana y durante la tarde.
  - Atmósfera baja.
  - Mayor impacto en **despegue/aterrizaje**.
  - Si hay Cu, hay corrientes convectivas y turbulencia
  - Mas intensa sobre terreno obscuro
- **Mecánica:** Se asocia a cortantes/cizalla del viento “wind shear” vertical/horizontal debido a gradientes de presión, variaciones en el terreno y frentes.
  - El resultado es una cortante/cizalla vertical y horizontal.

# Tipos de Turbulencia: Termal



Calentamiento desigual del terreno genera regiones de ascenso de aire. Dependiendo del tipo de terreno, color y vegetación, los ascensos pueden ser abruptos.

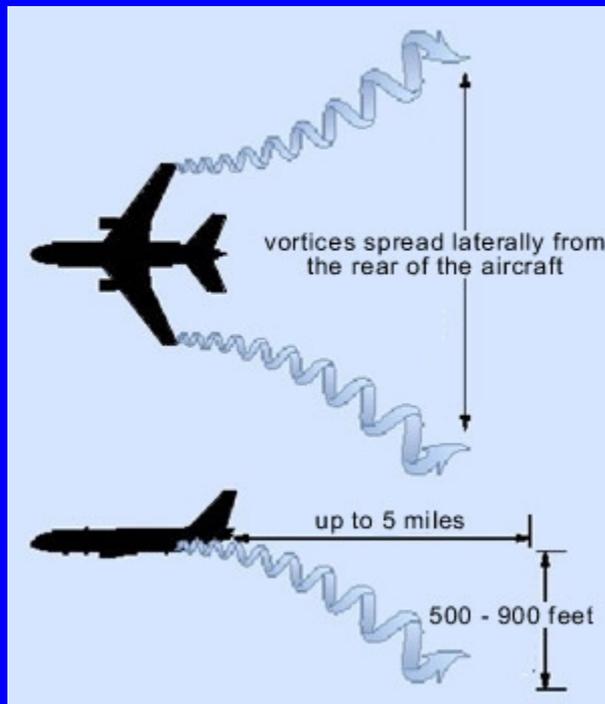
# Tipos de Turbulencia: Mecánica



Viento perpendicular a terreno montañoso resulta en regiones de ascenso/descenso mecánico, y por conservación de vorticidad potencial, la generación de ondas del lado de sotavento..

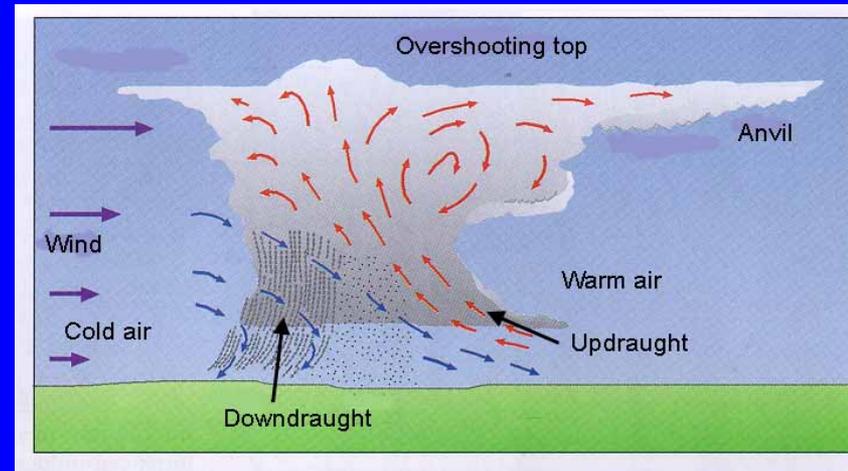
# Turbulencia de Estelas/”Wake”

- Mecánicamente inducida, se genera/propaga a un intervalo dado, y es basada en el peso/tipo de aeronave.
  - Controladores aéreos toman esto en consideración cuando determinan distancia a seguir entre aeronaves.



# Turbulencia Convectiva

- Causada por:
  - Corrientes verticales dentro y cerca de nubes convectivas
  - Torre cúmulos que generan ondas de gravedad
  - Termas secos (aire ascendente no saturado)
  - Rachas descendentes



# Turbulencia de Aire Claro (CAT)

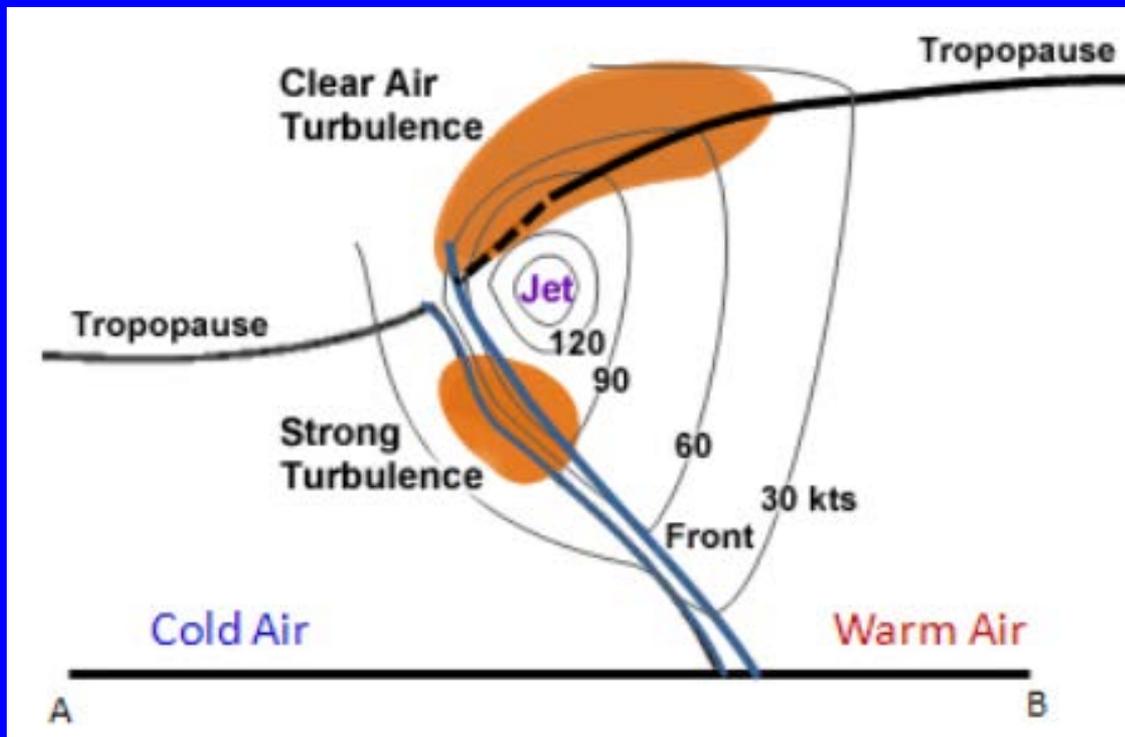
- Turbulencia no asociada a actividad convectiva **observada.**
  - Observada en aire claro y/o en nubes no convectivas
- Incluye turbulencia de niveles superiores que se asocian al Jet y a frentes en altura.
  - Áreas de ciclogénesis cerca del jet y al sur de la región de formación.
    - Moderada cuando la baja se profundiza a  $<1$ mb/hr
    - Severa cuando la baja se profundiza a  $>1$ mb/hr

# Turbulencia de Aire Claro (CAT)

- Tres condiciones que típicamente se asocian a condiciones de turbulencia de aire claro:
  - Cortante en la vertical
  - Deformación Horizontal
  - Convergencia Horizontal
- Índices de Turbulencia toman en consideración estos parámetros para sus proyecciones de turbulencia.

# Turbulencia con el Jet

- En la tropopausa sobre el jet.
- En el frente bajo el jet
- Regiones de baja presión delante del jet.



# Áreas de Turbulencia

- Áreas de advección termal
- Ciclogénesis
- Cortante de Viento Vertical/Horizontal
- Dorsales/Vaguadas Inclınadas
- Corrientes en Chorro “Jets” Confluentes
- Dorsales/Vaguadas Angostas
- Bajas Cerradas
- Cerca de Montañas
- Divergencia en Altura

# Categorías

# Categorías

- **Ligera**
  - Aeronave experimenta ligeros cambios en altitud y/o actitud
  - Inducida por variaciones en velocidad de 05-14 nudos con movimientos verticales de 5 a 19 pps
- **Moderada**
  - Aeronave experimenta moderados cambios en altitud y/o actitud
  - **Piloto esta en control de la aeronave**
  - Inducida por variaciones en velocidad de 15-24 nudos con movimientos verticales de 20 a 35 pps
- **Severa**
  - Aeronave experimenta abruptos cambios en altitud y/o actitud
  - **Piloto puede, brevemente, perder control**
  - Inducida por variaciones en velocidad  $\geq 25$  nudos con movimientos verticales de 36 a 49 pps
- **Extrema**
  - Aeronave sacudida violentamente
  - **Prácticamente imposible de controlar**
  - Inducida por variaciones en velocidad  $\geq 25$  nudos con movimientos verticales  $\geq 50$  pps

# Impacto

- Aeronaves que encuentran turbulencia severa o extrema en vuelo:
  - Quedan fuera de servicio hasta que sean inspeccionadas por daños estructurales
  - Costándole tiempo y dinero a la empresa

# Categorías

- **Ligera**
  - Cerca de montañas (Vientos Leves)
  - Dentro o cerca de nubes cumuliforme
  - Cerca de la Tropopausa
  - En capas bajas en terreno rugoso donde los vientos son mayores de 15Kt

# Categorías

- **Moderada**

- En ondas de montaña a 500 Km en el lado de sotavento cuando los vientos inciden perpendicularmente a las montañas y su intensidad es mayor a 50Kts.
- En ondas de montaña a 250 Km en el lado de sotavento cuando los vientos inciden perpendicularmente a las montañas con vientos de fuerza 25-50Kts.
- En CBs.
- A unos 200 Km. del Jet en el lado frío/polar.
- En niveles bajos en terreno rugoso cuando los vientos exceden 25Kt.
- En terreno plano con ráfagas  $> 50\text{Kt}$ .
- Áreas de Ciclogénesis cuando la baja se profundiza a  $<1\text{mb/hr}$

# Categorías

- Severa

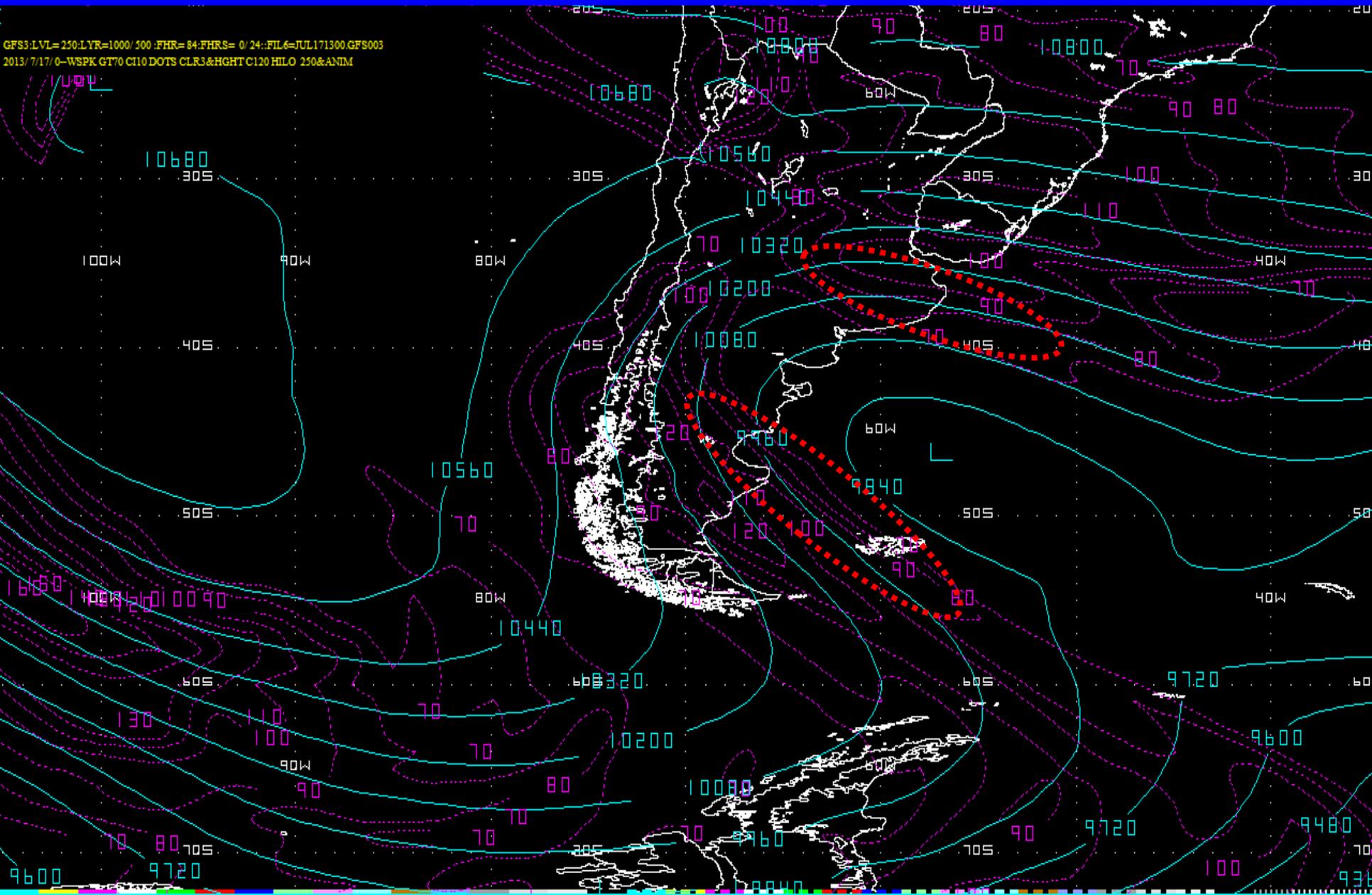
- En ondas de montaña, a 250 Km. en el lado de sotavento cuando los vientos inciden perpendicularmente a las montañas y superiores a 50Kts.
- En ondas de montaña a 100 Km. en el lado de sotavento cuando los vientos son perpendiculares a las montañas y varían entre 25-50Kts.
- Dentro o cerca de Cb's en etapa madura.
- A unos 100-200Km del Jet en el lado frío/polar.
- Área de ciclogénesis cuando la baja se profundiza a  $>1$  mb/hr

# Categorías

- **Extrema**
  - En onda de montaña cerca de la nube rotor
  - En tormenta severas especialmente cerca/  
dentro de una línea de inestabilidad.

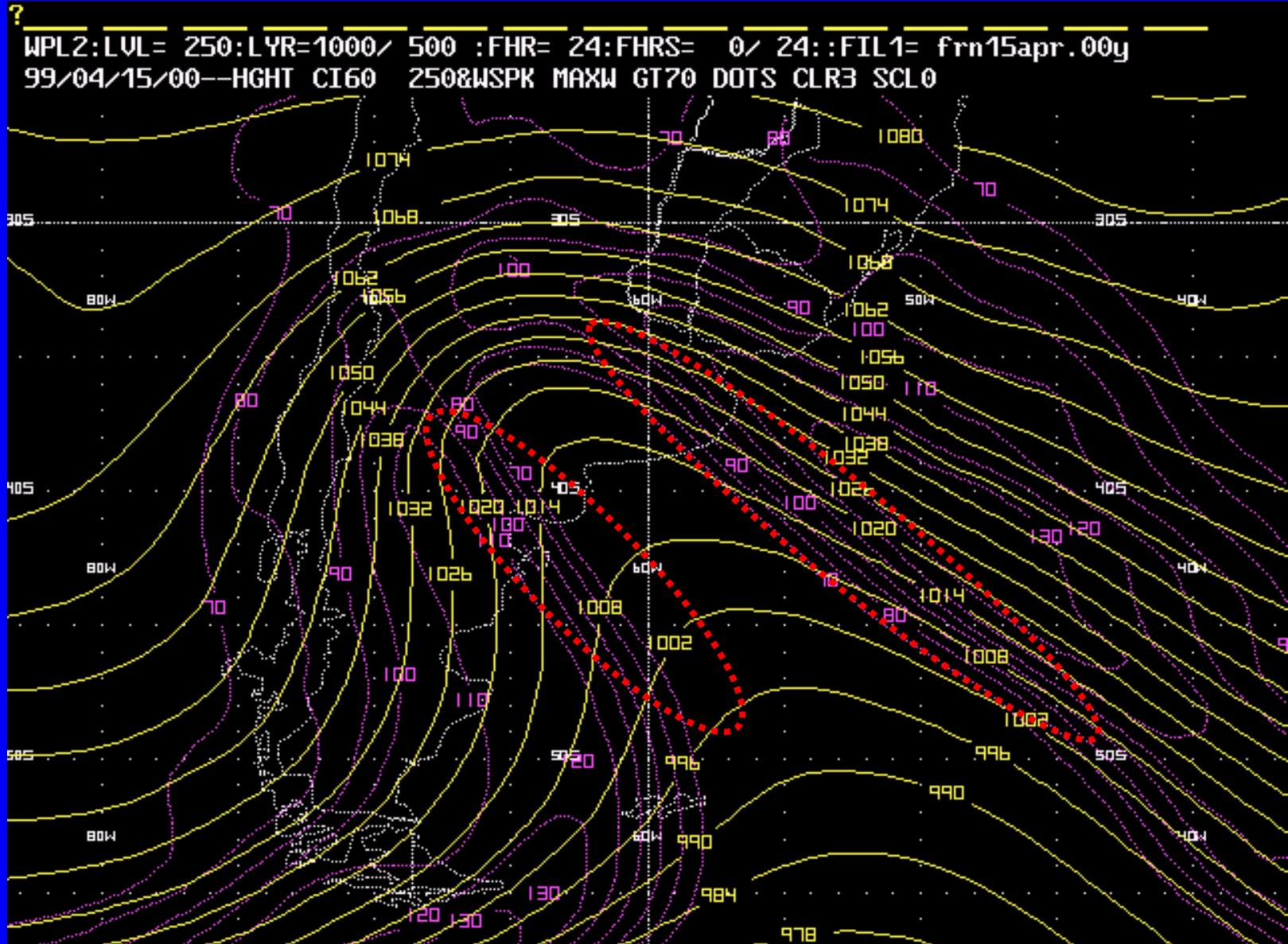
# Ejemplos y Herramientas

# Dorsal y Vaguada

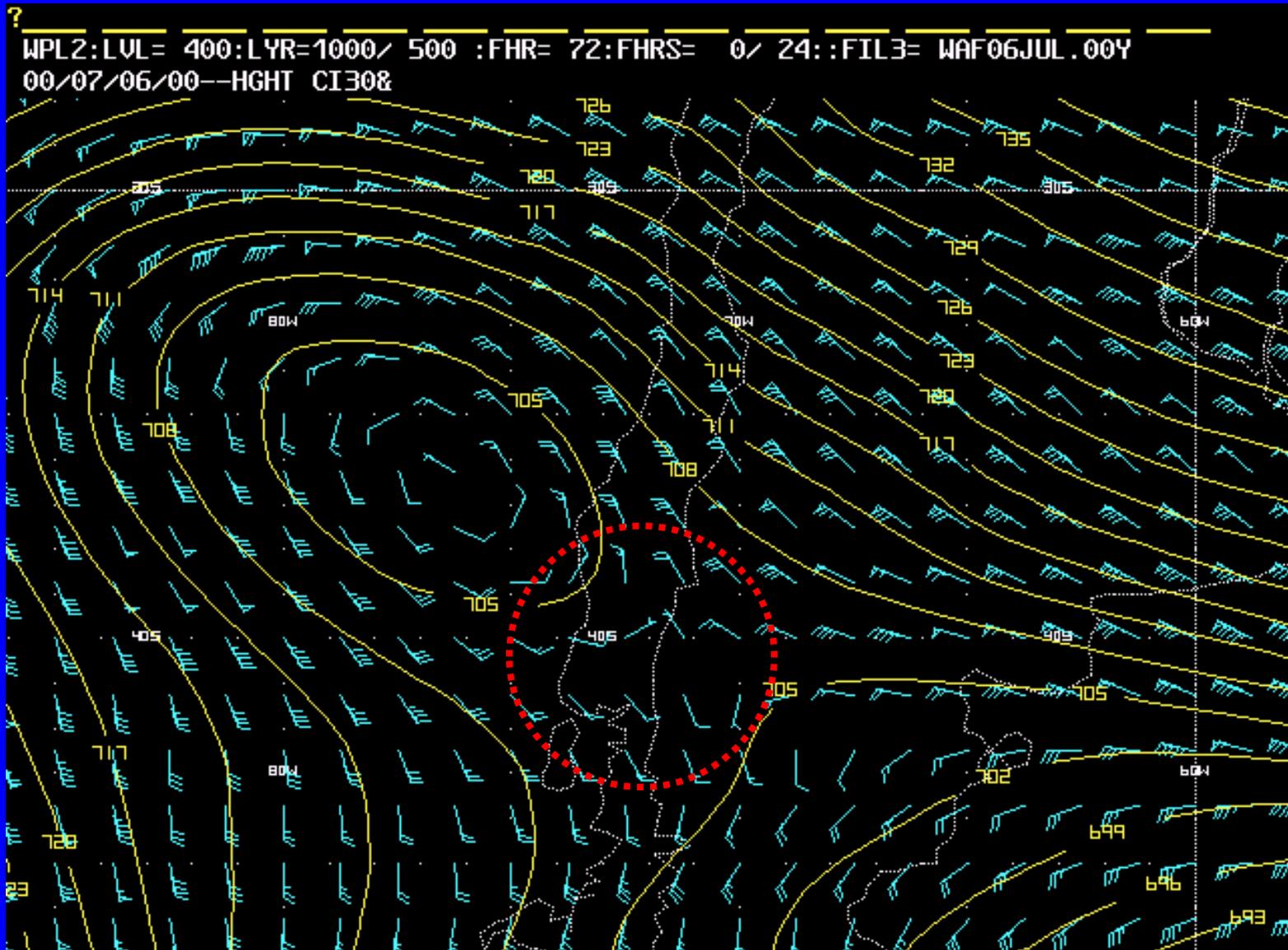


# Vaguada

(Hemisferio Sur)

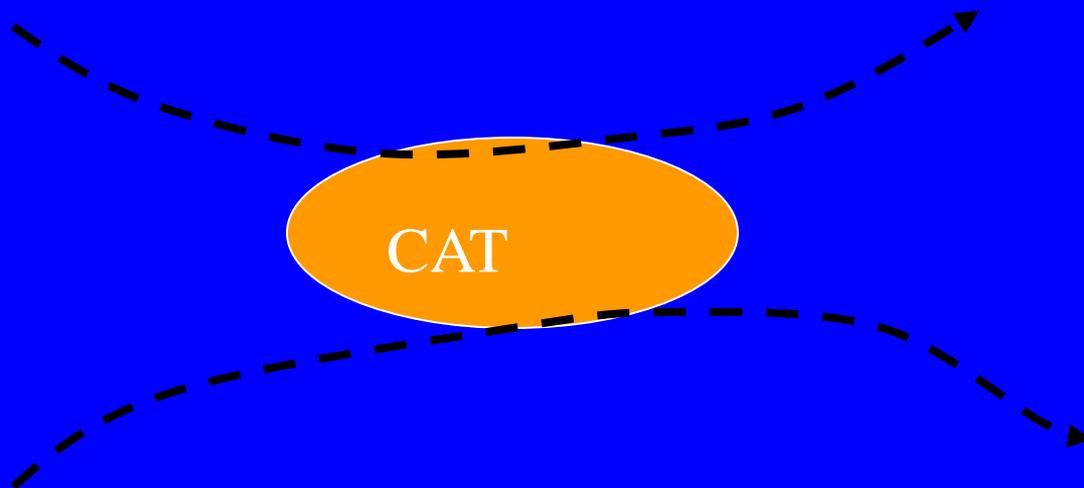


# Baja Cerrada

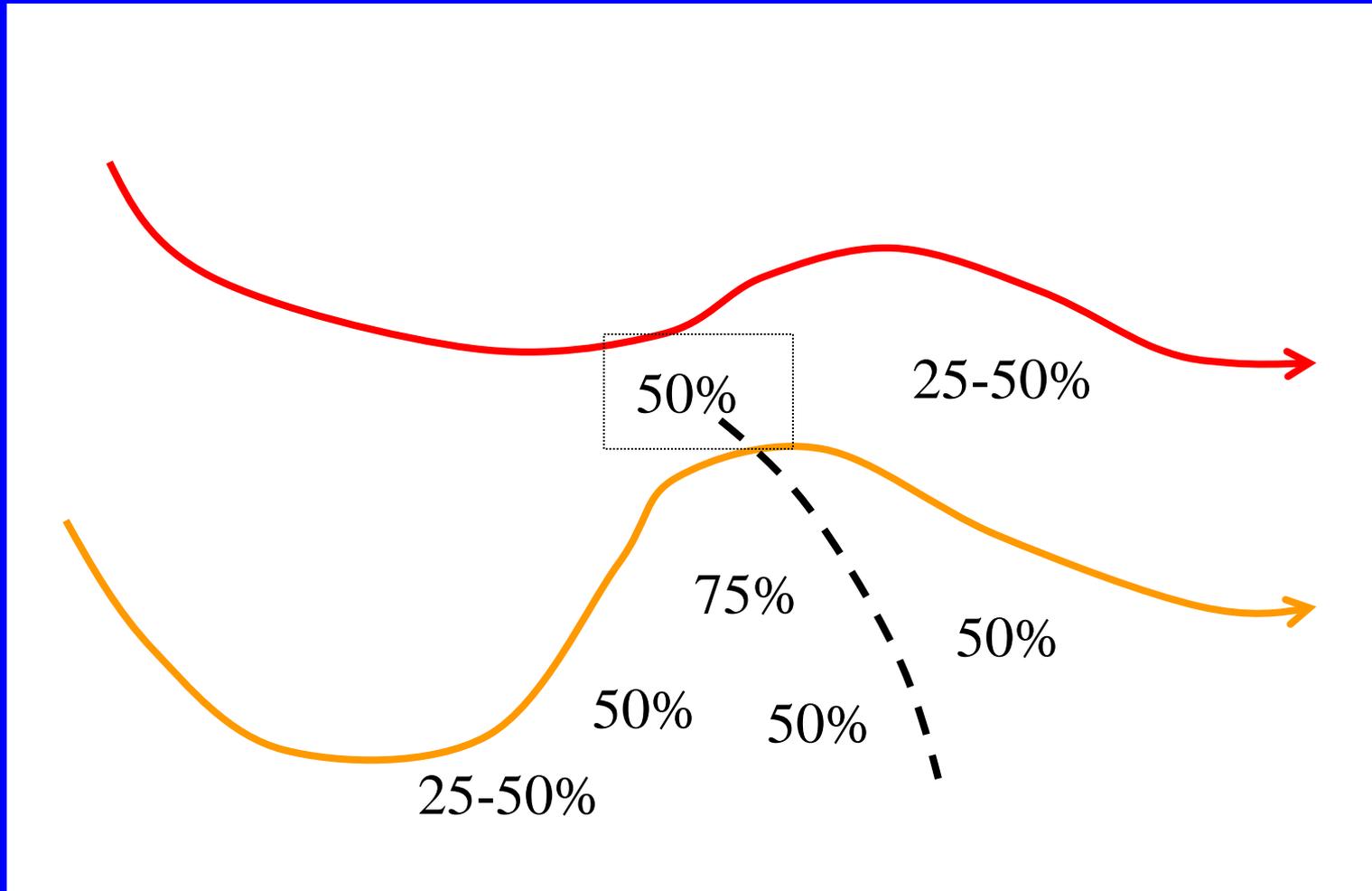


# Jets Confluentes

- Cuando dos Jets confluyen a una distancia menor de 5 grados el jet mas frío se desplaza por debajo del mas cálido creando fuerte cizalla vertical.

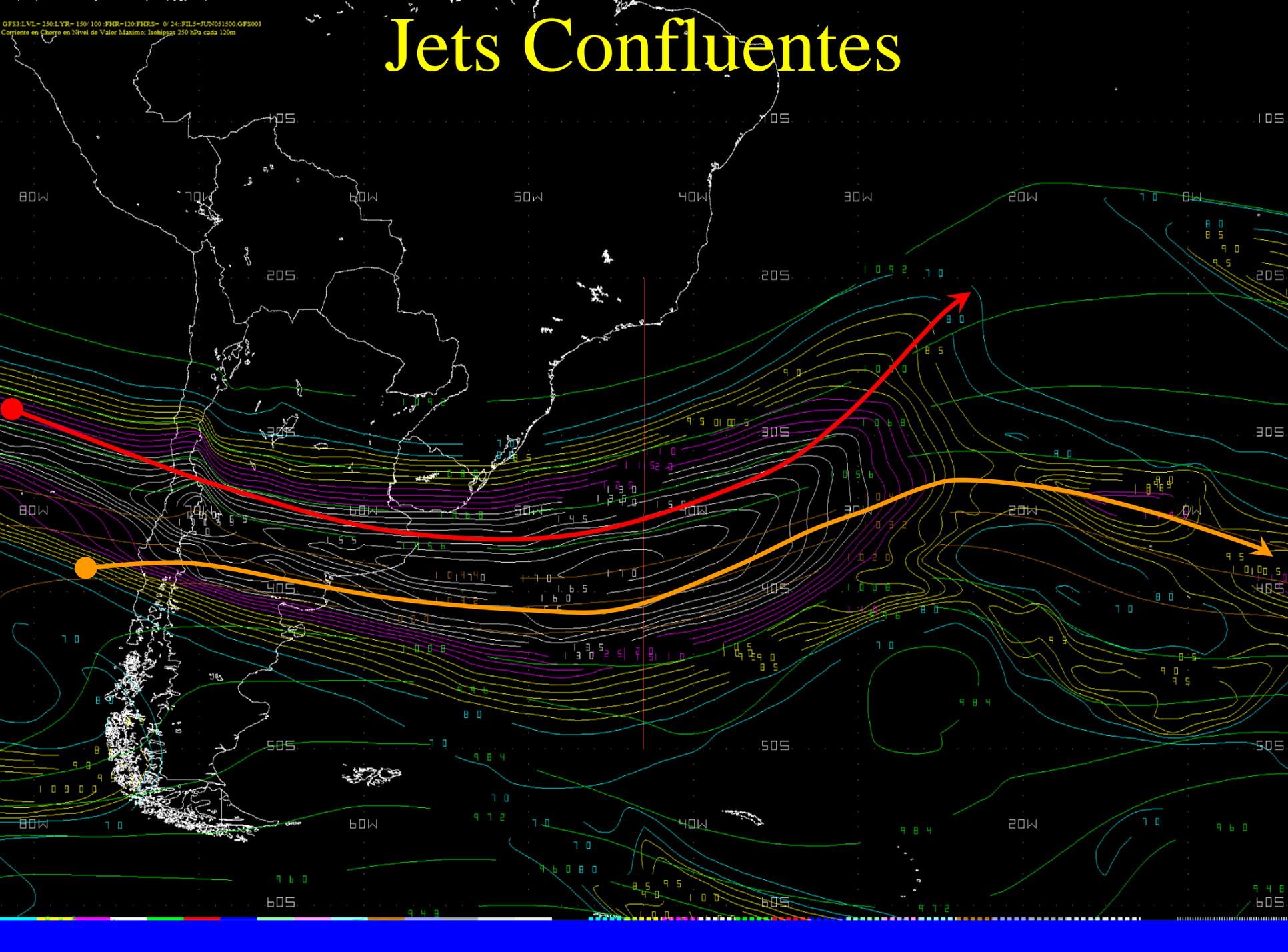


## Turbulencia en Jets Confluentes: Adaptado de United



Mayor riesgo de turbulencia si los Jets están a menos de 500Km o a 5 grados de latitud.

# Jets Confluentes



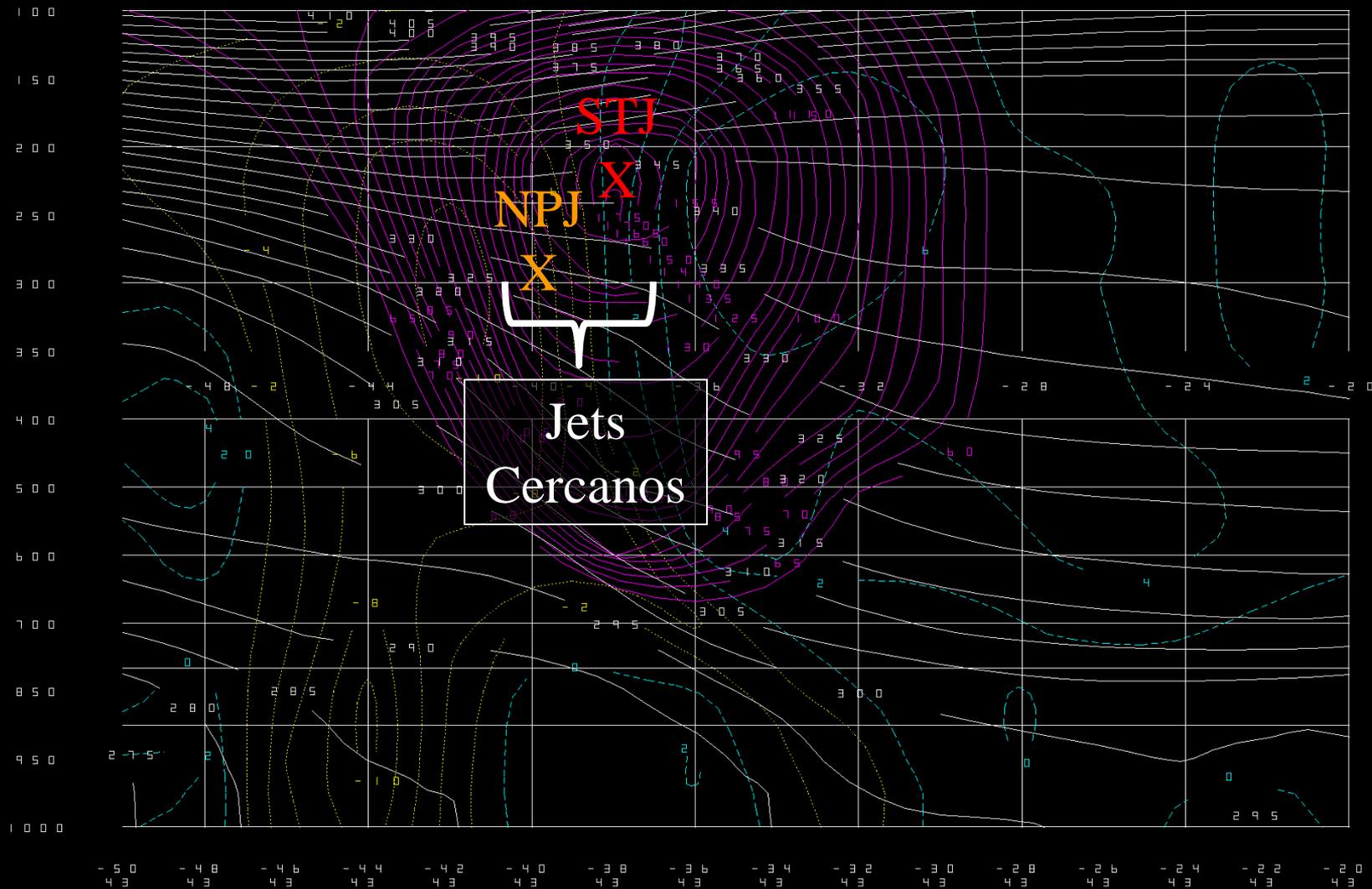




# Jets Confluentes: NPJ bajo STJ

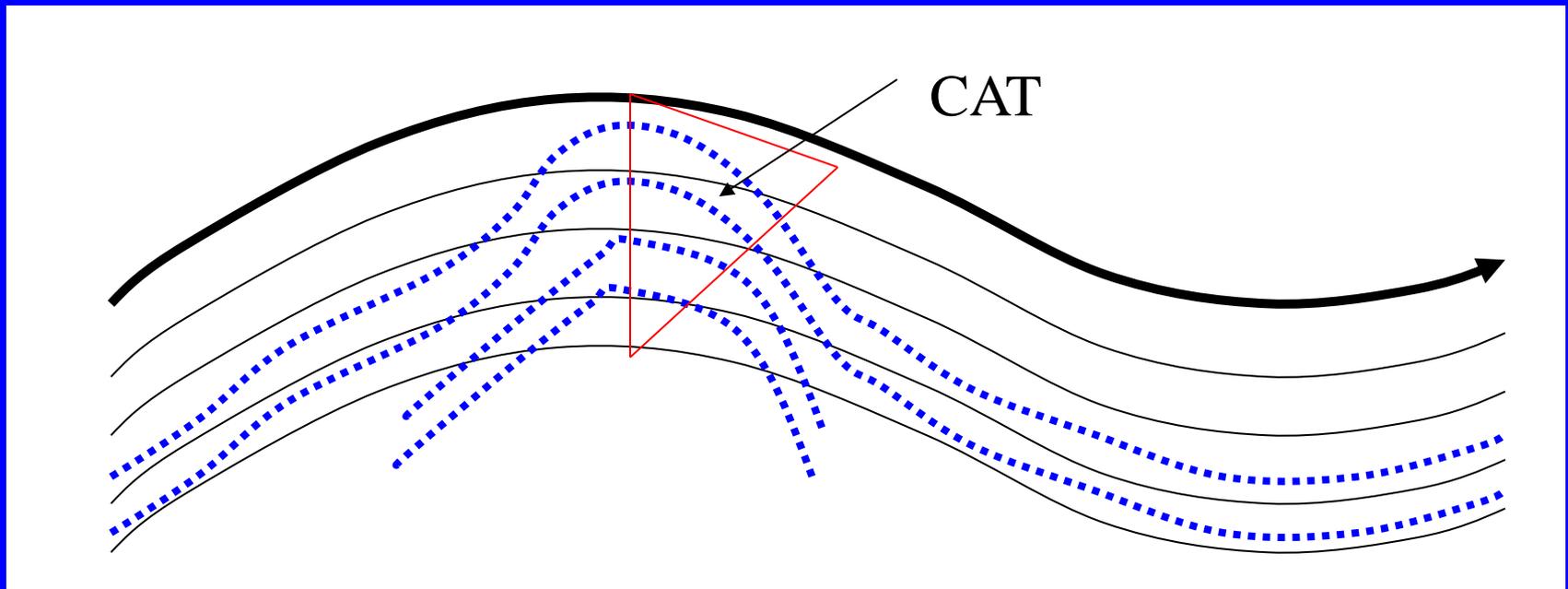
OS/ 43W :FHR=144:FHR5= 0/ 24: FIL5=JUN051500.GFS003  
orte 325-935K, Polar Sur 325-310K

DASH

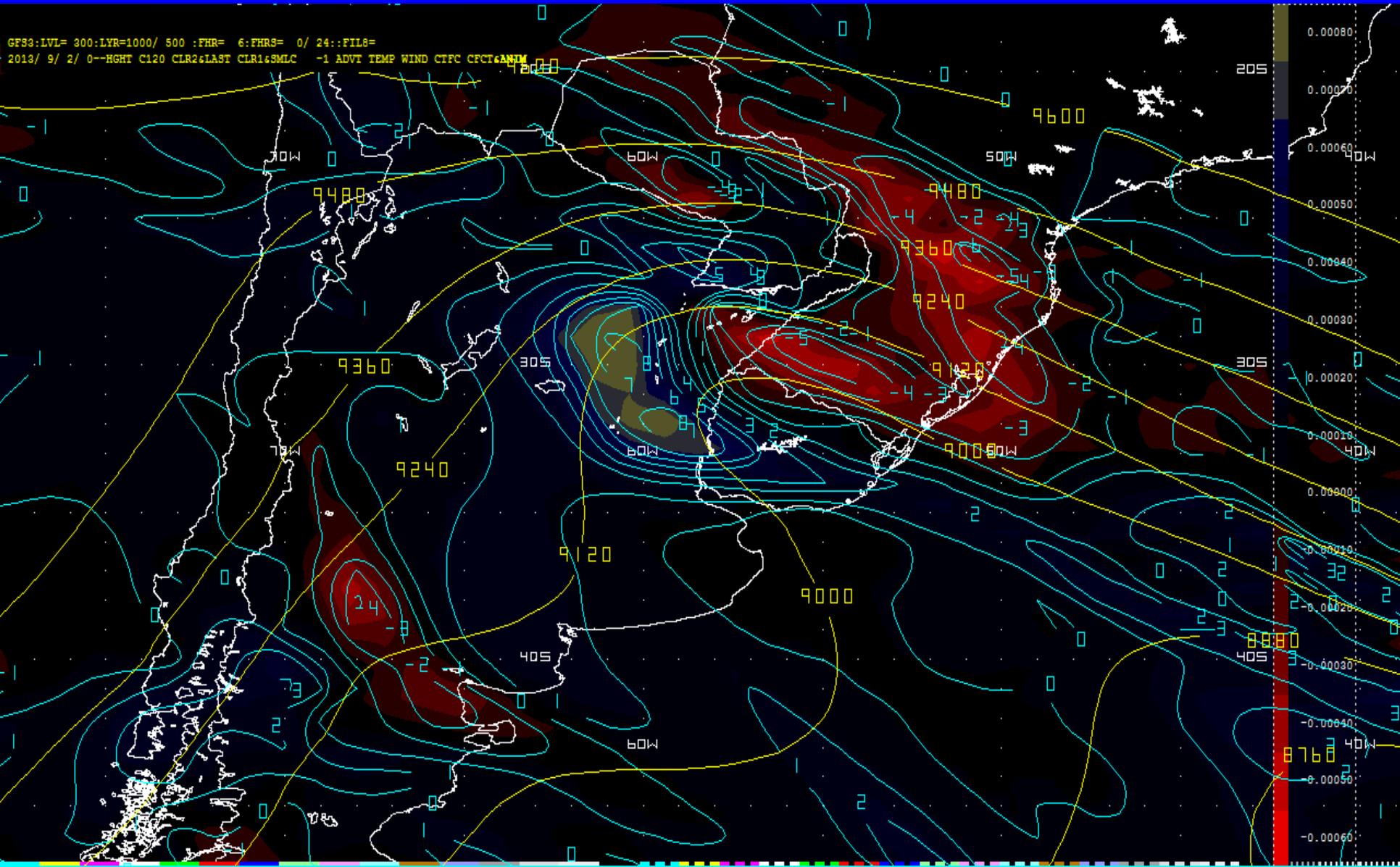


# Advección Fría en Altura

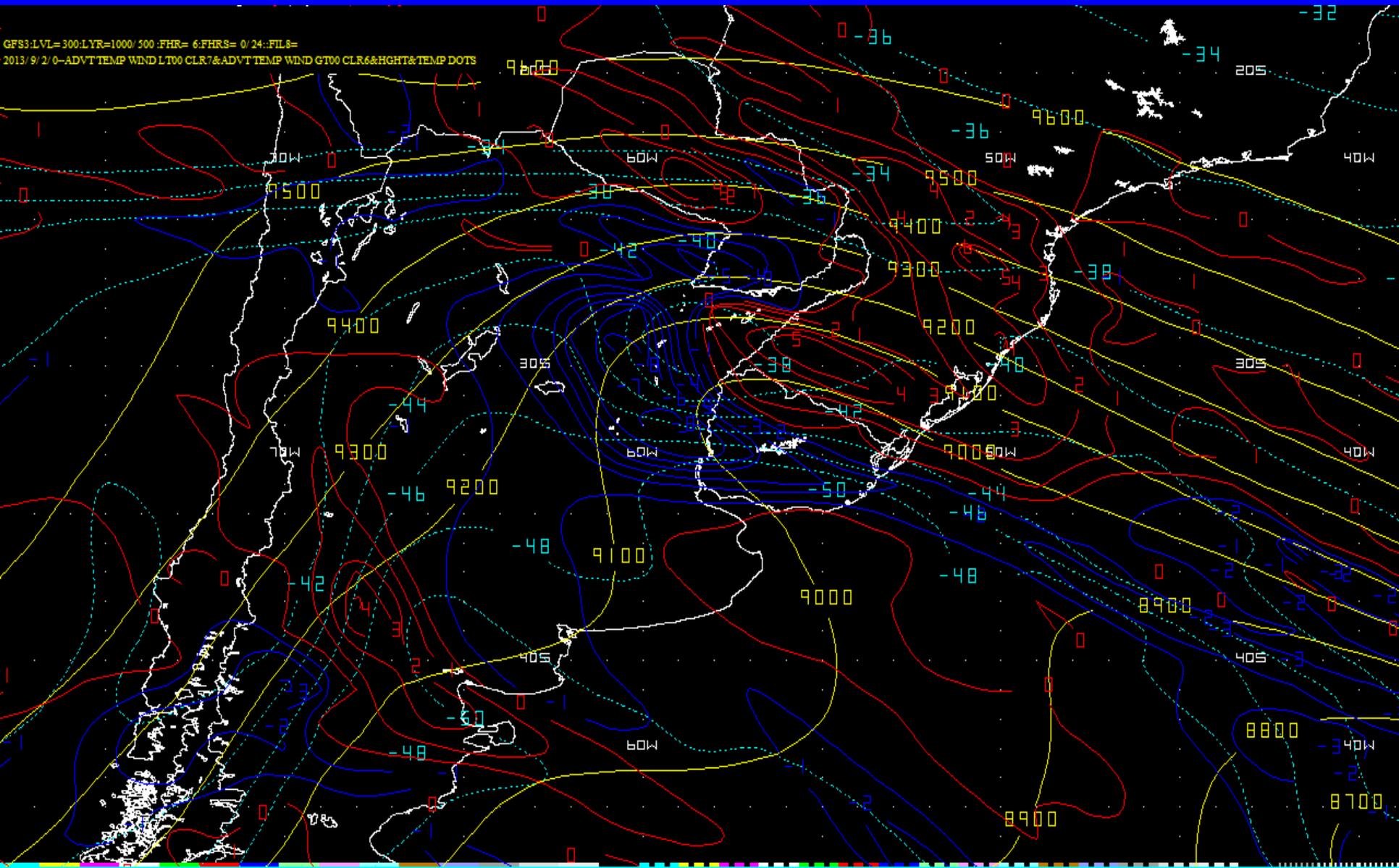
- Mayoría de los eventos CAT se asocian a este tipo de advección.
  - Generalmente núcleo frío en la base de la vaguada



# Advección Fría/Cálida



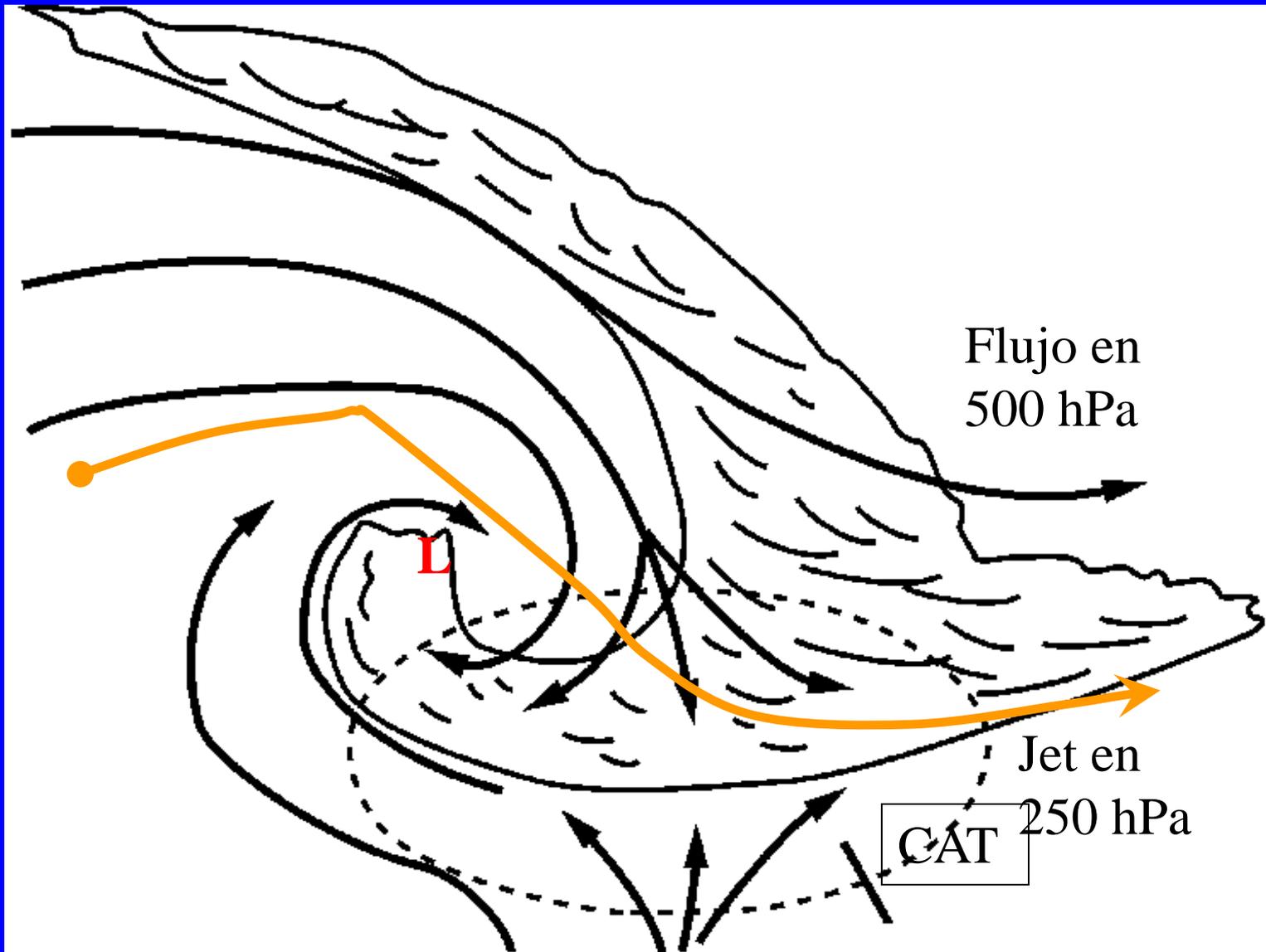
# Advección Fría/Cálida



# Imágenes de Satélite

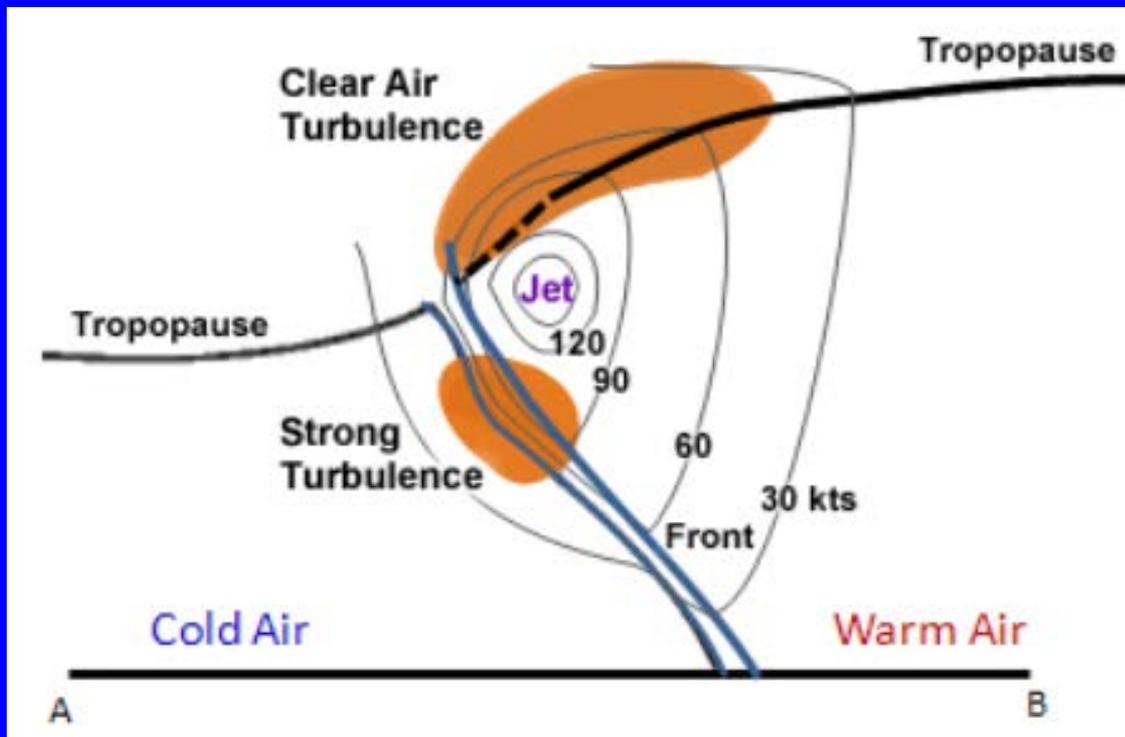
- Bandas transversas
  - Se asocian con el jet Subtropical en latitudes bajas.
- Oscurecimiento de imagen de vapor de agua
  - Advección fría/seca y convergencia en niveles medios/superiores de la atmósfera.
    - Moderada o mas si persiste por mas de tres horas.
- Onda de montaña.

# Herramienta para Evaluar CAT NOAA/NESDIS

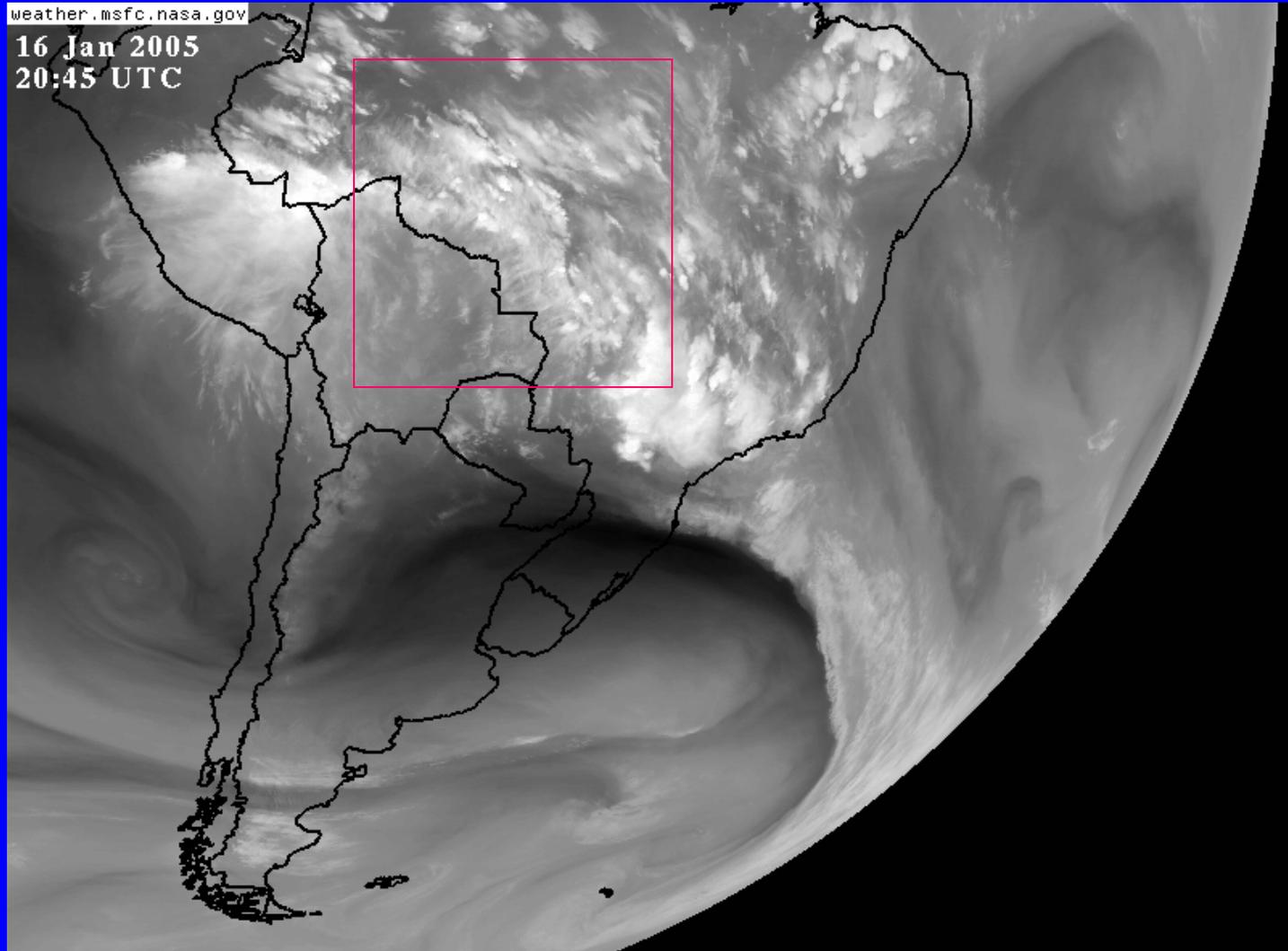


# Turbulencia con el Jet

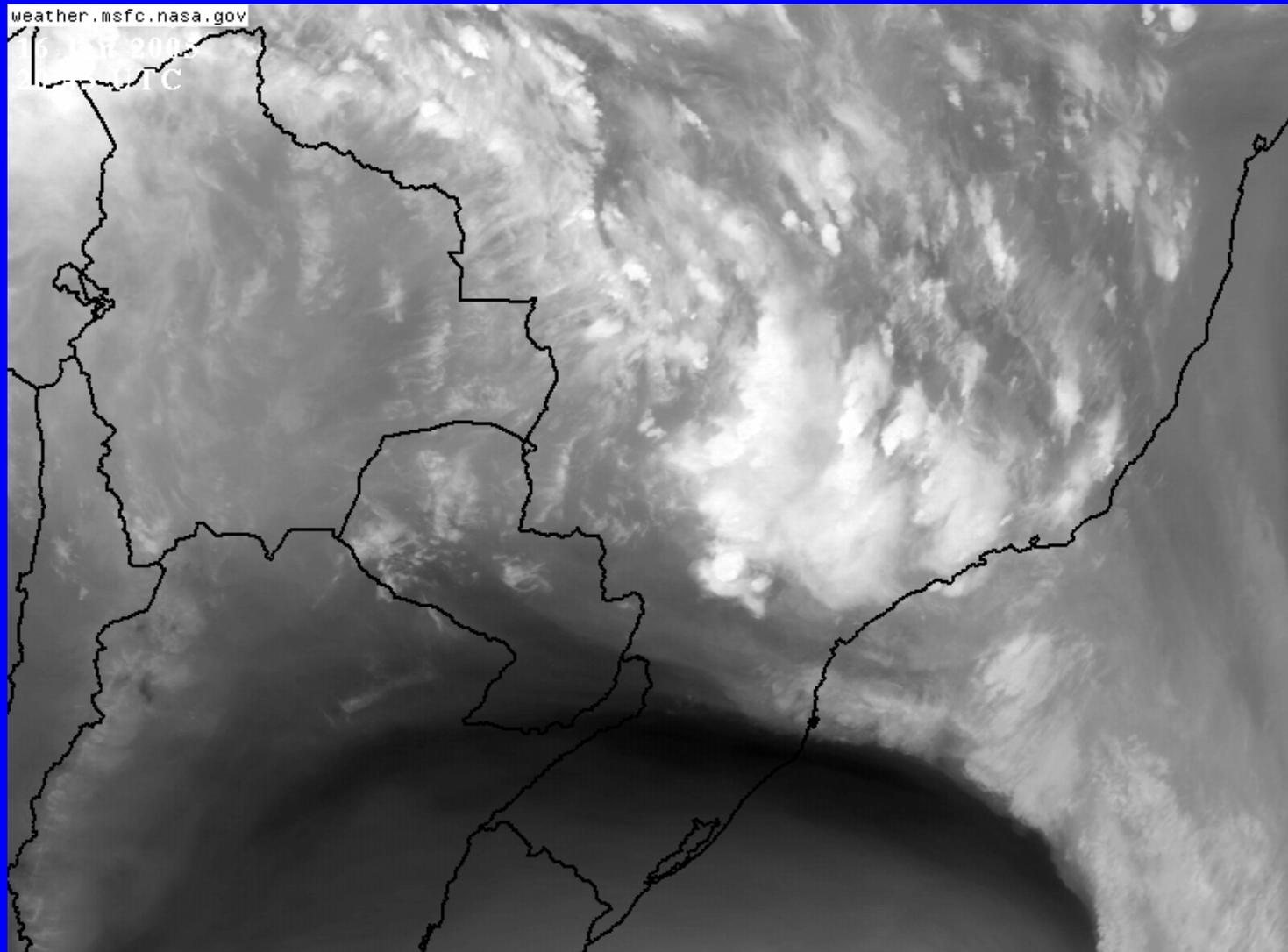
- En la tropopausa sobre el jet.
- En el frente bajo el jet
- Regiones de baja presión delante del jet.



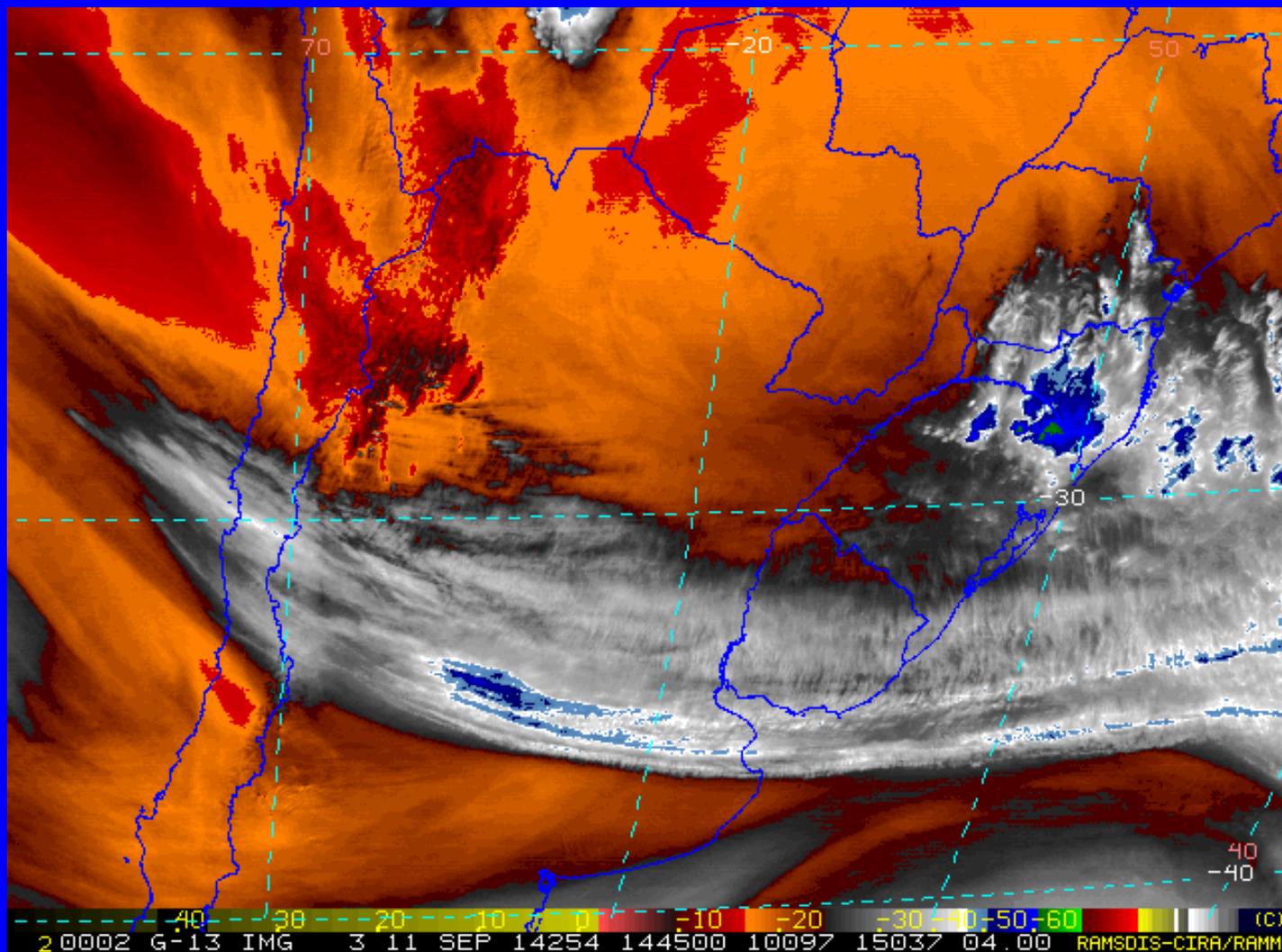
# Secamiento y Bandas Transversas: WV



# Bandas Transversas



# Bandas Transversales y Paso Foehn



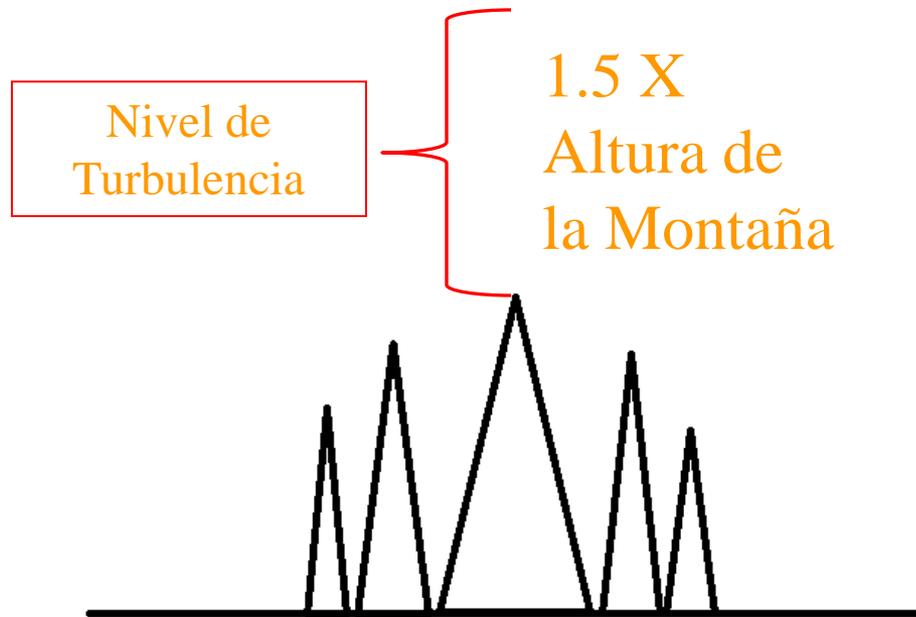
# Turbulencia de Montaña

# Turbulencia de Montaña

- Indicadores
  - Rápidas caídas de presión en el lado de sotavento.
  - Nube de Rotor y/o Lenticular.
    - No siempre presente
  - Fuertes ráfagas/rachas en el lado de sotavento perpendiculares a la cordillera.
    - Viento Zonda probable
  - Arena/tierra son levantados hasta 500 hPa.

# Turbulencia de Montaña

## Niveles de Vuelo



Si montaña mide 4Km, nivel de turbulencia entre 4-10Km MSL

# Turbulencia de Montaña

Base de la Turbulencia= Cima de la montaña  
Tope de la Turbulencia= Cima + 1.5 X Cima

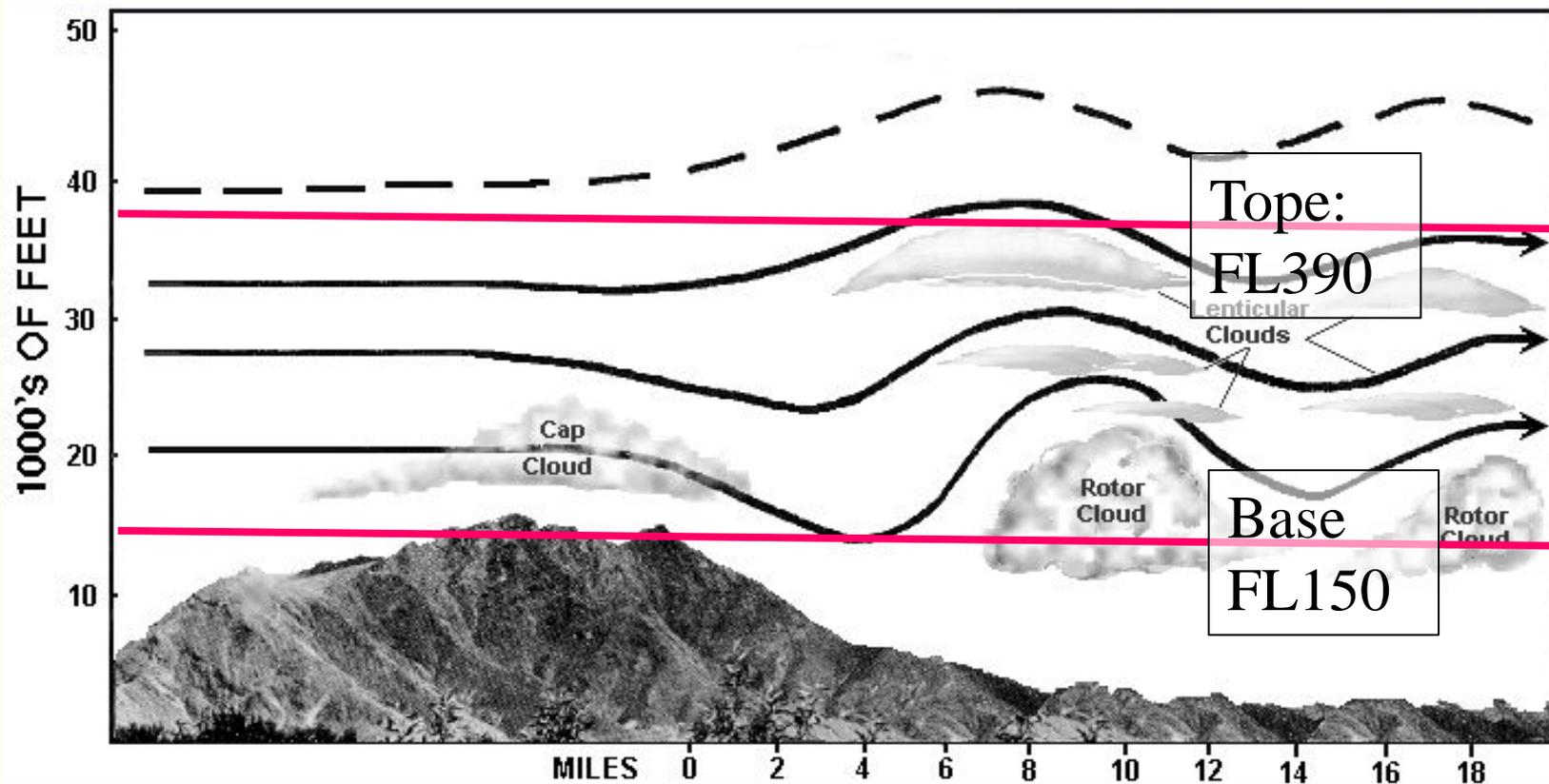
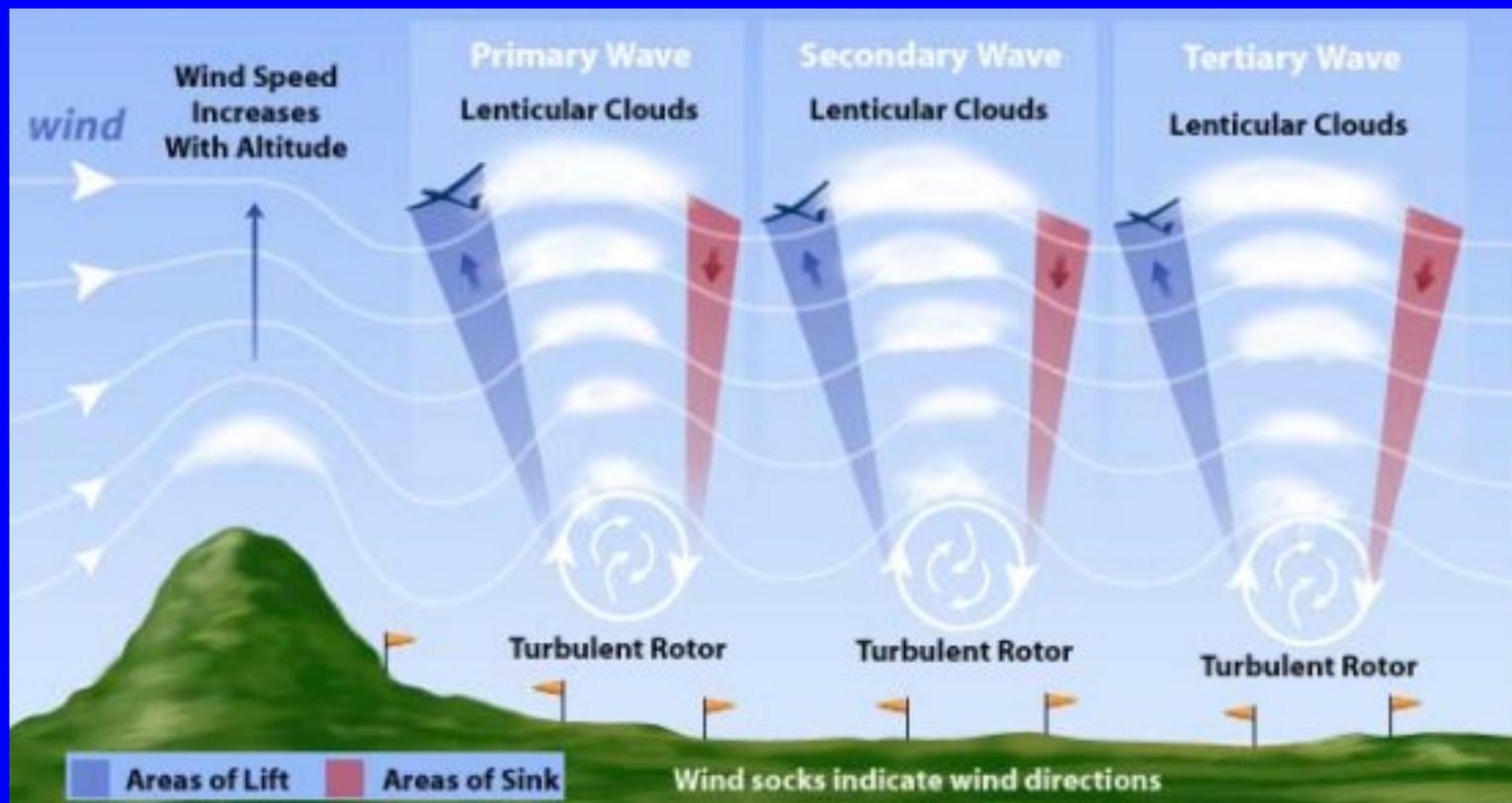
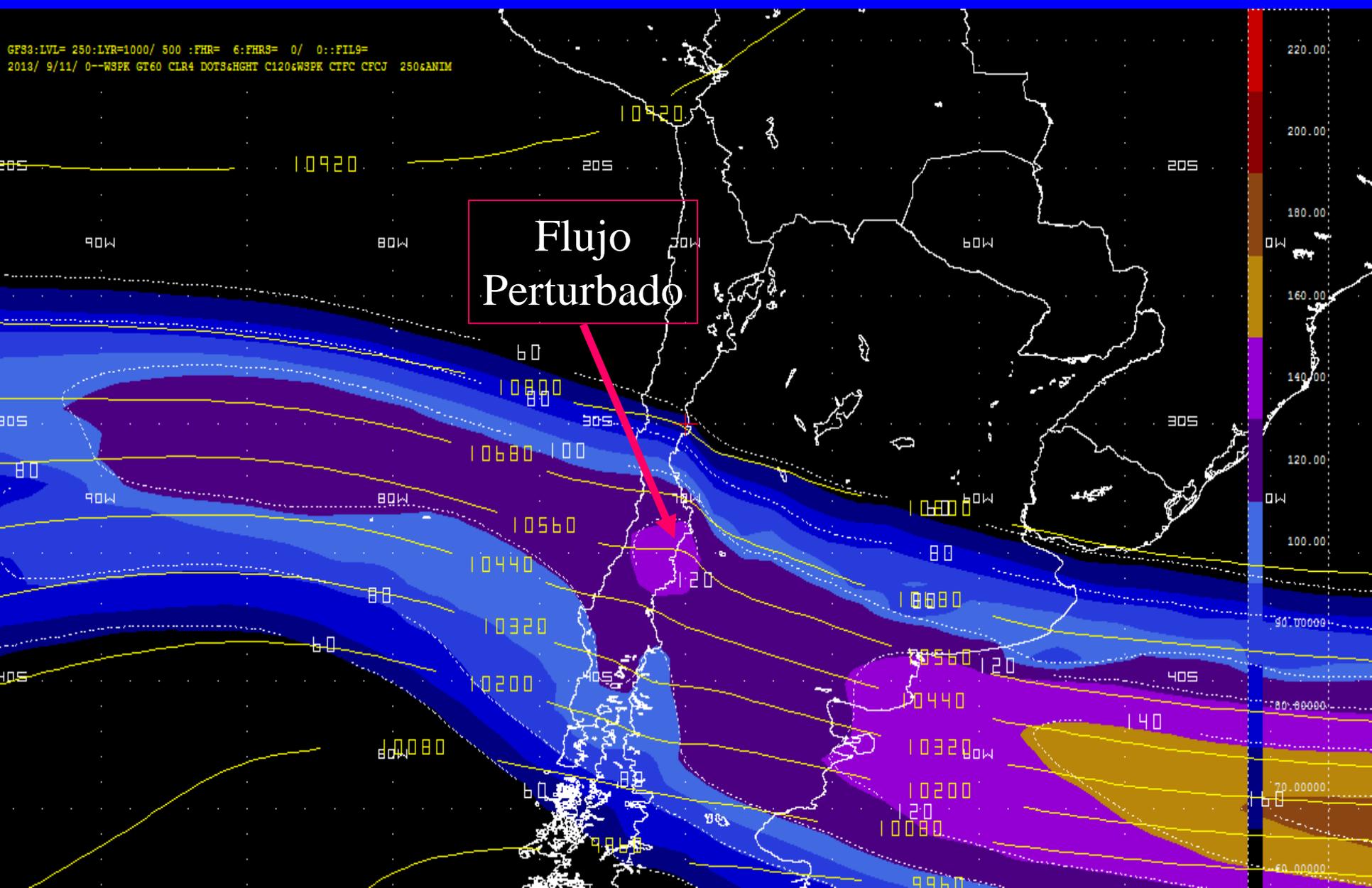


Figure 2-55. Typical Mountain-Wave Pattern and Associated Clouds

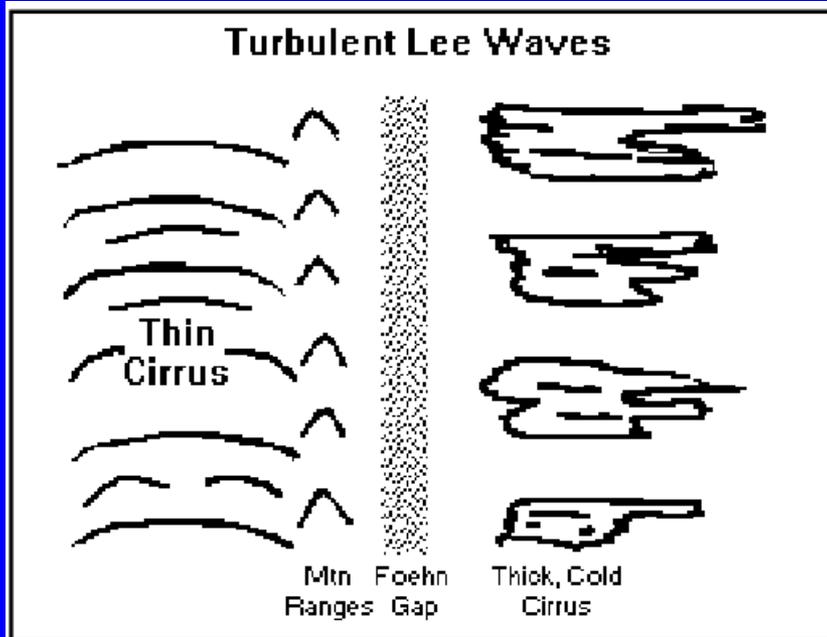
# Turbulencia de Montaña



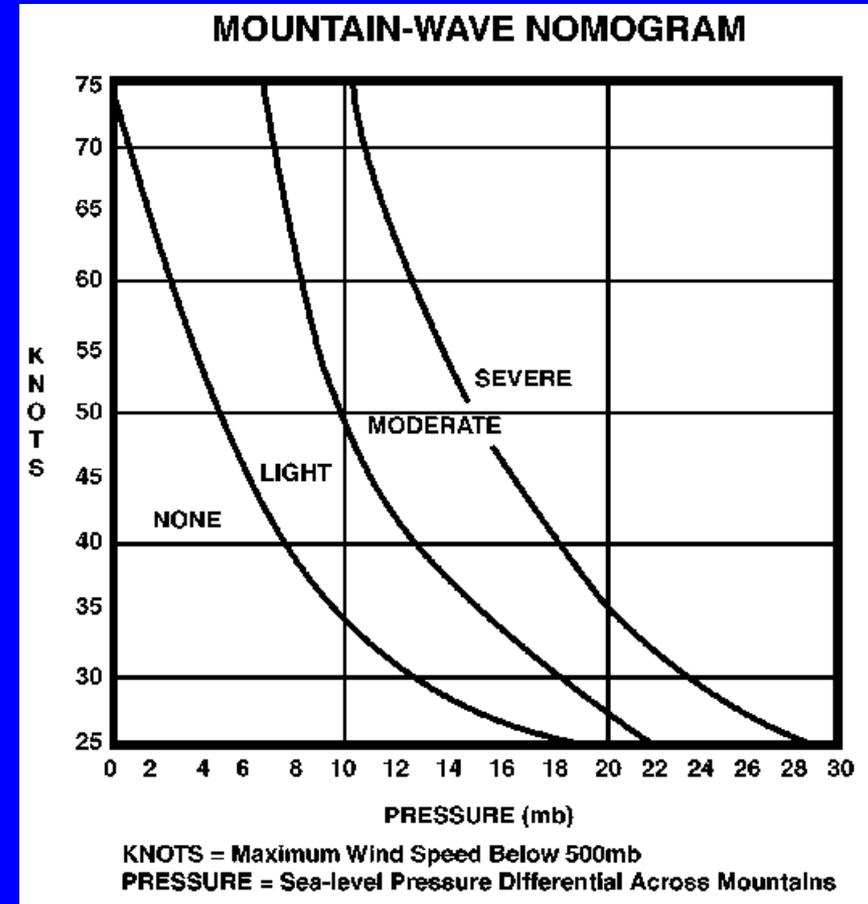
# Turbulencia de Montaña: STJ



# Turbulencia de Montaña



**Figure 2-47a. Mountain-Wave Clouds.** A foehn gap, indicates turbulent lee waves are present.

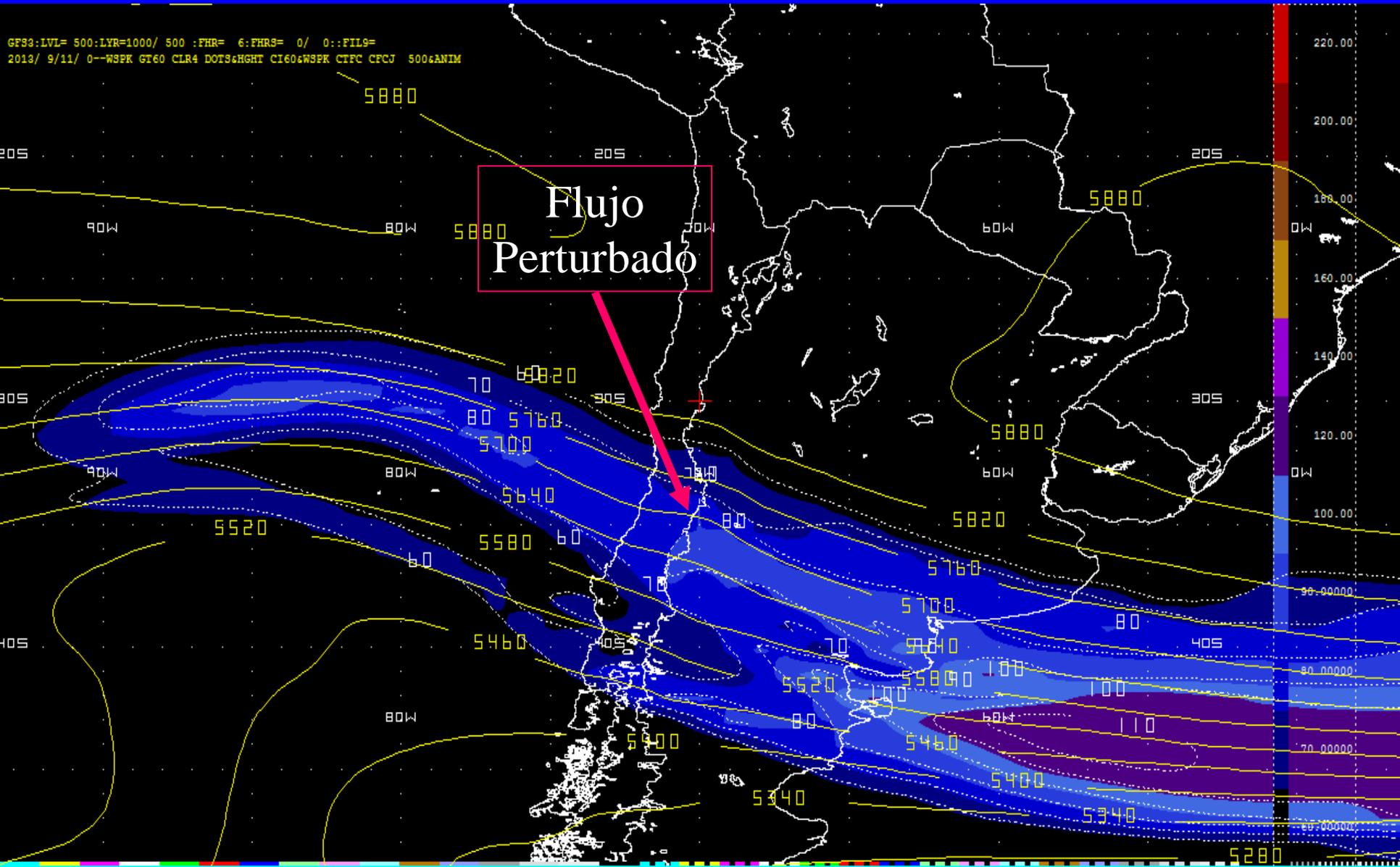


# Turbulencia de Montaña

<b>Low-Level Mountain-Wave Turbulence (Surface To 5,000 Ft Above Ridge Line)</b>			
<b>Low-Level Feature</b> Wind Component Normal to Mountain Range at Mountain Top and > 24 kt and	<b>Turbulence Intensity</b>		
	<b>Light</b>	<b>Moderate</b>	<b>Severe</b>
dP Across Mountain at Surface is	See Figure 2-48	See Figure 2-48	See Figure 2-48
ldTl Across Mountain at 850 mb is	< 6°C	6°C - 9°C	> 9°C
ldT/dXl Along Mountain Range at 850 mb is	<4°C/60 NM	4-6°C/60 NM	>6°C/60 NM
Lee-Side Surface Gusts	< 25 kt	25 - 50 kt	> 50 kt
Winds Below 500 mb > 50 kt	Increase the Turbulence found by one degree of intensity (i.e., Moderate to Severe)		

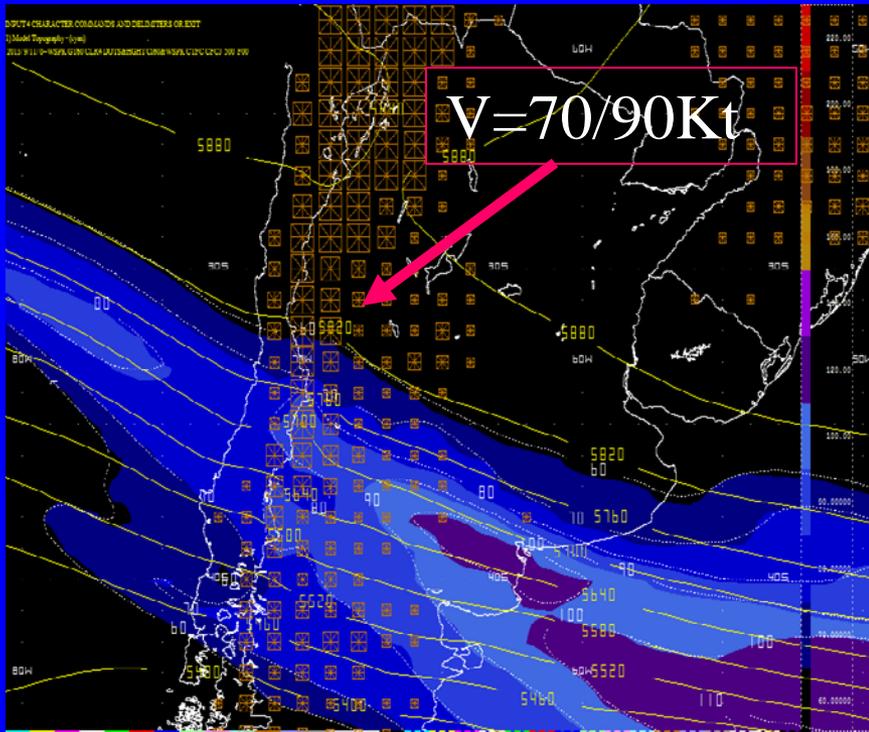
- Notes:**
- (1) dP is the change in surface pressure across the range.
  - (2) ldTl is the absolute value of the 850-mb temperature difference across the range.
  - (3) ldT/dXl is the absolute value of the 850-mb temperature gradient along mountain range.
  - (4) Turbulence category forecast is the worst category obtained from each of the four parameters.

# Turbulencia de Montaña: 500 hPa

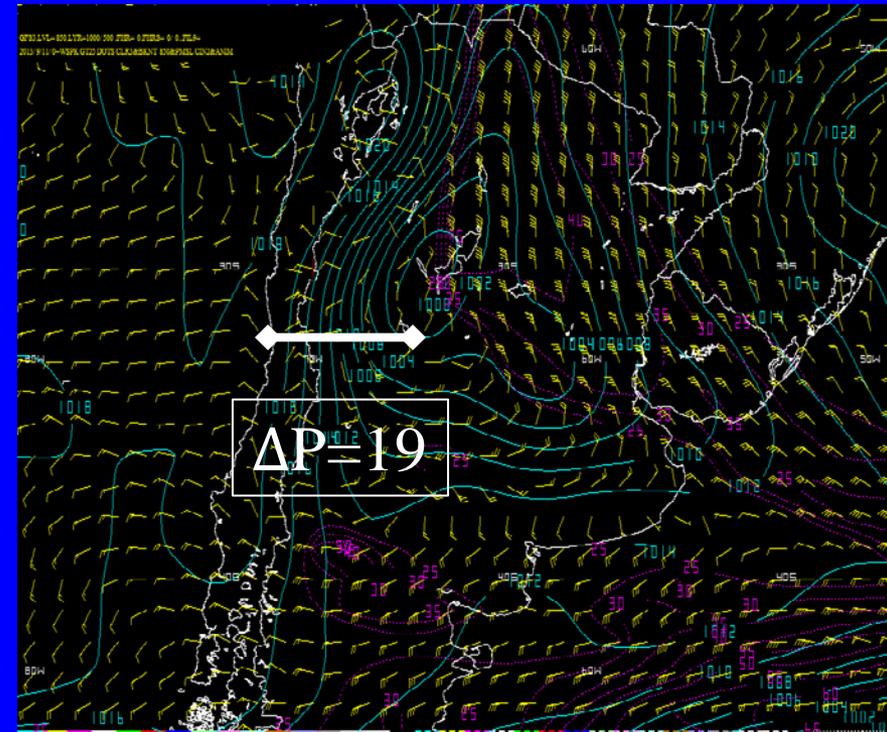




# Turbulencia de Montaña: Zoom



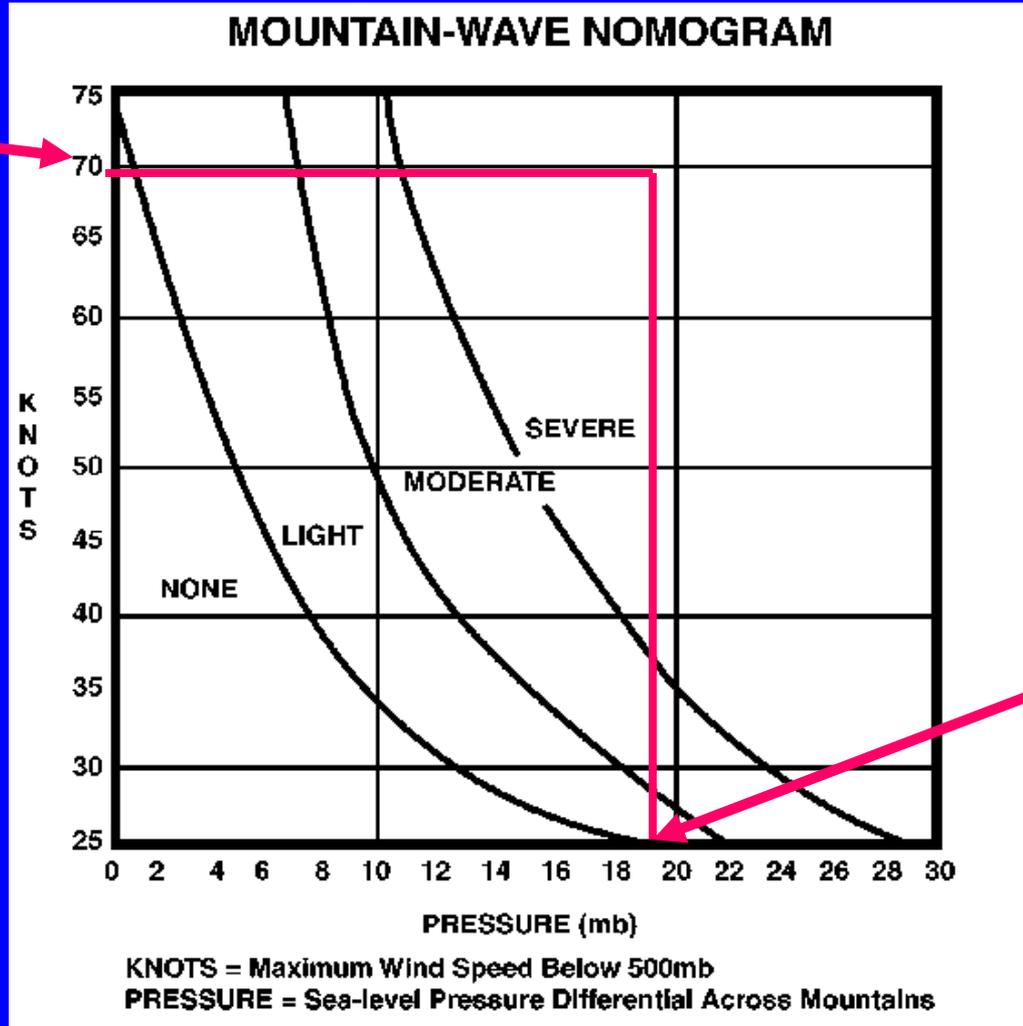
Perturbación Inducida en 500 hPa



PMSL y Vientos en 850 hPa

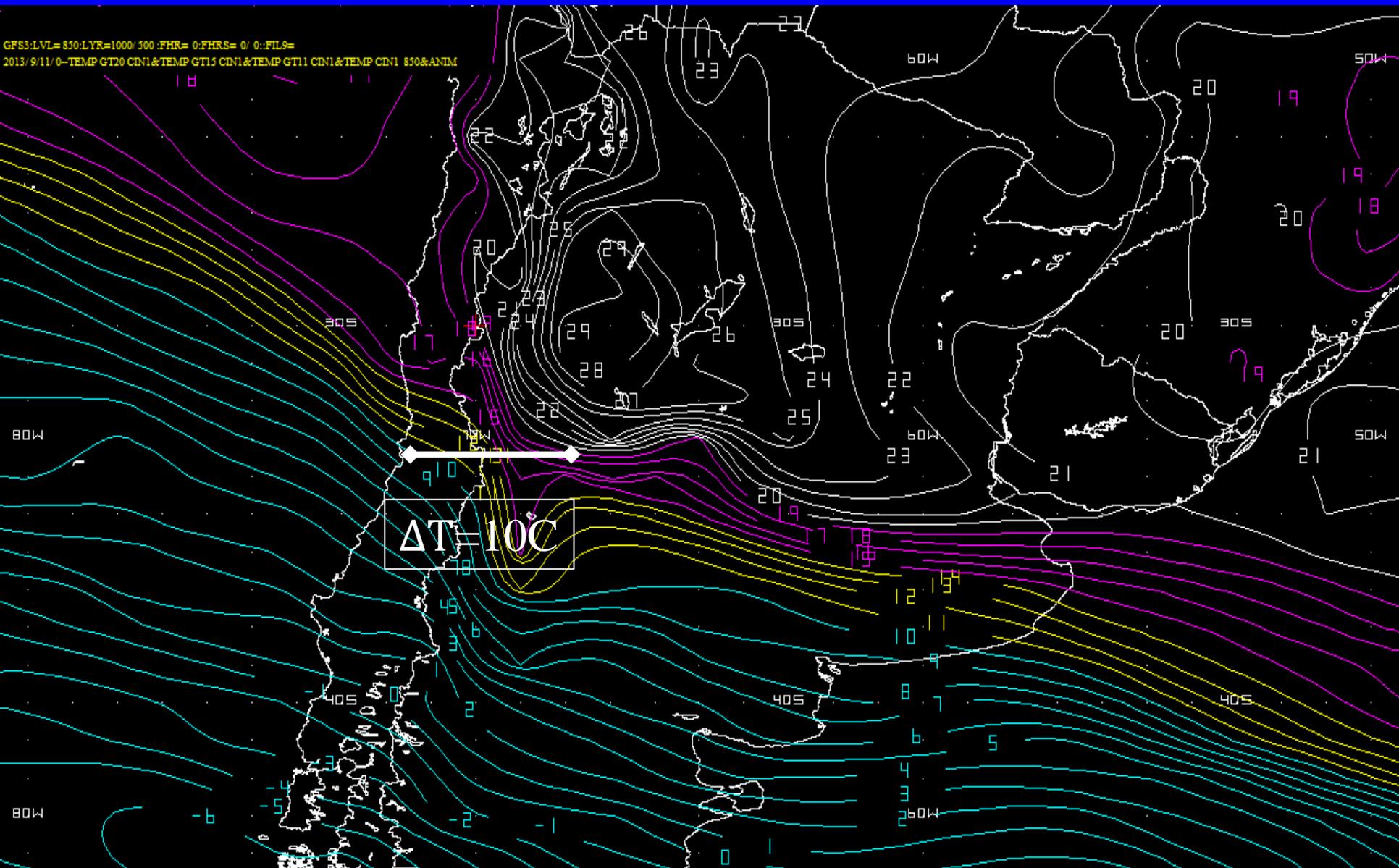
# Turbulencia de Montaña

$$V = 70/90Kt$$



$$\Delta P = 19$$

# Cuña Termal en 850 hPa



# Turbulencia de Montaña

Low-Level Mountain-Wave Turbulence (Surface To 5,000 Ft Above Ridge Line)			
Low-Level Feature	Turbulence Intensity		
	Light	Moderate	Severe
Wind Component Normal to Mountain Range at Mountain Top and > 24 kt and			
dP Across Mountain at Surface is	See Figure 2-48	See Figure 2-48	See Figure 2-48
dT  Across Mountain at 850 mb is	< 6°C	6°C - 9°C	> 9°C
dT/dX  Along Mountain Range at 850 mb is	< 4°C/60 NM	4-6°C/60 NM	> 6°C/60 NM
Lee-Side Surface Gusts	< 25 kt	25 - 50 kt	> 50 kt
Winds Below 500 mb > 50 kt	Increase the Turbulence found by one degree of intensity (i.e., Moderate to Severe)		

- Notes:**
- (1) dP is the change in surface pressure across the range.
  - (2) |dT| is the absolute value of the 850-mb temperature difference across the range.
  - (3) |dT/dX| is the absolute value of the 850-mb temperature gradient along mountain range.
  - (4) Turbulence category forecast is the worst category obtained from each of the four parameters.

# Viento Zonda

# Viento Zonda/Foehn

- Viento húmedo asciende del lado de barlovento.
  - Se expande y enfría lentamente siguiendo la pseudo adiabática húmeda
- Aire seco desciende del lado de sotavento
  - Desciende y se comprime (calienta) rápidamente siguiendo la adiabática seca
- Resultado: Viento fuerte, calido y seco que desciende por las vertientes de las montañas.

# Viento Zonda/Foehn

- Comienza con viento fuerte en altura perpendicular a la cordillera
  - Esto induce vaguada de sotavento, la cual tiende a intensificar los vientos
- Nubes/precipitación del lado de barlovento terminan súbitamente en una pared foehn.
- Condiciones asociadas a turbulencia de montaña pueden inducir este evento.
  - Mas común con pasaje de frentes
- Incremento de temperatura puede llegar a 28C en la base de la montaña.

# Viento Zonda/Foehn

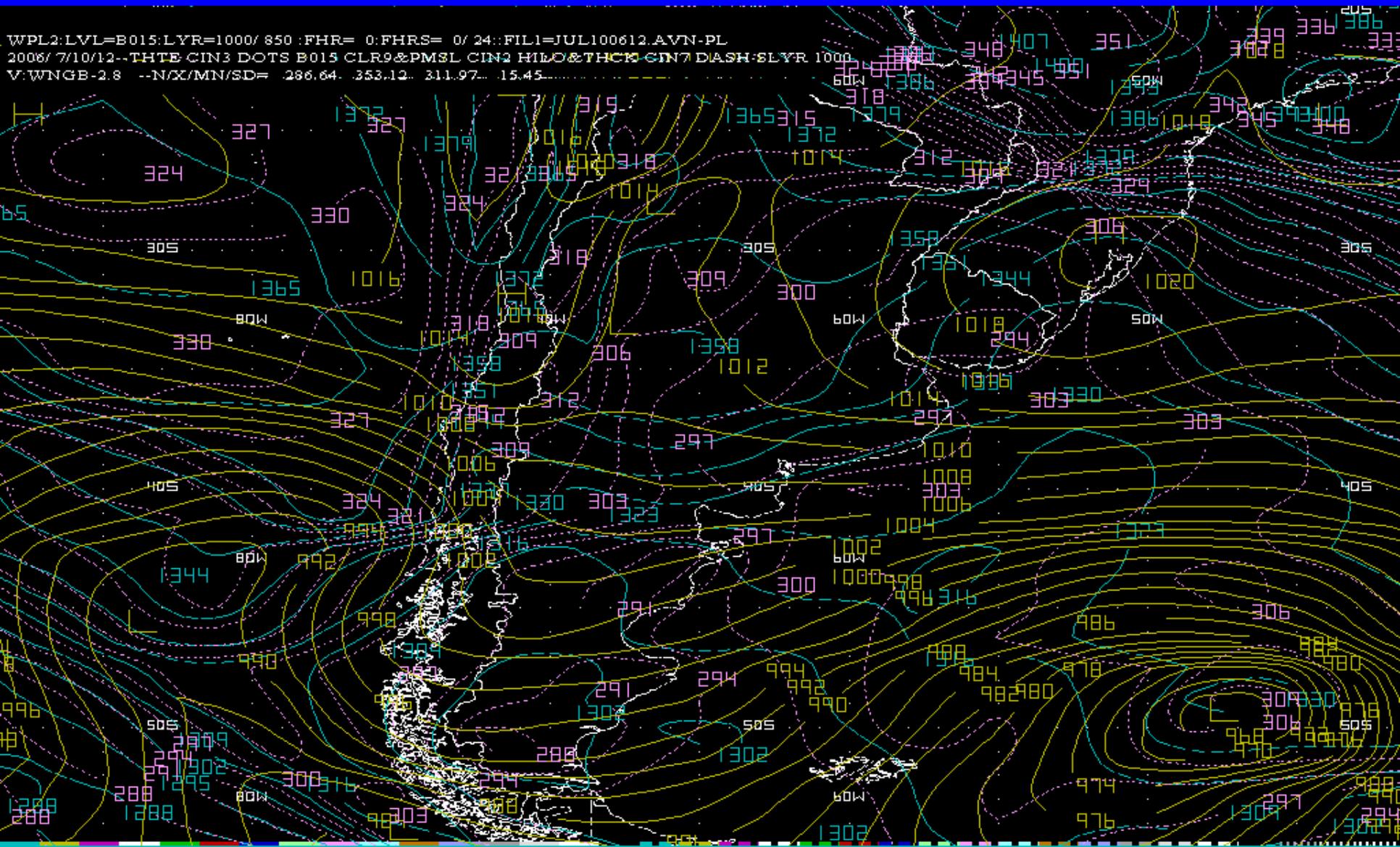
- Estadísticamente mas común en los meses de Mayo a Noviembre
  - En verano, flujo superior no es tan fuerte
  - También, calentamiento sobre Argentina favorece corrientes ascendentes que minimizan el impacto/ efecto de flujo descendente
- Típicamente tiene una incidencia entre las 12-18 hrs
  - Puede durar entre 1 a 12 hrs.
- Vientos descendentes pueden exceder los 40 Km/h
- Mas común sobre las provincias de La Rioja, San Juan y norte de Mendoza





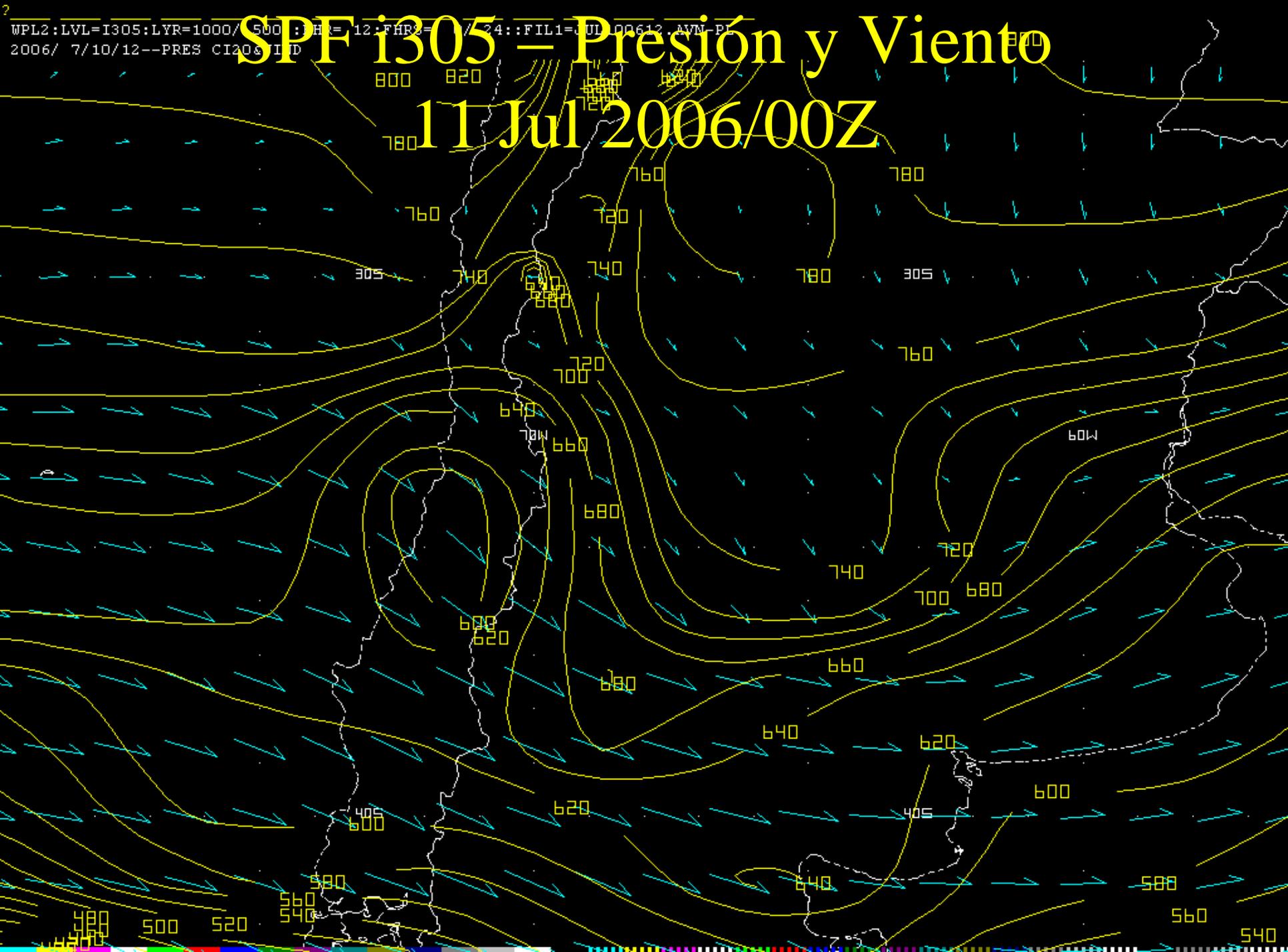
# Animación Superficie

## 10-13 Jul 2006



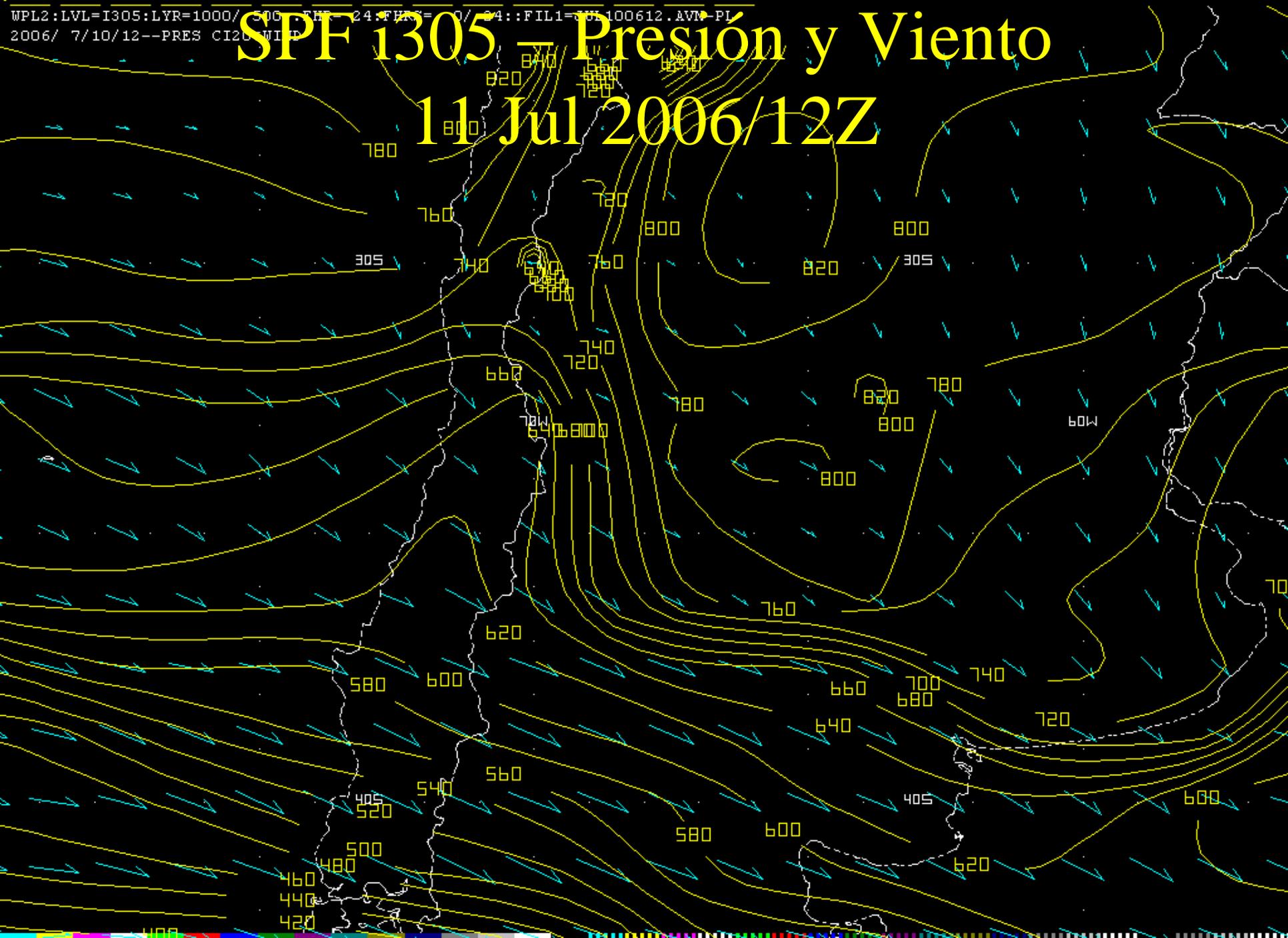
# SPF i305 – Presión y Viento

## 11 Jul 2006/00Z

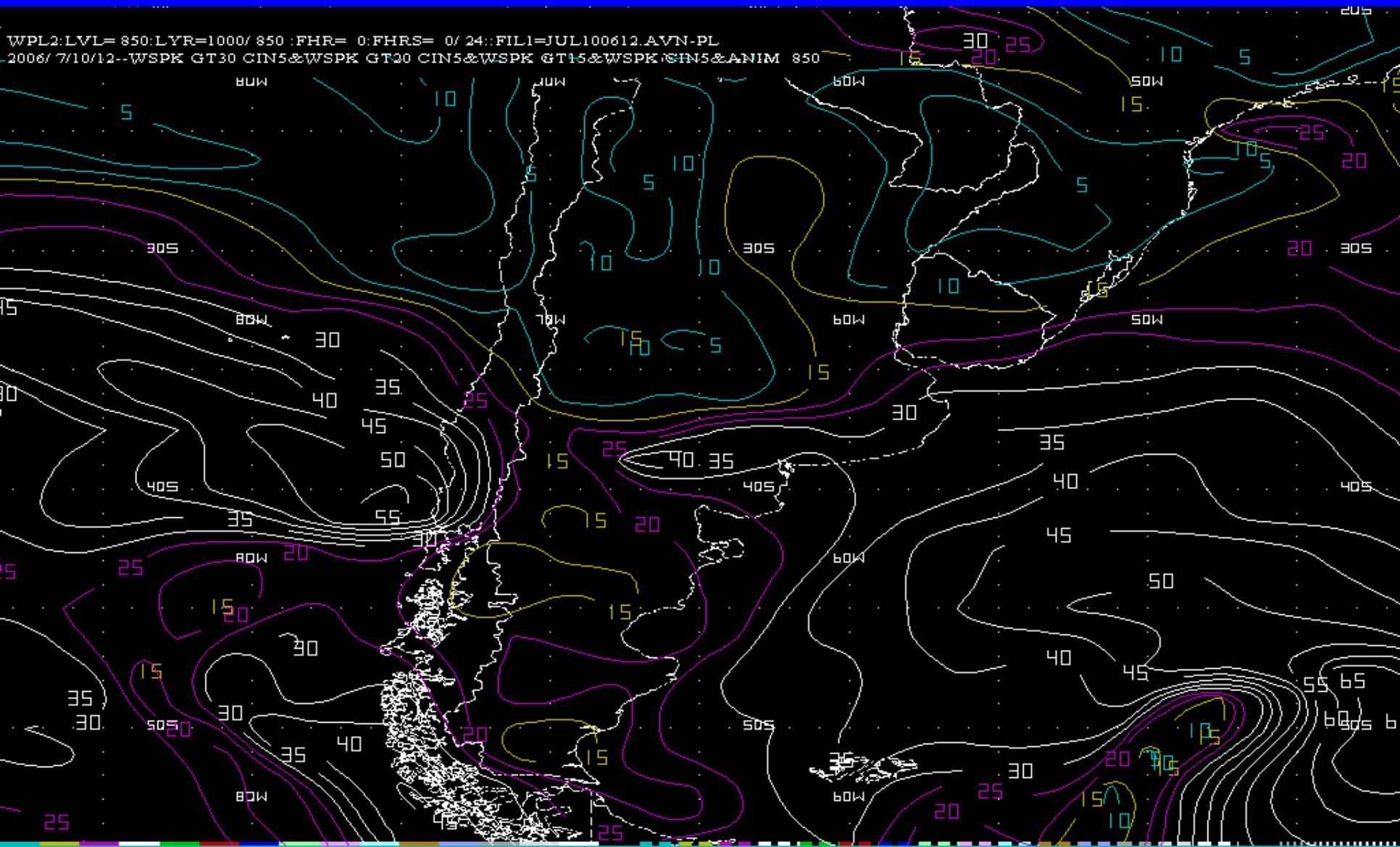


# SPF i305 - Presión y Viento

## 11 Jul 2006/12Z

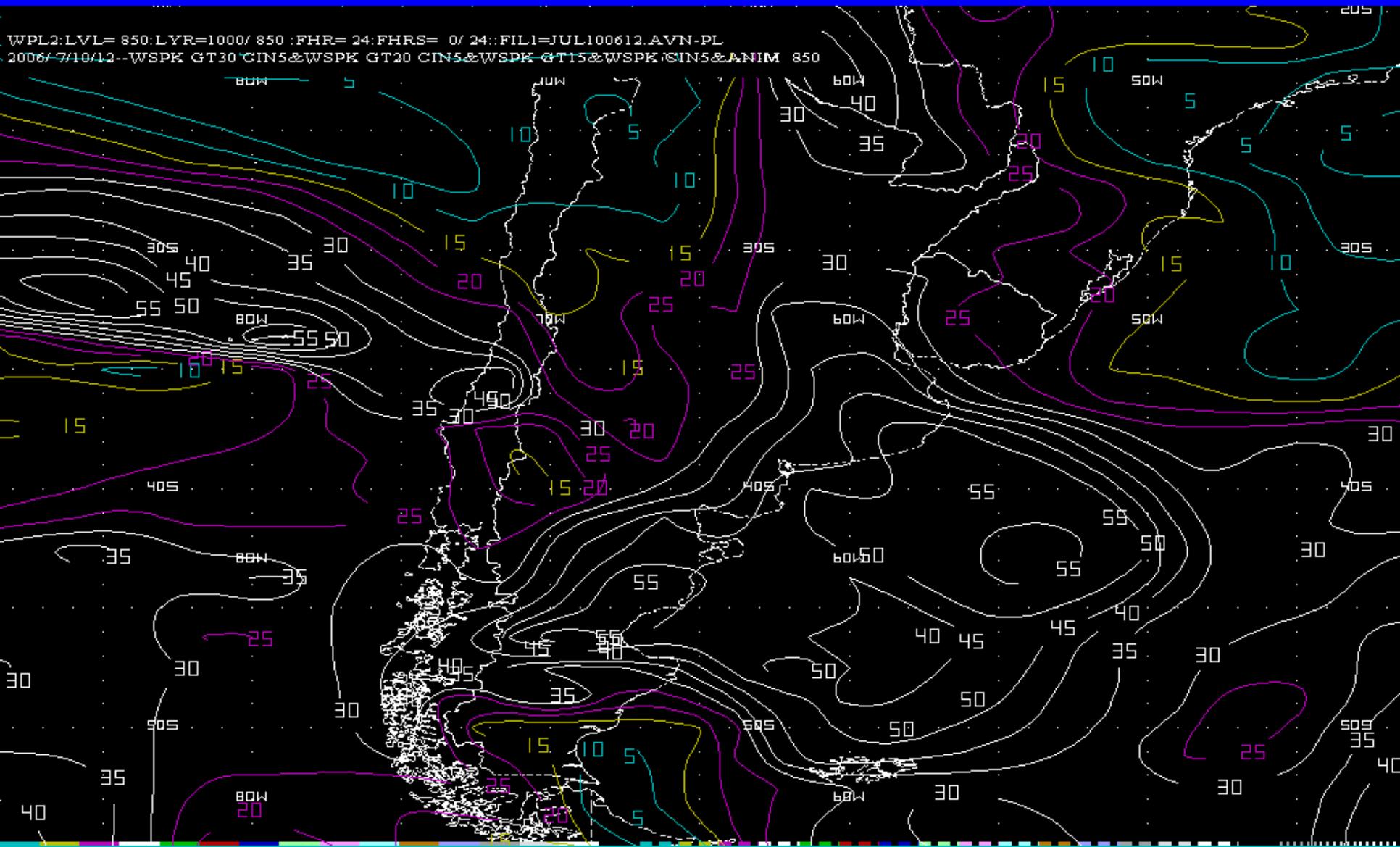


# Animación Vientos en 850 hPa 10-13 Jul 2006

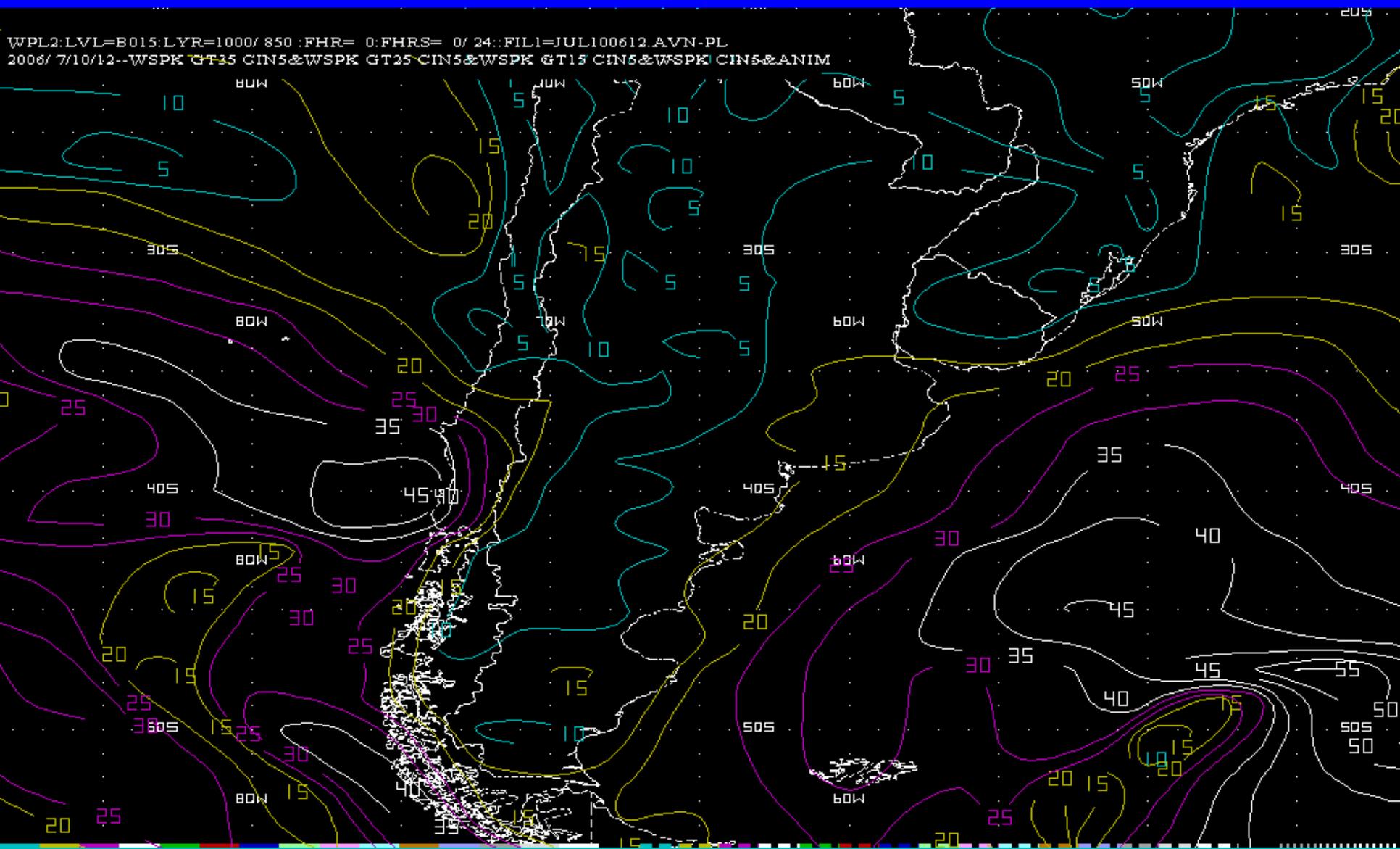


# Vientos en 850 hPa

## 11 Jul 2006/12Z

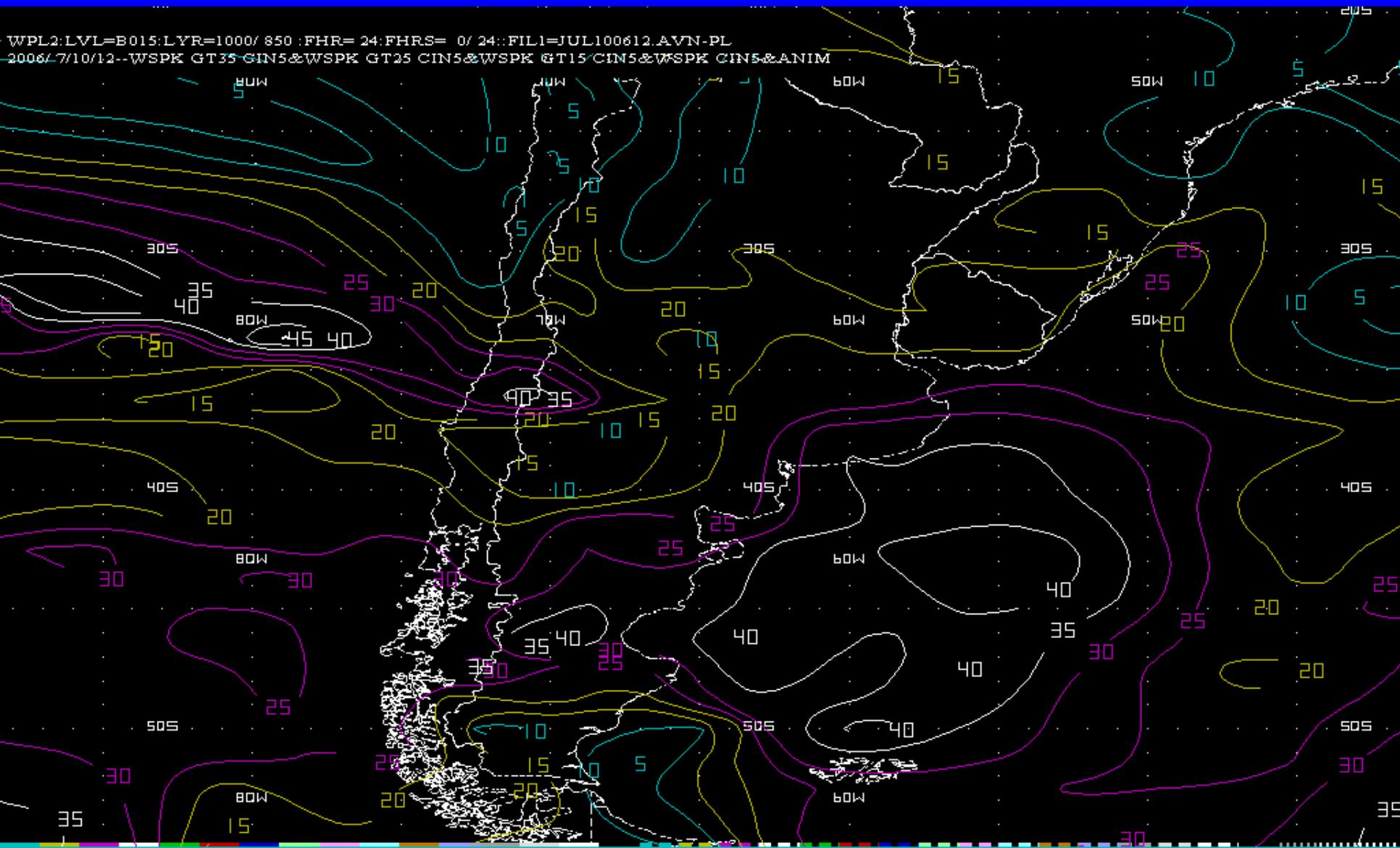


# Animación Vientos en Capa Limite 10-13 Jul 2006



# Vientos en Capa Limite

## 11 Jul 2006/12Z



Low Level Wind Shear (LLWS)  
“Cizalladura en Niveles Bajos”

# ¿Qué es LLWS?

- “Cambio en la horizontal de velocidad y/o dirección del viento, y/o velocidad vertical en la distancia (durante el ascenso), medido en dirección vertical y/o horizontal
- Puede ser cizalladura por velocidad, cizalladura por dirección, o una combinación de ambos
- Se presenta por debajo de los 2000 ft AGL

# ¿Qué impacto tiene?

- Viento de frente en niveles bajos, cambiando súbitamente a viento de cola en superficie
  - Avión pierde velocidad rápidamente. Se queda corto de la pista en aterrizaje.
- Viento de cola en niveles bajo, viento de frente en superficie.
  - Avión gana velocidad rápidamente. Se puede pasar de la pista

# ¿Qué impacto tiene?

- Viento de frente, o de cola, en niveles bajos, con viento cruzado en superficie
  - El avión es forzado a los costados de la pista
- Mientras menor el avión mayor su impacto.

# Tipos de LLWS

- Convectiva

- De corta duración

- Un avión puede aterrizar sin problemas, y el que le sigue puede quedar en peligro

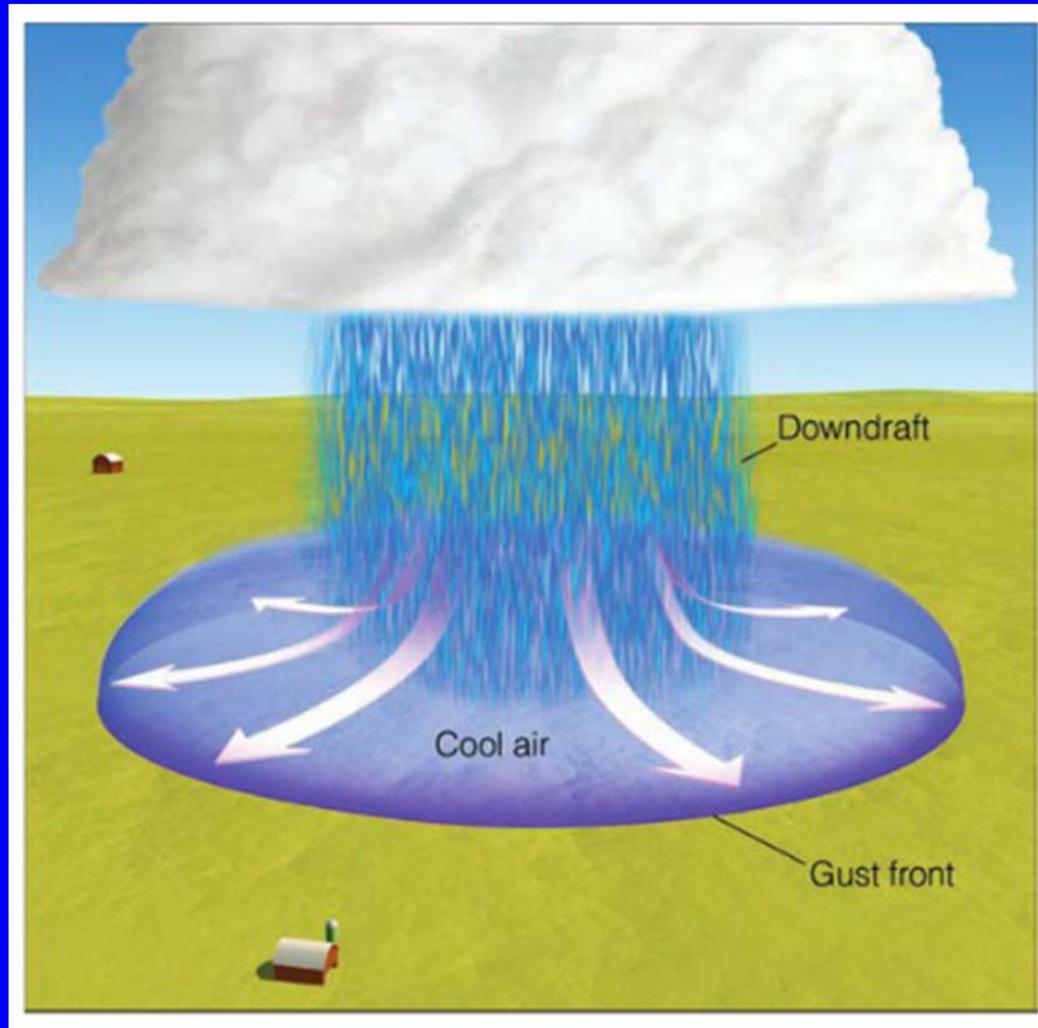
- Mas difícil de pronosticar

- Microburst/Macroburst y Líneas de Inestabilidad

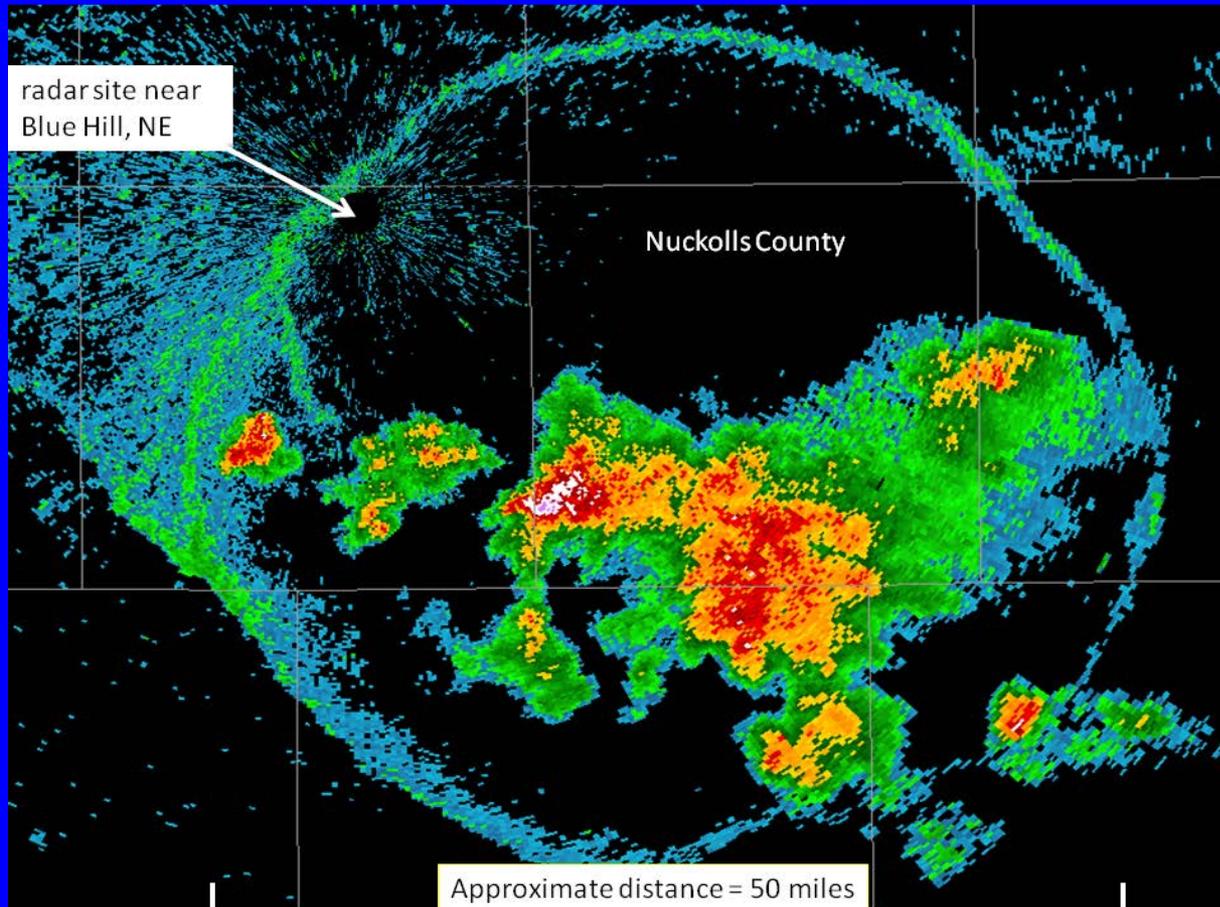
- Frente de racha (Fracto Cu)

- Se asume cuando CBs/tormentas son pronosticados

# Downburst

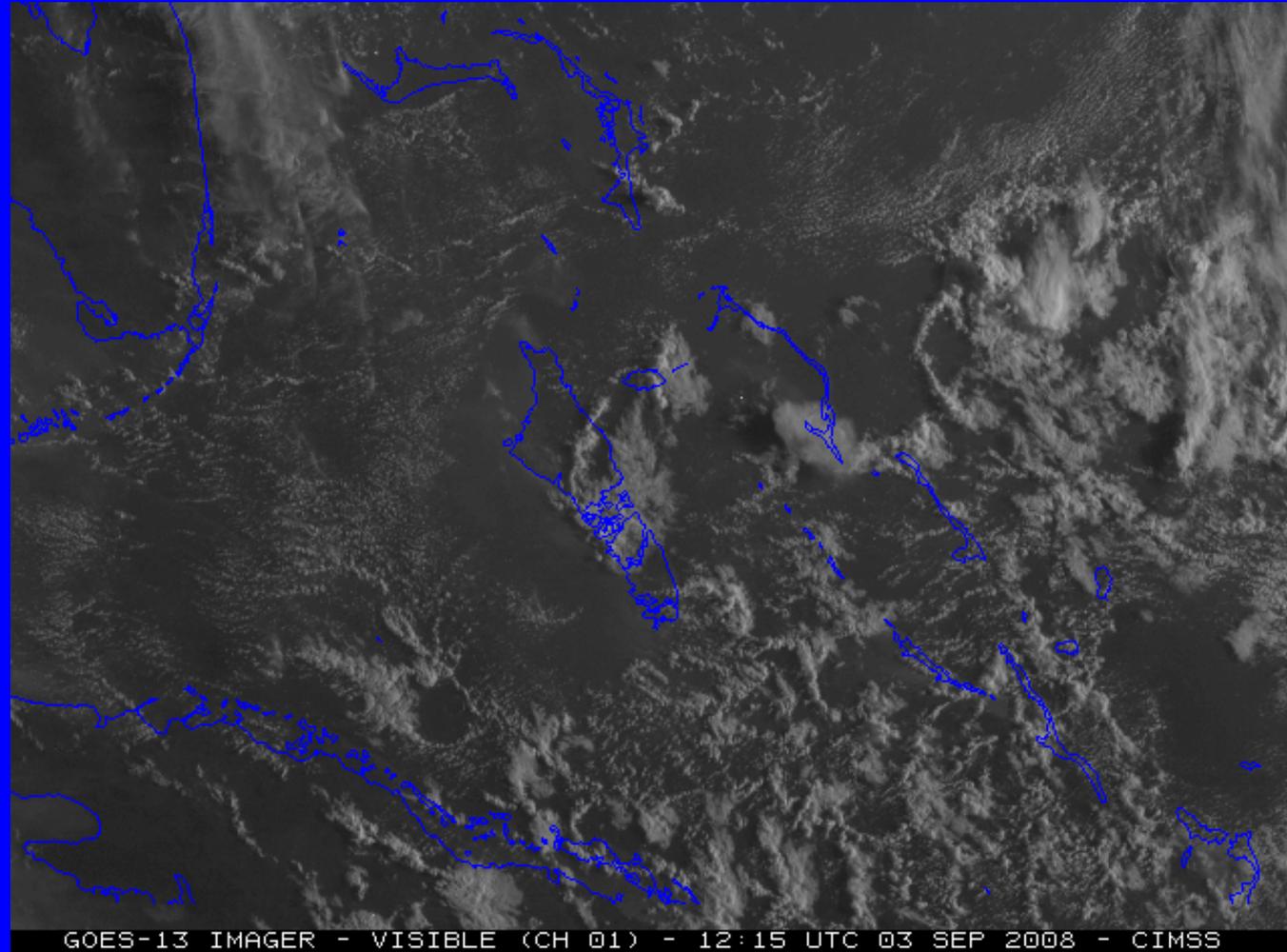


# Frente de Racha (Imagen de Radar)



# Frente de Rachas

(Outflow Boundary con Huracan Hanna)

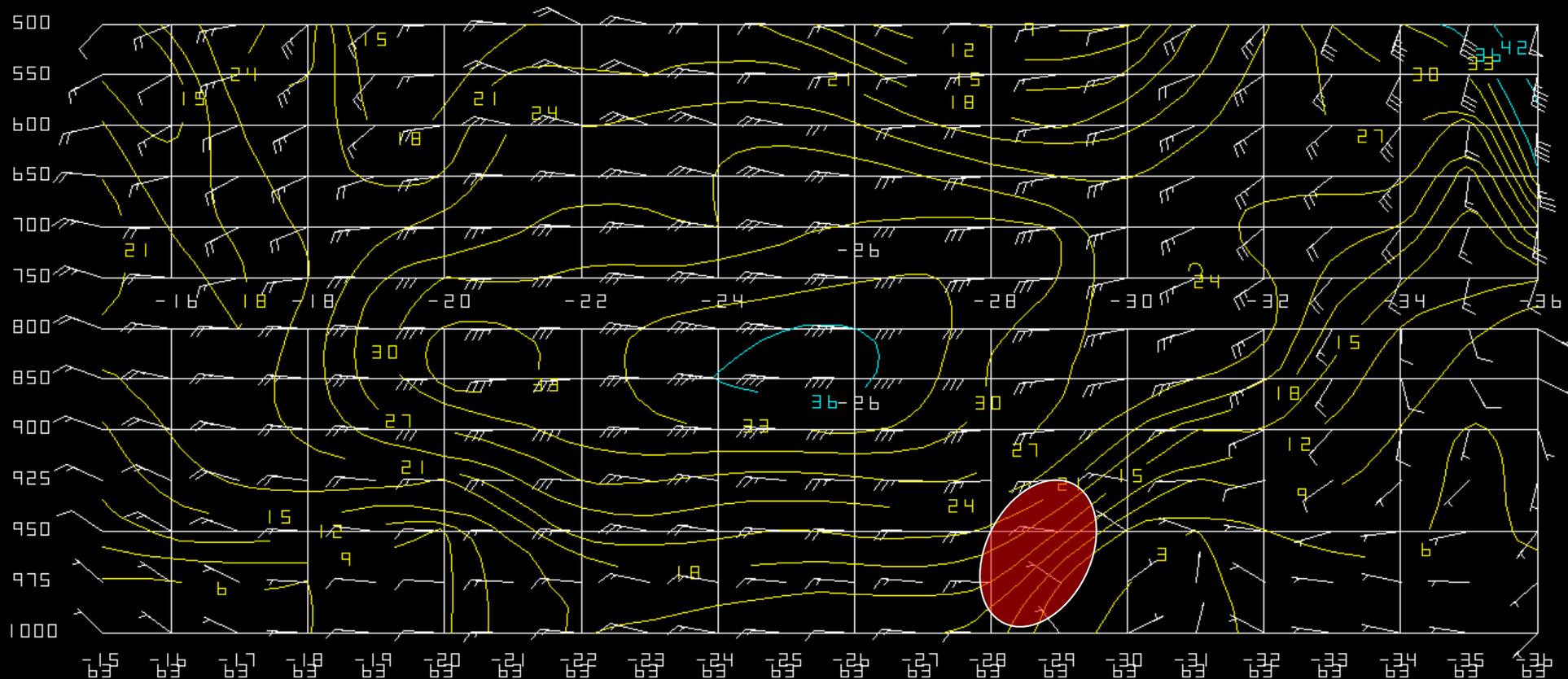


# Tipos de LLWS

- **No Convectiva**
  - De origen meso/sinóptico
    - Frentes, Inversiones, Jet de capas bajas, Terreno
    - Frentes de propagación lenta
  - De mayor duración que la convectiva, puede durar horas
- No tan difícil de pronosticar como la convectiva
  - Uno de los elementos mas difíciles de pronosticar

# LLWS

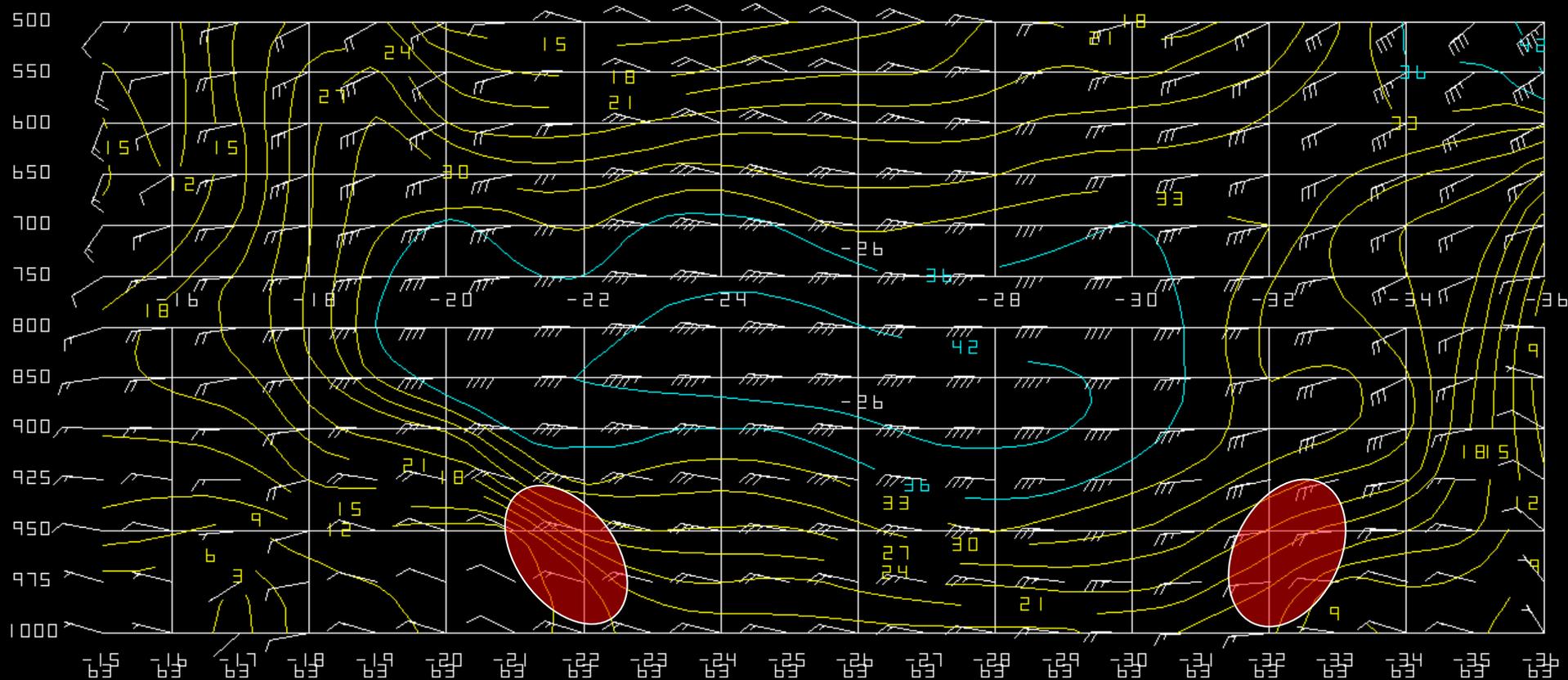
GFS3:Lat/Lon 15S/ 63W=> 36S/ 63W:FHR= 12:FHRS= 0/ 24::FIL1=FEB071400.GFS003  
2014/ 2/ 7/ 0-XREL BKNT CLR4&WSPK LSTN 36 CIN3&WSPK CIN6&ANIM



LLWS solamente se considera debajo de los 2,000 pies AGL. Esto es debajo de los 900/925 hPa en terreno plano.

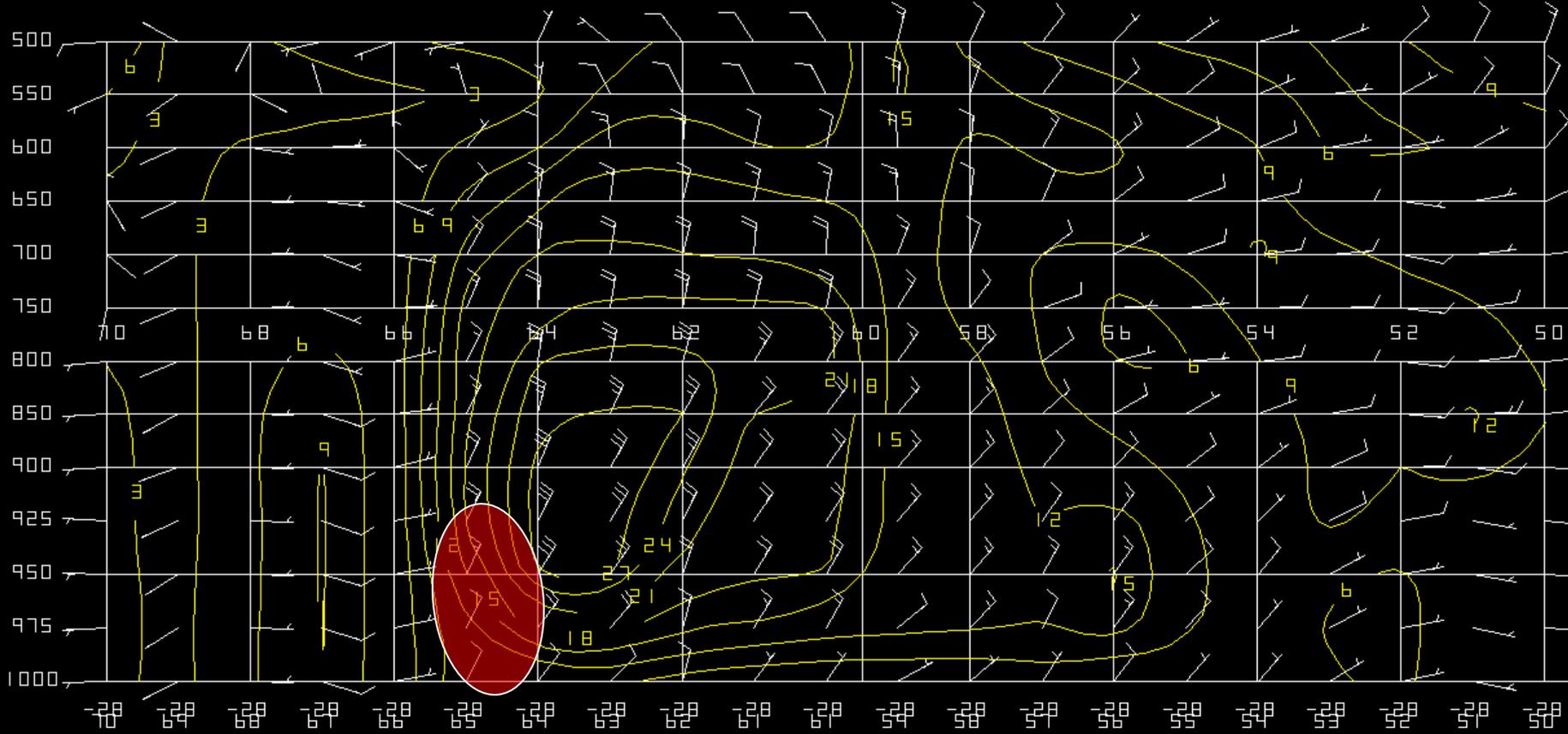
# LLWS

GFS3:Lat/Lon 15S/ 63W=> 36S/ 63W:FHR= 36:FHRS= 0/ 24::FIL1=FEB071400.GFS003  
2014/ 2/ 7/ 0-XREL BKNT CLR4&WSPK LSTN 36 CIN3&WSPK CIN6&ANIM



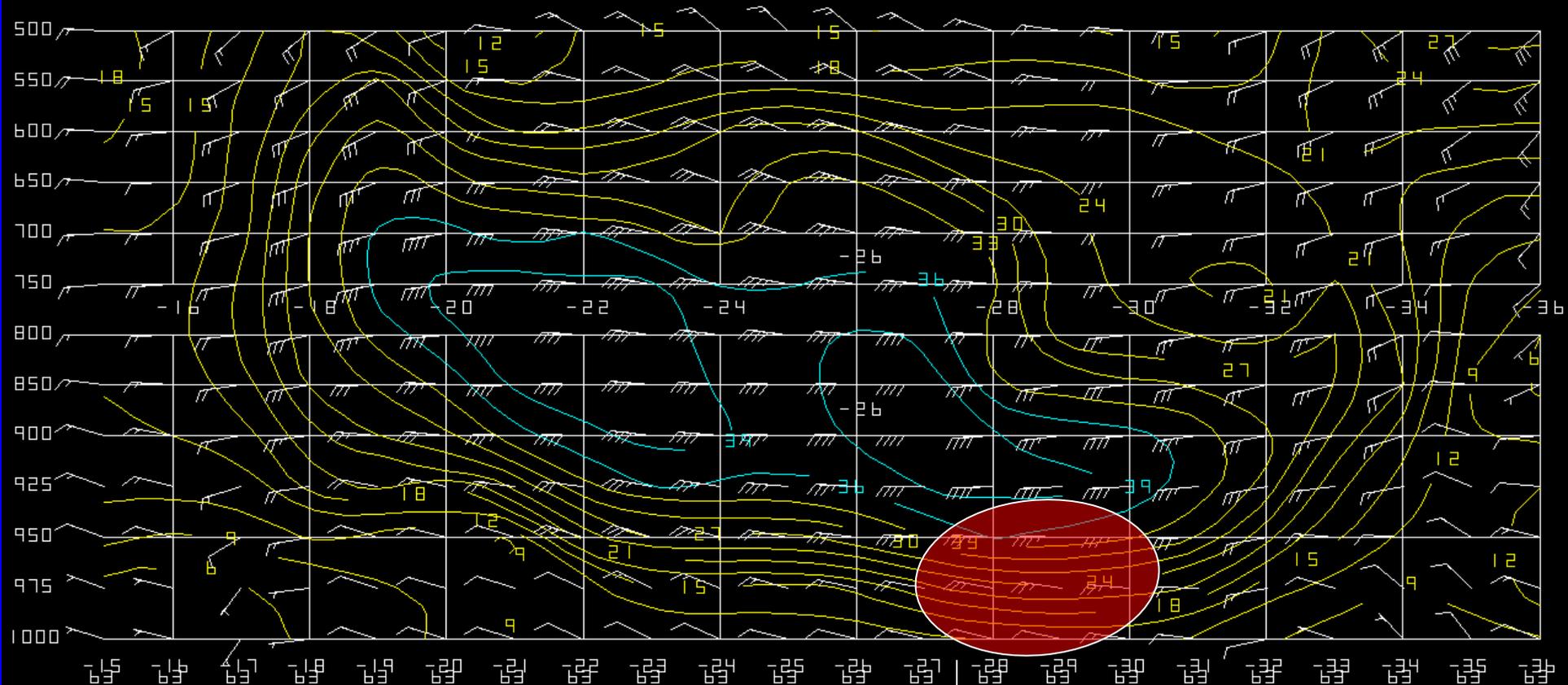
# LLWS

GFSS:Lat/Lon 28S/ 70W=> 28S/ 50W :FHR= 72:FHRS= 0/24::FIL1=FEB071400.GFS003  
2014/2/7/0-XREL BKNT CLR4&WSPK LSTN 36 C0N3&WSPK C0N6&ANIM



# LLWS en el TAF

- Se puede incluir siguiendo grupo de nubosidad
- Formato:
  - WShhh/dddssKT
    - hhh el tope de la capa (bajo 2,000 pies AGL)
    - ddd la direccion del viento en el tope de la capa
    - ss la intensidad del viento



SACO 071730Z 0718/0818 03015KT 9999 BKN050

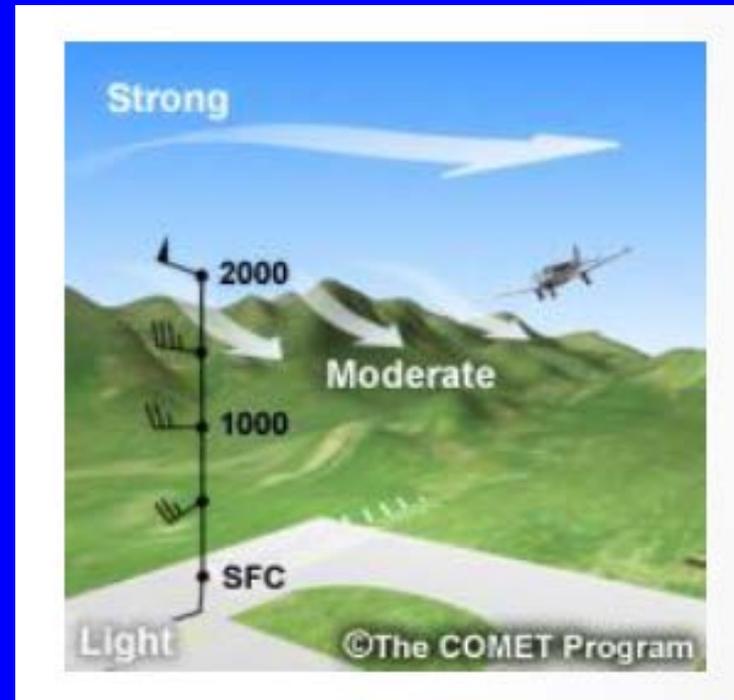
BCMG 0723/0800 04020 9999 SCT050

BCMG 0805/0806 27015 9000 SCT050 WS020/01045KT

BCMG 0809/0810 23005 9999 SKC=

# Efectos Locales

- En general, influencia del terreno
  - Montañas
  - Pasos/valles entre Montañas
- Conocimiento del terreno y la climatología local son esenciales



# Evaluación y Pronósticos

Impacto Cortante Horizontal

y

Vertical

# Valores Críticos de Cortante de Viento

- Cortante Horizontal

- Moderada            25-49Kt/150Km   ( $1.67-3.27 \times 10^{-4}$  Kt/m)
- Severa                50-89Kt/150Km   ( $3.33-5.93 \times 10^{-4}$  Kt/m)
- Extrema               $\geq 90$ Kt/150Km   ( $> 6.00 \times 10^{-4}$  Kt/m)

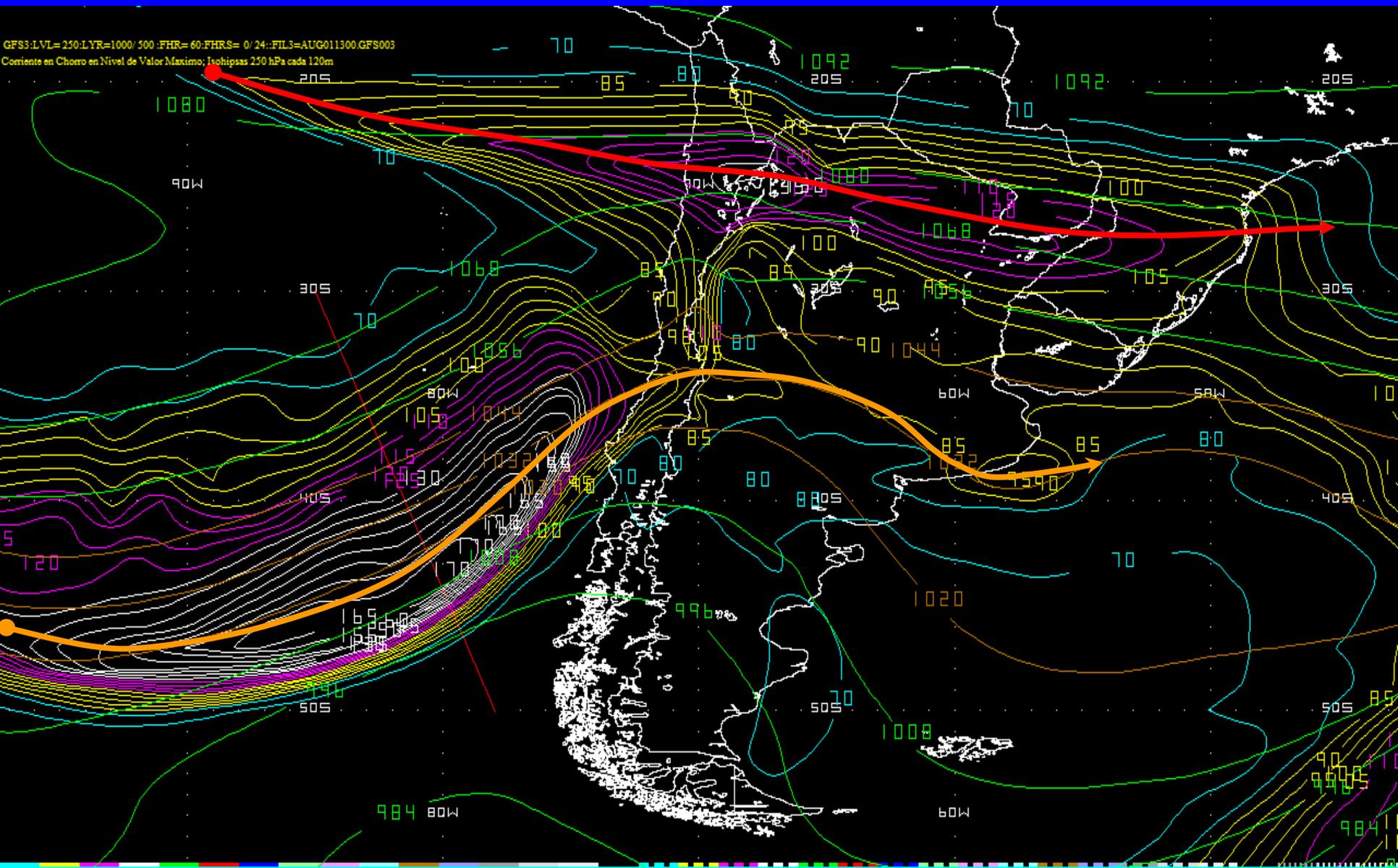
- PCGRIDDS32/Wingrids

- MGRD WSPK GRTN 17-5
- MGRD WSPK GRTN 33-5

# Ejemplo Gradiente Horizontal

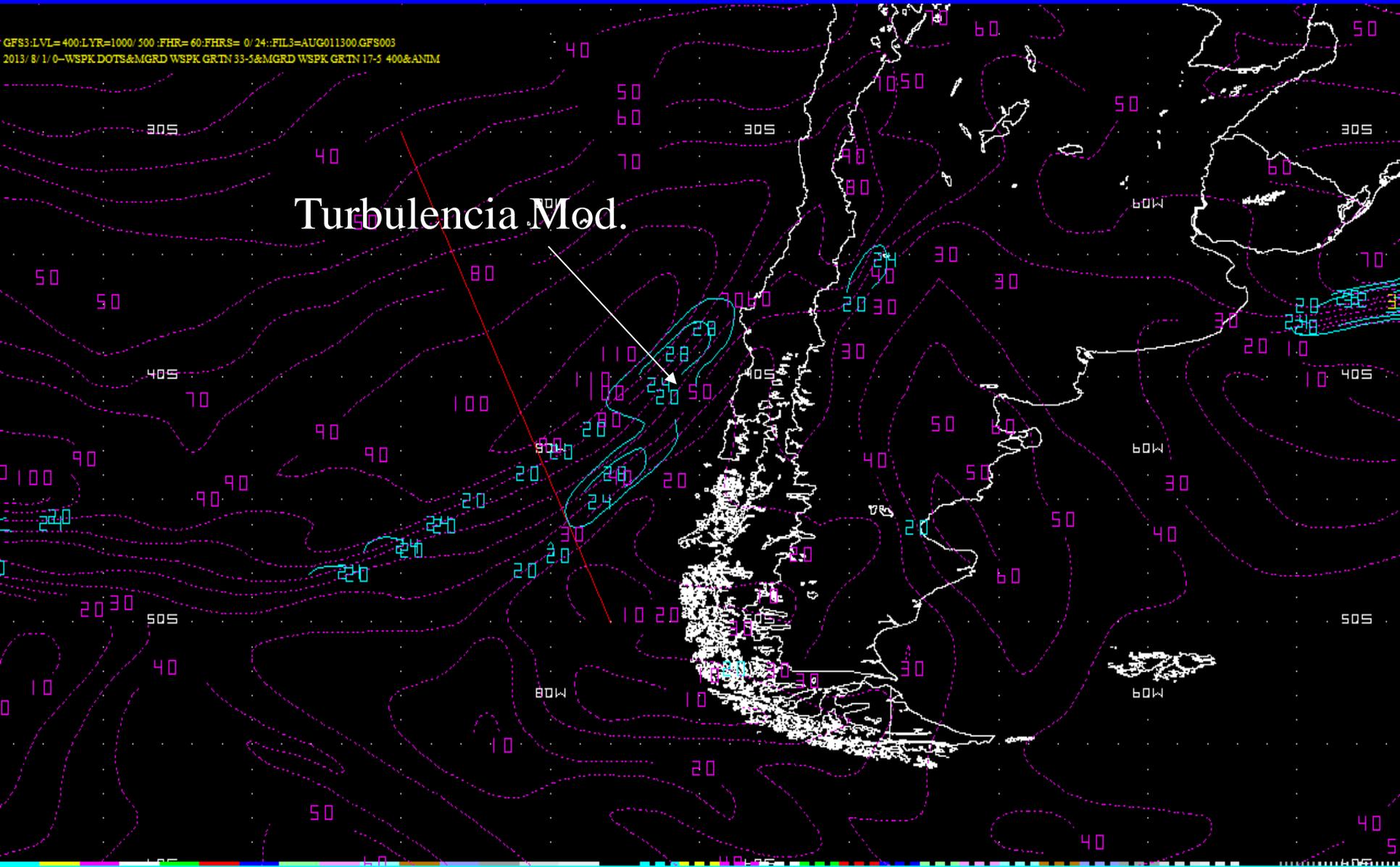
MGRD WSPK 250 F12

# Turbulencia con un Jet

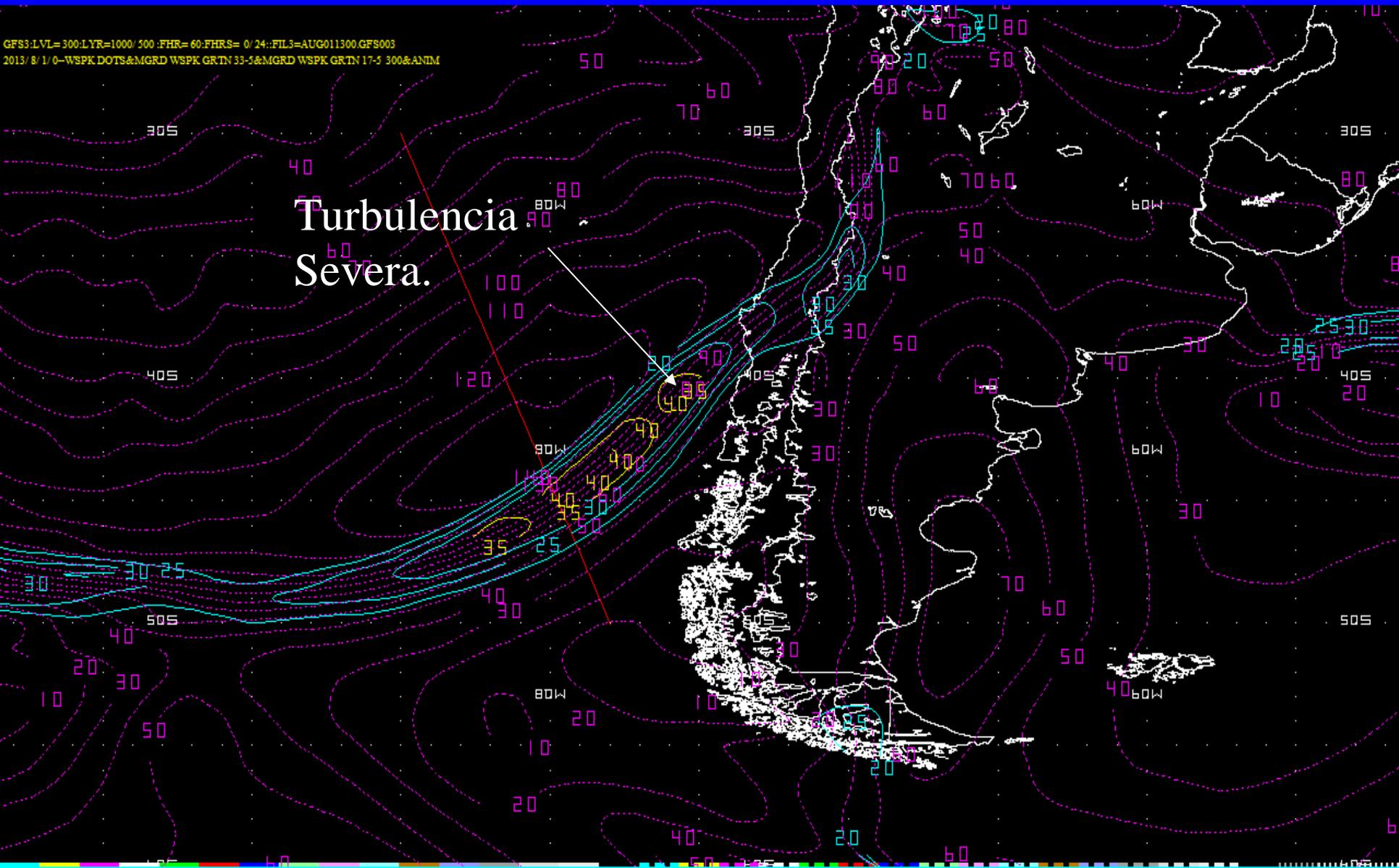




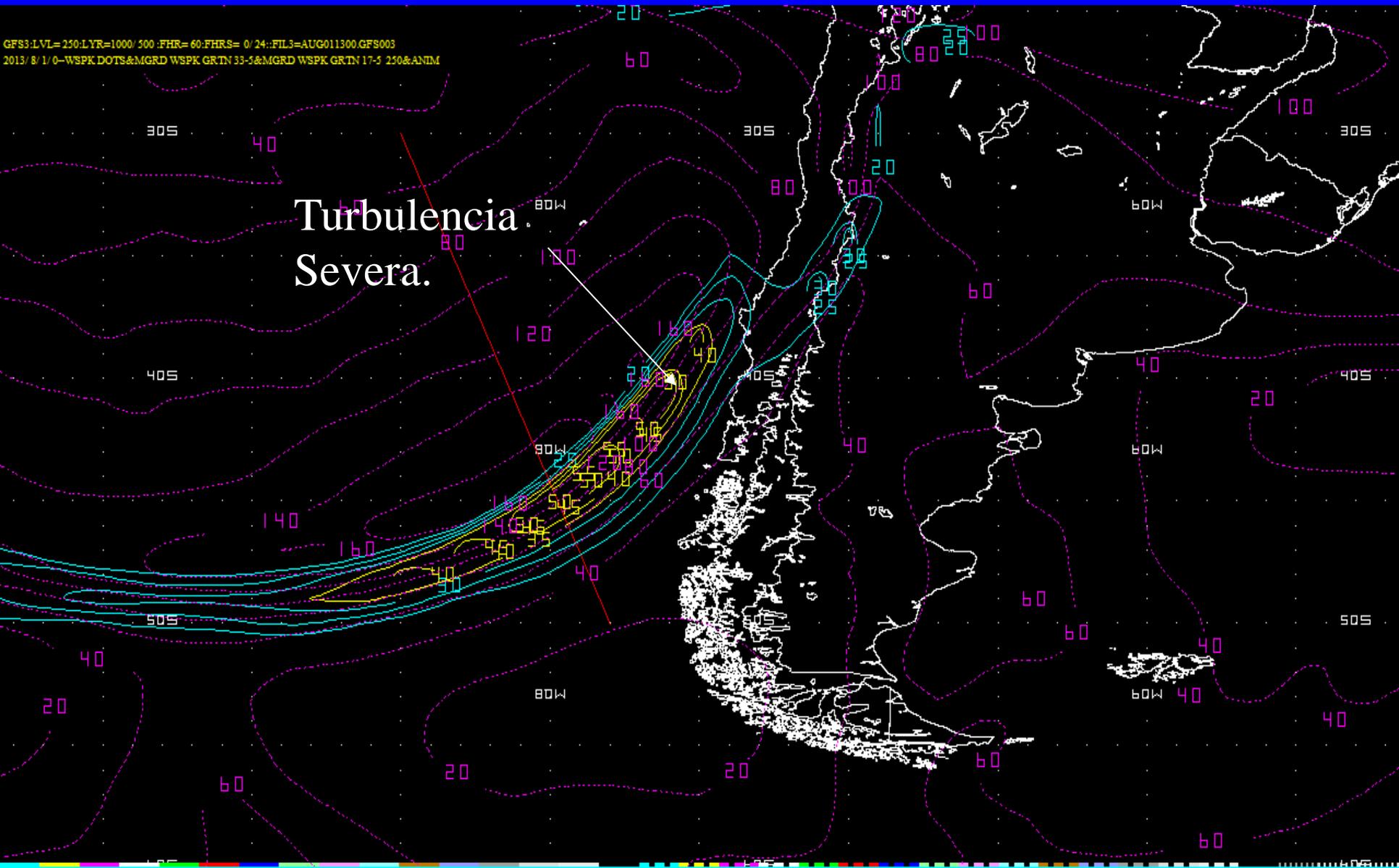
# Gradiente Horizontal de Isotacas: 400 hPa



# Gradiente Horizontal de Isotacas: 300 hPa

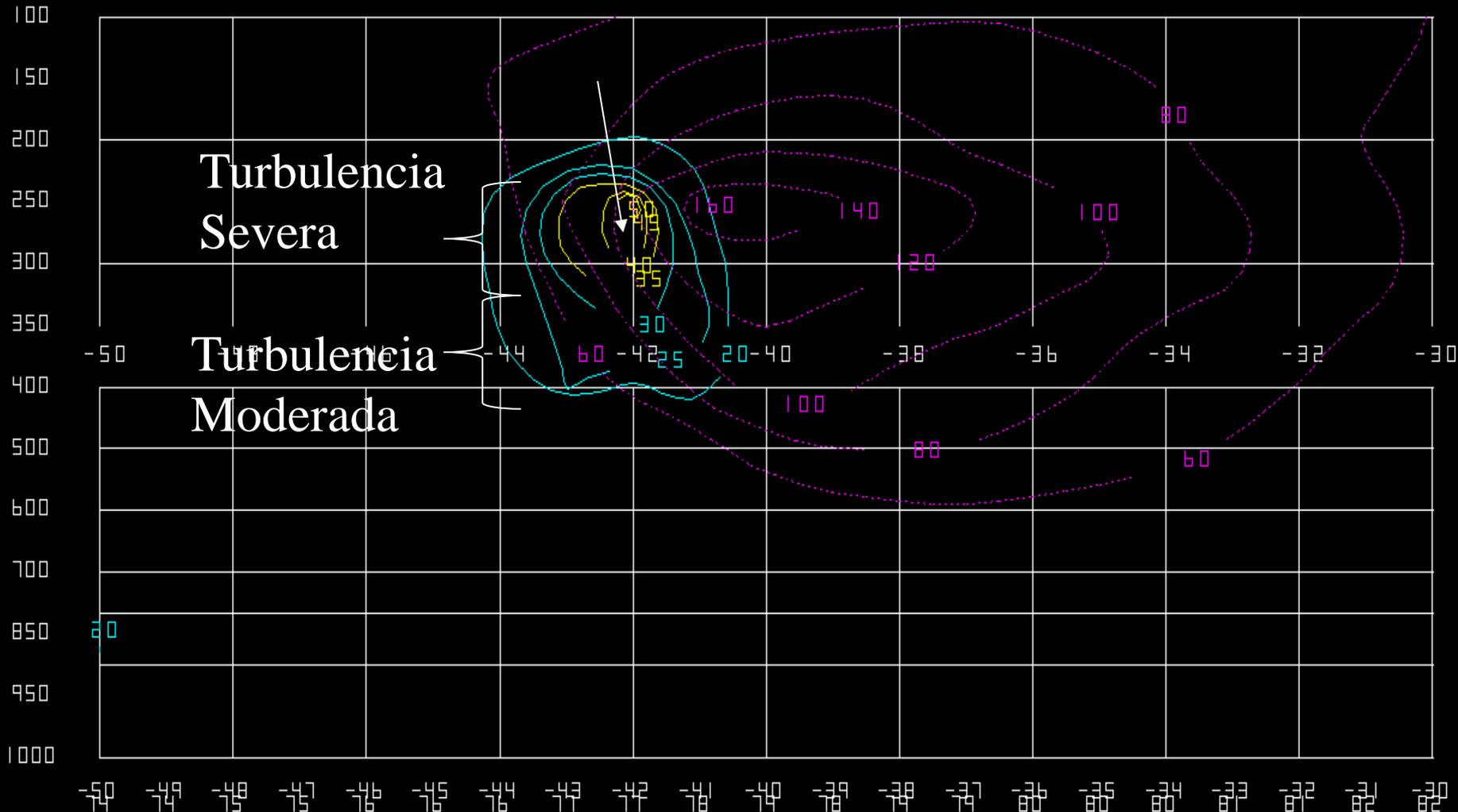


# Gradiente Horizontal de Isotacas: 250 hPa



# Corte Vertical: Gradiente de Isotacas

GFS3:Lat/Lon 50S/74W=>30S/82W:FHR=60:FHRS=0/24::FIL3=AUG011300.GFS003  
2013/8/1/0-WSPK.DOTS GT60&MGRD WSPK GR TN 33-5&MGRD WSPK GR TN 17-5&ANIM



# Valores Críticos de Cortante Vertical de Viento

- Cortante Vertical

- Ligera 3-5Kt/300m (0.01-0.016 Kt/m)
- Moderada 6-9Kt/300m (0.02-0.03 Kt/m)
- Severa 10-15Kt/300m (0.033-0.05 Kt/m)
- Extrema  $\geq 15\text{Kt}/300\text{m}$  ( $> 0.05$  Kt/m)

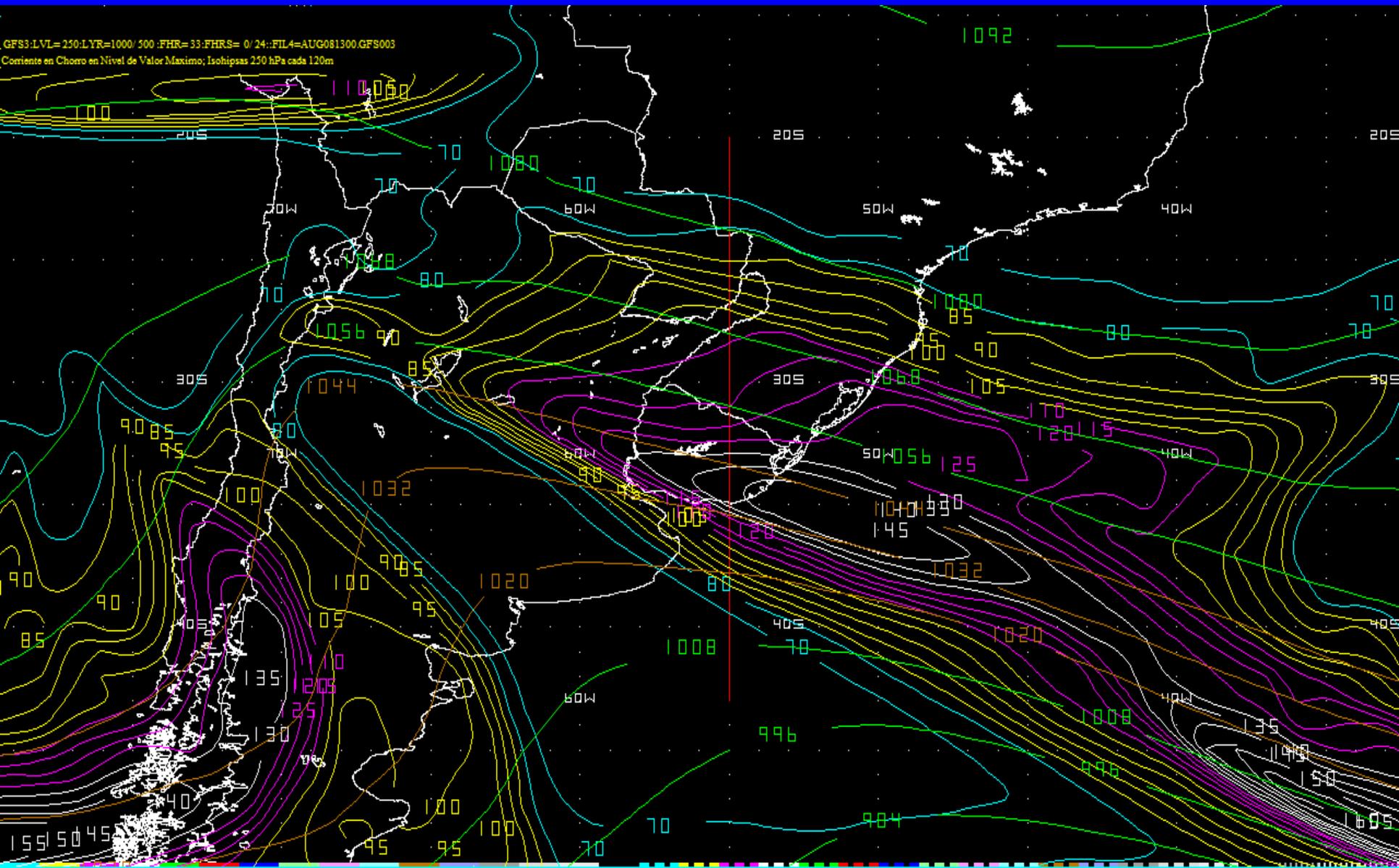
- PCGRIDDS32/Wingridds

- SDVD SDIF WSPK ???? WSPK !!!! SDIF HGHT ????  
HGHT !!!!
  - Donde ???? y !!!! son dos niveles diferentes
- SDVD WSPK LDIF HGHT LDIF
  - Tiene que ser precedido por el mando SLYR ???? !!!!
  - Donde ???? y !!!! son dos niveles diferentes

# Ejemplo Cortante Vertical

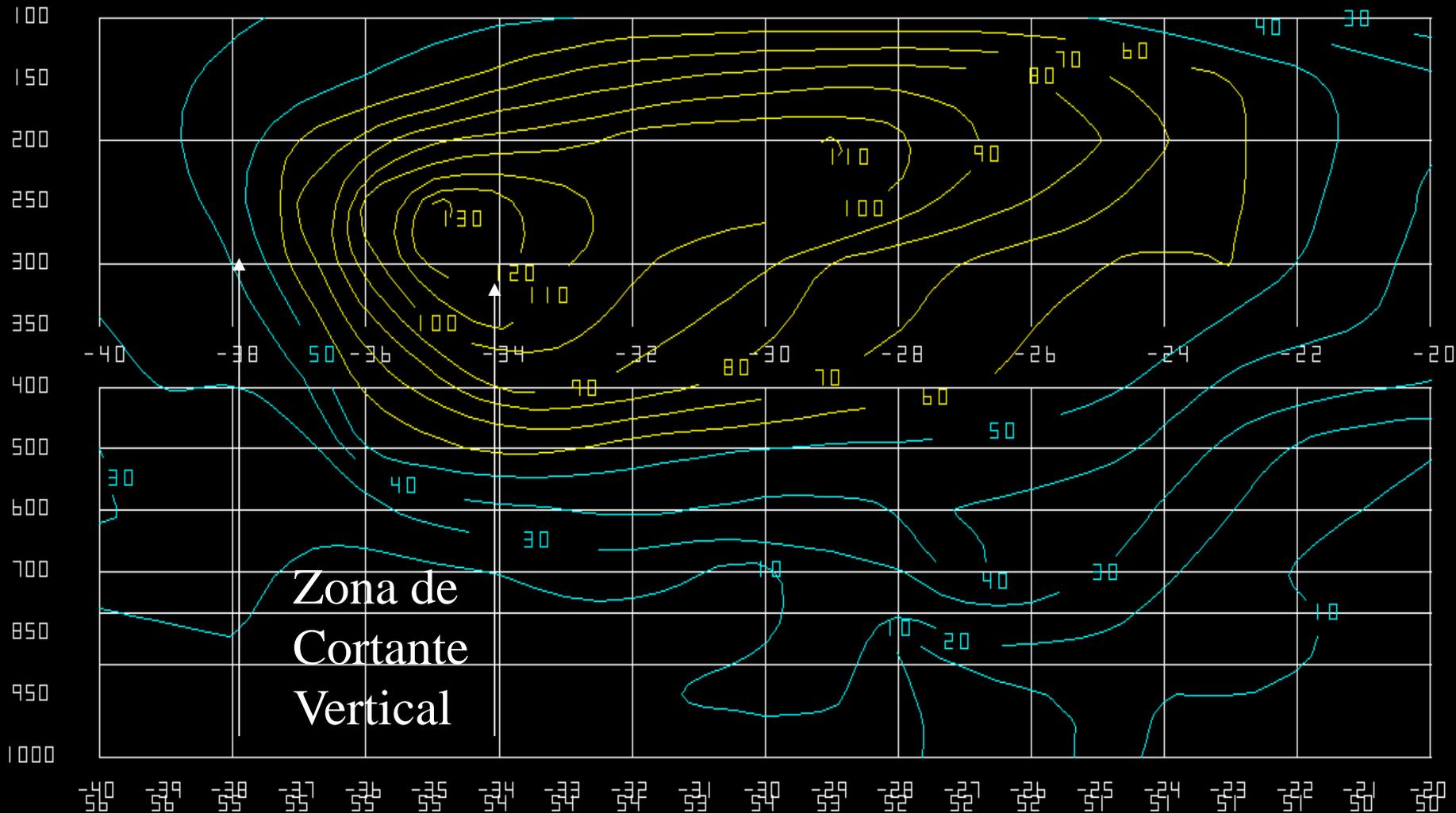
SDVD SDIF WSPK 400 WSPK 500 SDIF HGHT 400 HGHT 500

# Corriente en Chorro

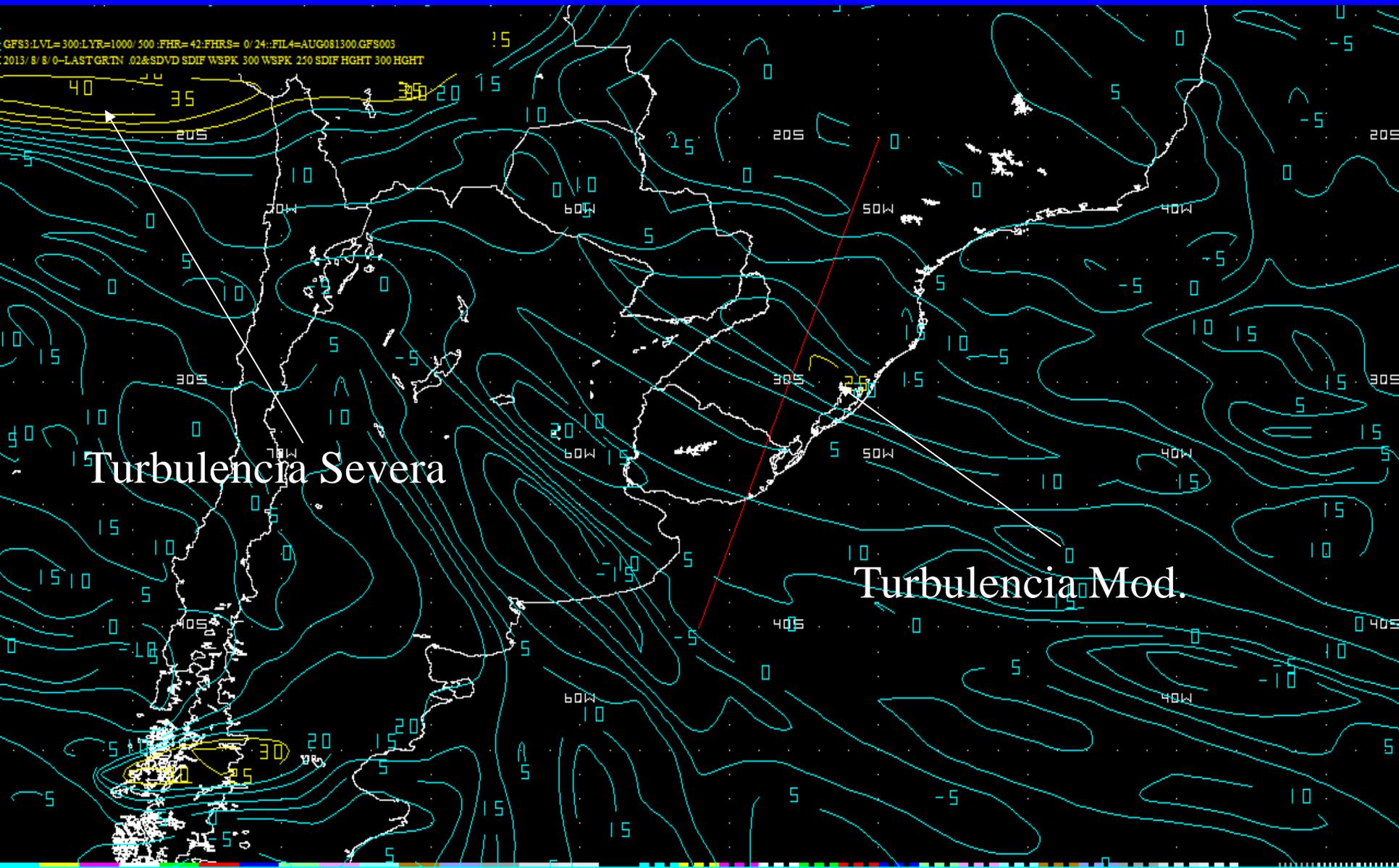


# Cortante en la Vertical

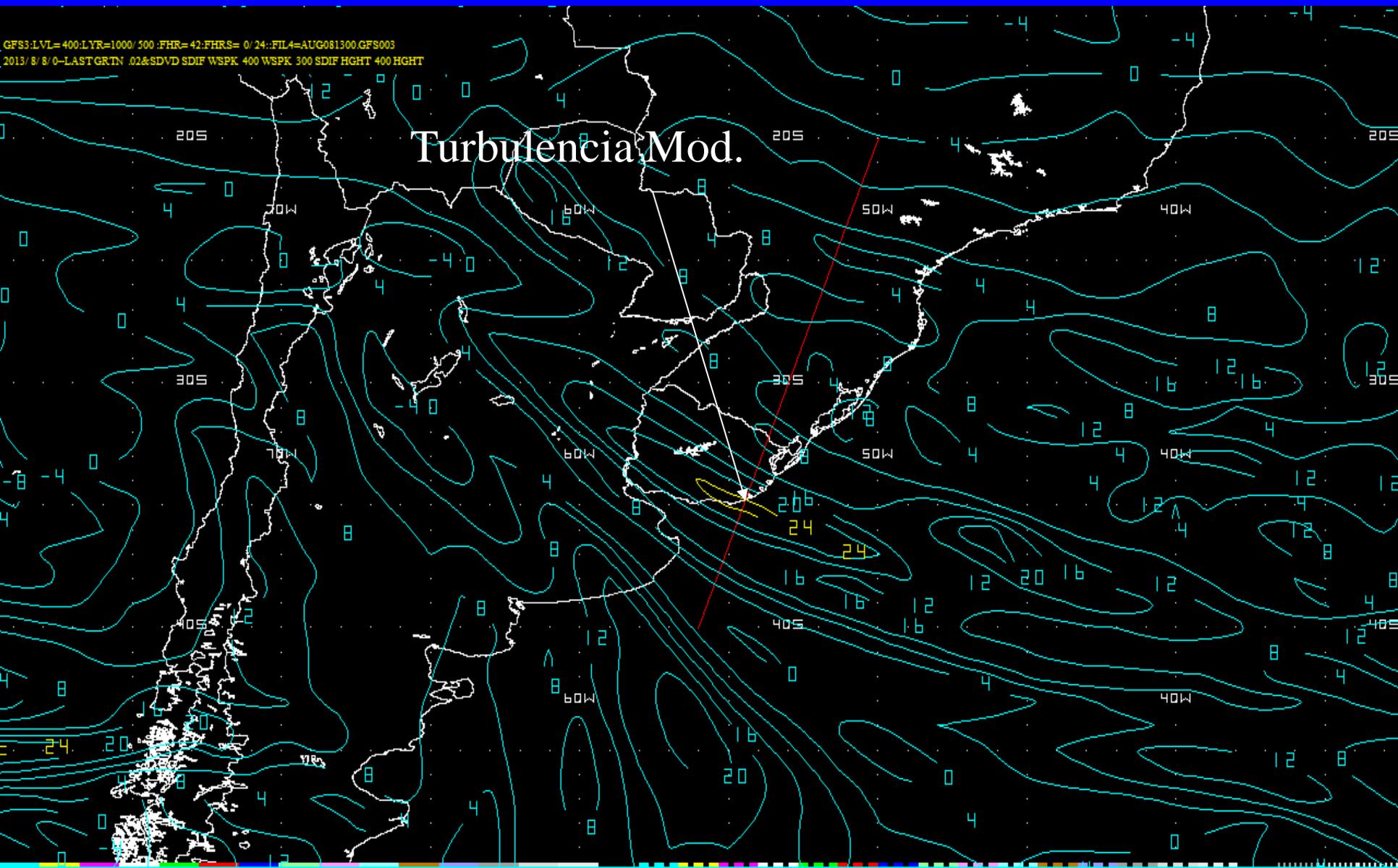
GFS3:Lat/Lon 40S/56W=>20S/50W:FHR=42:FHRS=0/24::FIL4=AUG081300.GFS003  
2013/8/0-WSPK CI10 GT60&WSPK CI10&ANIM



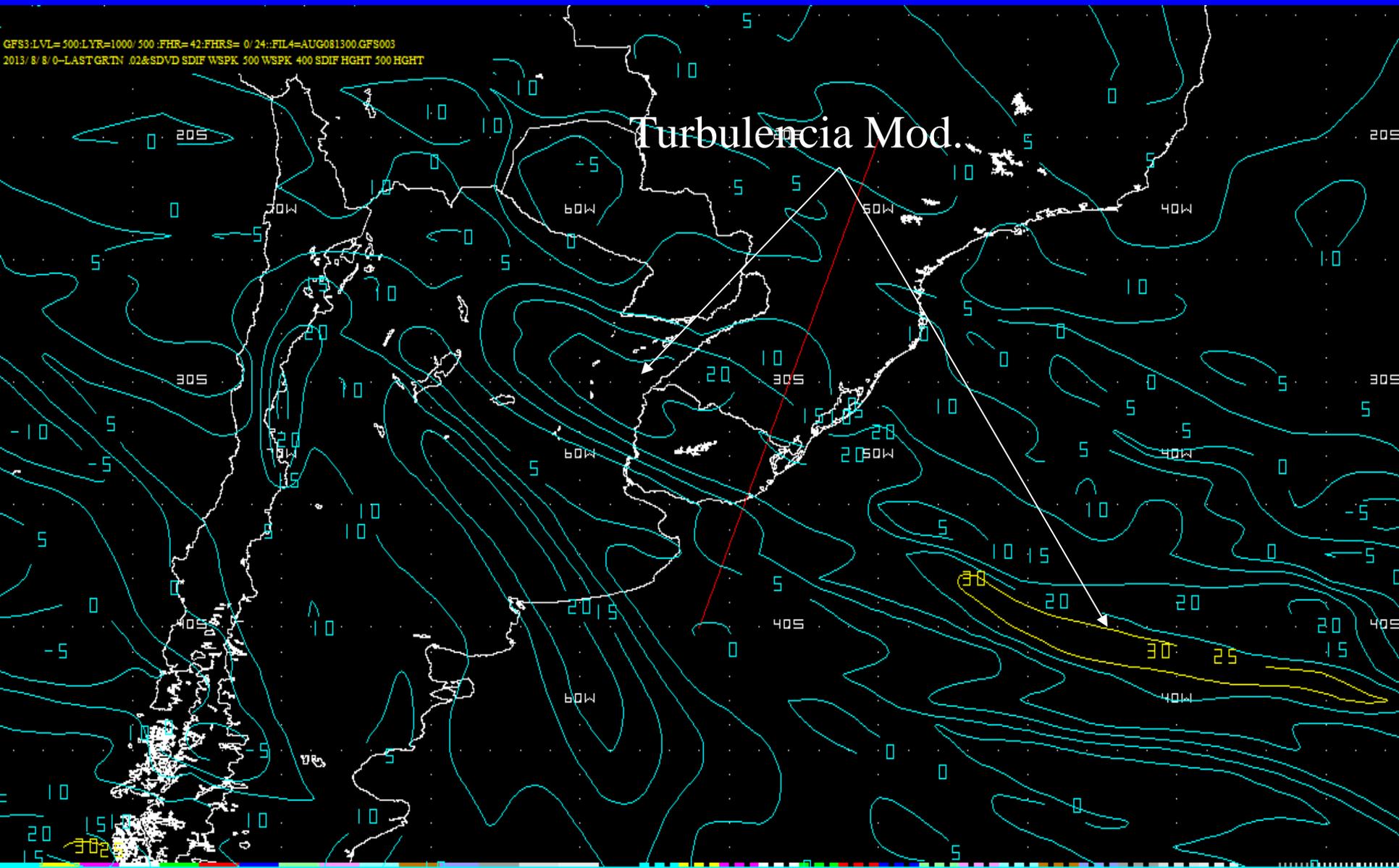
# Cortante Vertical: 300-250 hPa



# Cortante Vertical: 400-300 hPa



# Cortante Vertical: 500-400 hPa



# Otros Indicadores

# Numero de Richardson

- La ecuación de Richardson, para diagnosticar turbulencia, toma en consideración la estabilidad de la columna y la cortante en la vertical.

$$Ri = \frac{g\beta}{(\partial u / \partial z)^2},$$

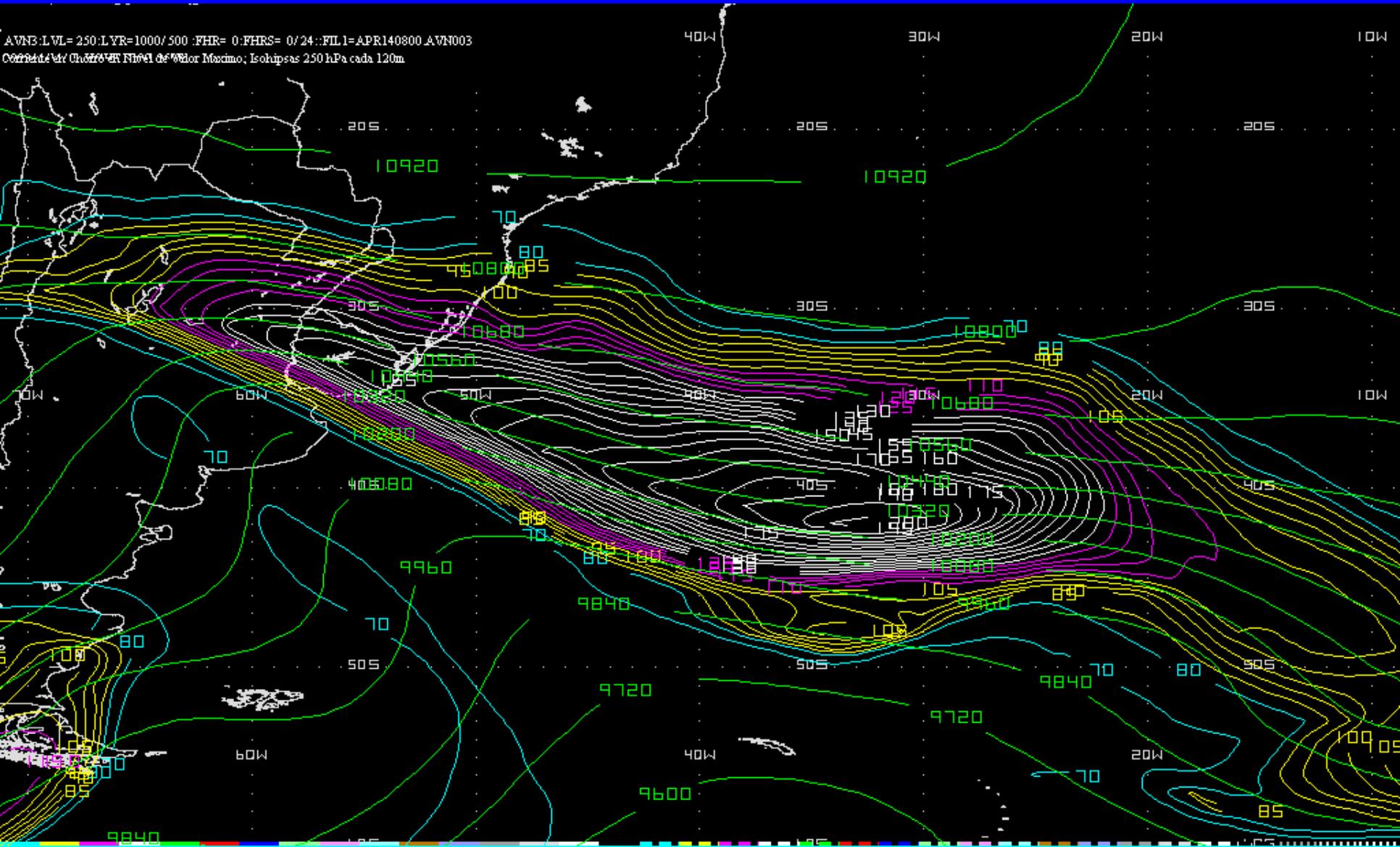
- *Donde “g” es la gravedad,  $\beta$  representa la estabilidad vertical (dado por  $\partial\theta/\partial z$ , donde  $\theta$  es la temperatura potencia) y  $\partial u/\partial z$  es la cortante vertical del viento total.*

# Numero de Richardson (INRI.)

- Valores Típicos:
  - $Ri \leq 0.25$  Estudios estadísticos sugieren que este es el valor mínimo, pero estudios sugieren que puede aproximarse a 1 antes de que el flujo se vuelva laminar/estable.
  - Como se tratan números pequeños, típicamente se invierte el valor para general números enteros
- Inverso del Numero de Richardson
  - 6 a 9 Turbulencia Moderada
  - 9 o mas, Turbulencia Severa

# Jet

AVN3.LVL= 250.LYR=1000/ 500 :FHR= 0:FHRS= 0/24::FIL1=APR140800 AVN003  
Contorno de Chorro de Tívoli de Mayor Máximo, Isobarsas 250 hPa cada 120m.

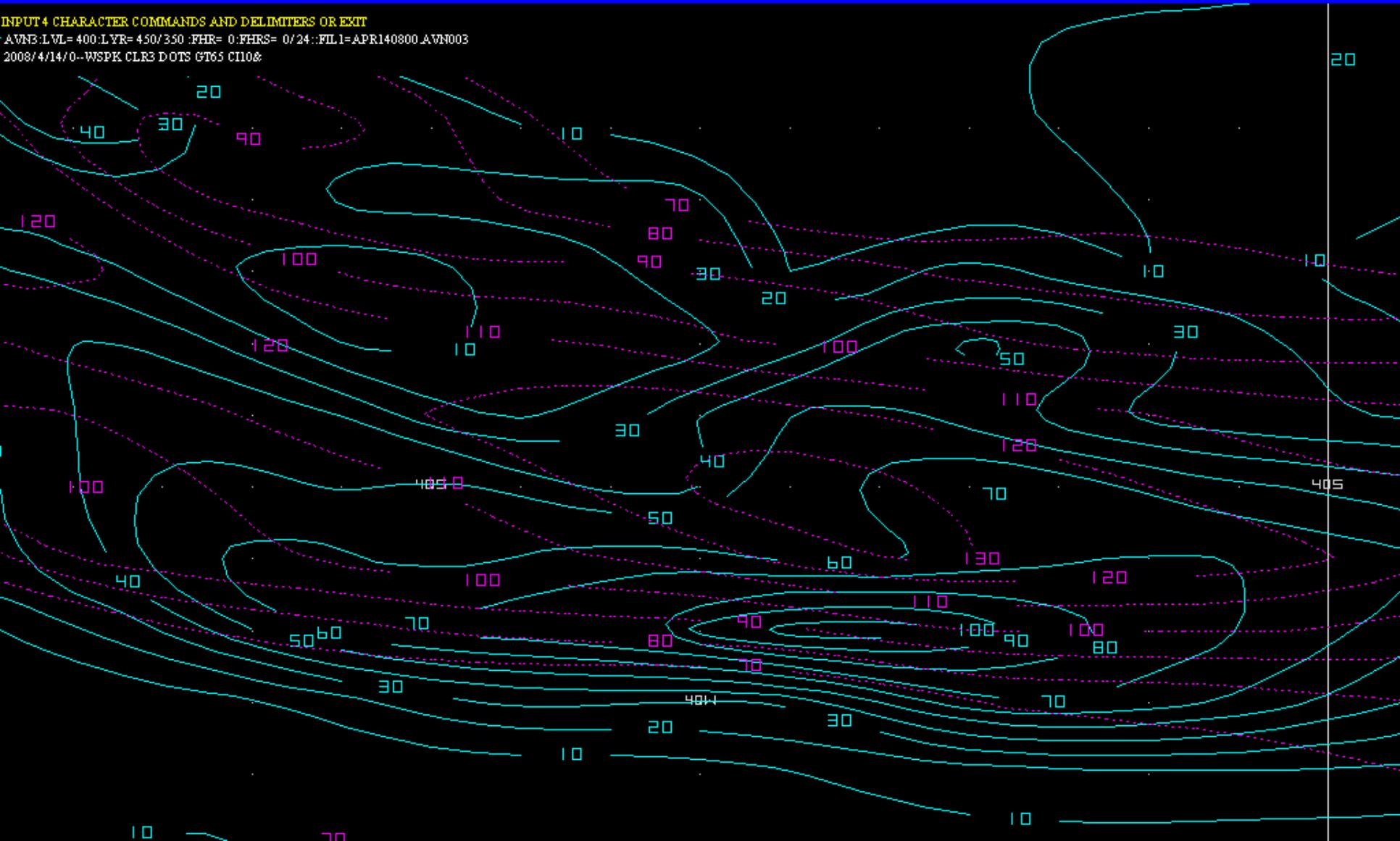


# INRI. Nivel de 400

INPUT 4 CHARACTER COMMANDS AND DELIMITERS OR EXIT

AVN3:LVL= 400:L.YR= 450/350 :FHR= 0:FHRS= 0/24::FIL1=APR140800.AVN003

2008/4/14/0--WSPK CLR3 DOTS GT65 CI10&

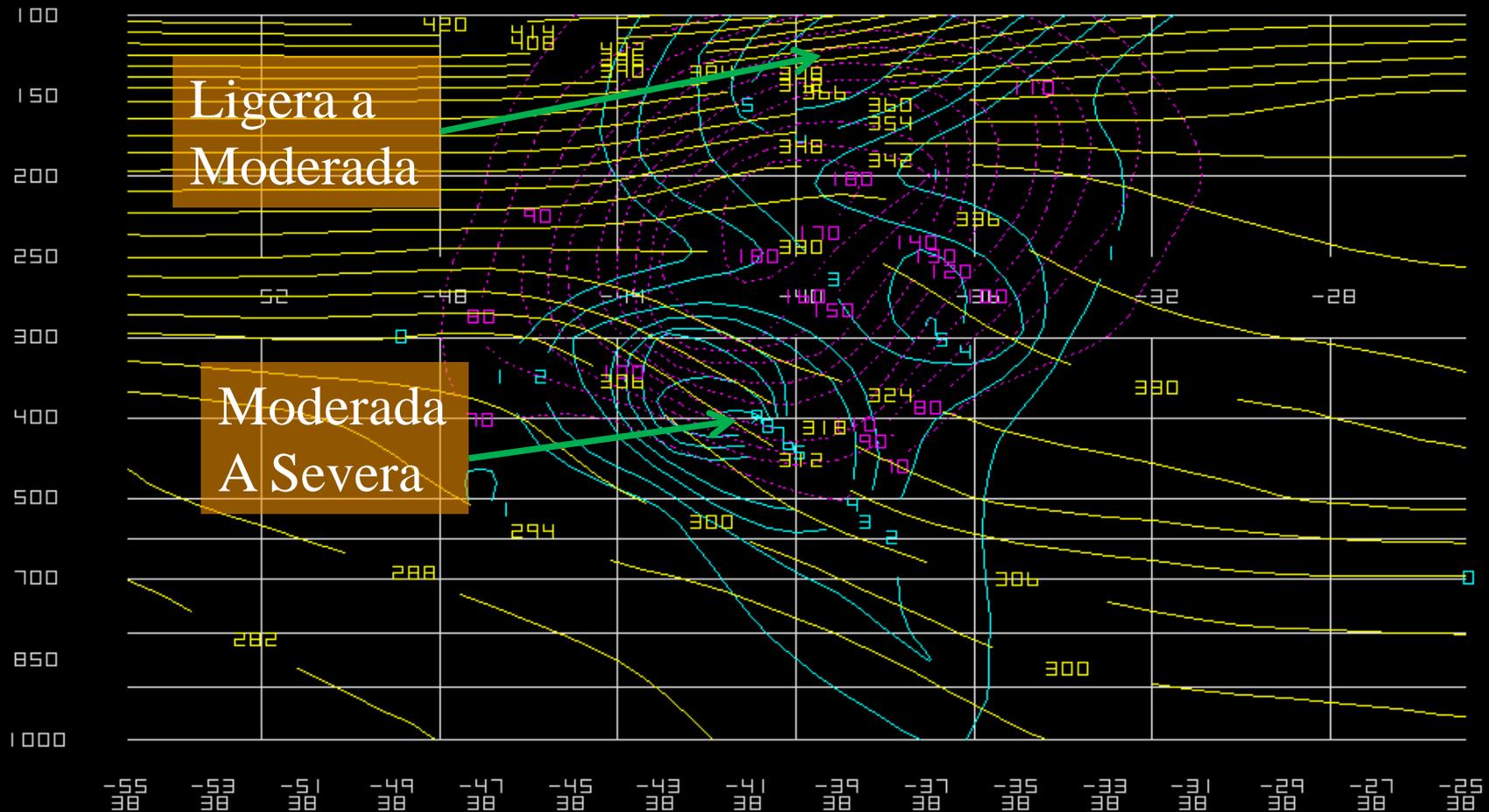


# INRI. Corte Transversal

INPUT 4 CHARACTER COMMANDS AND DELIMITERS OR EXIT

AVNE:Lat/Lon:53S/38W=> 25S/38W :FHR= 0:FHR3= 0/24::FIL1=APR140800\_AVN003

2008/4/14/0--THIA CIN6 CLR2&WSPK GT65 CI10 CLR3 DOTS&



# Índice de Ellrod (ELRD.)

- **Deformación por Cizalladura**

$$DSH = \frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy}$$

- **Deformación por Estiramiento**

$$DST = \frac{du}{dx} - \frac{dv}{dy}$$

- **Deformación Total**

$$DEF = (DSH^2 + DST^2)^{1/2}$$

- **Convergencia**

$$CVG = -\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right)$$

- **Cizalladura en la Vertical**

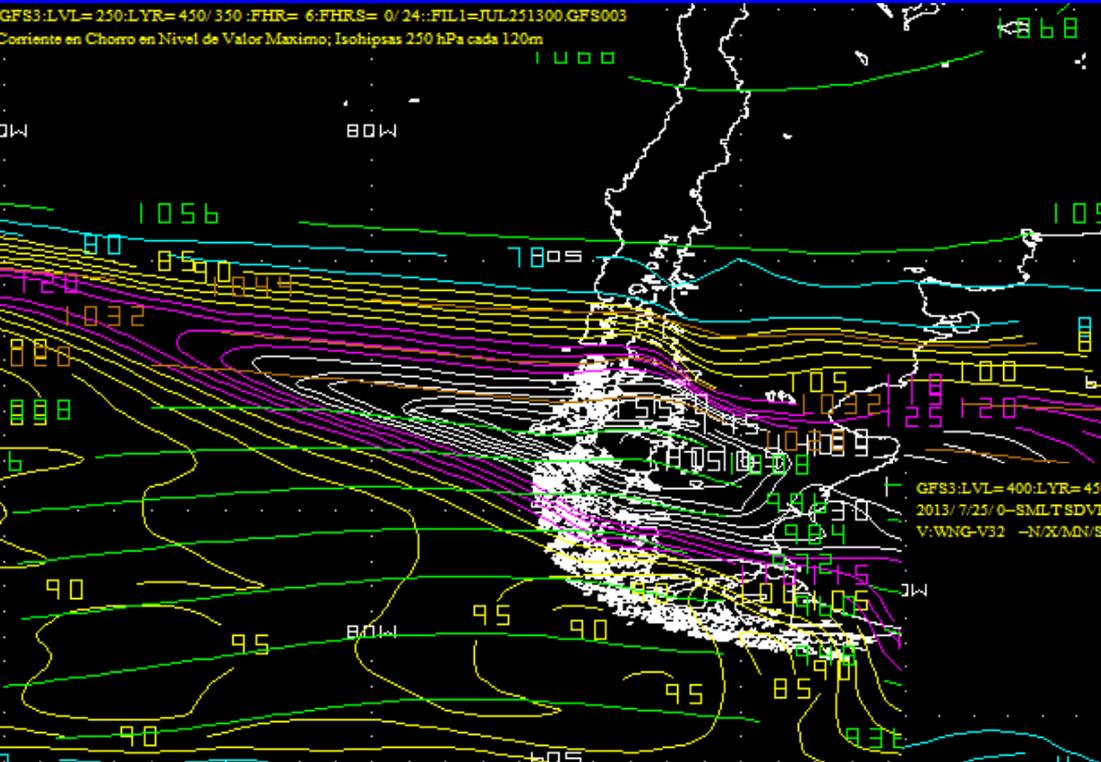
$$VWS = \frac{\Delta V}{\Delta Z}$$

- **Índice de Ellrod**

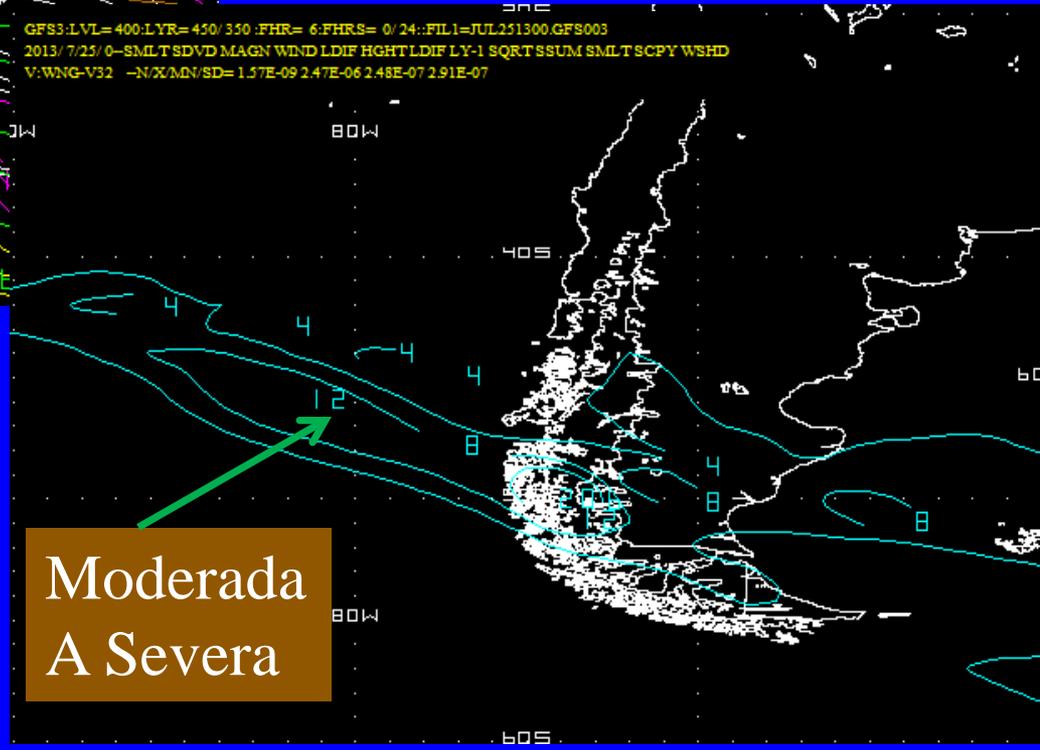
$$IE = VWS \times (DEF + CVG)$$

Intensidad	Valor
Ligera-Mod	4
Moderada	8
Mod-Severa	12

# Índice de Elrod



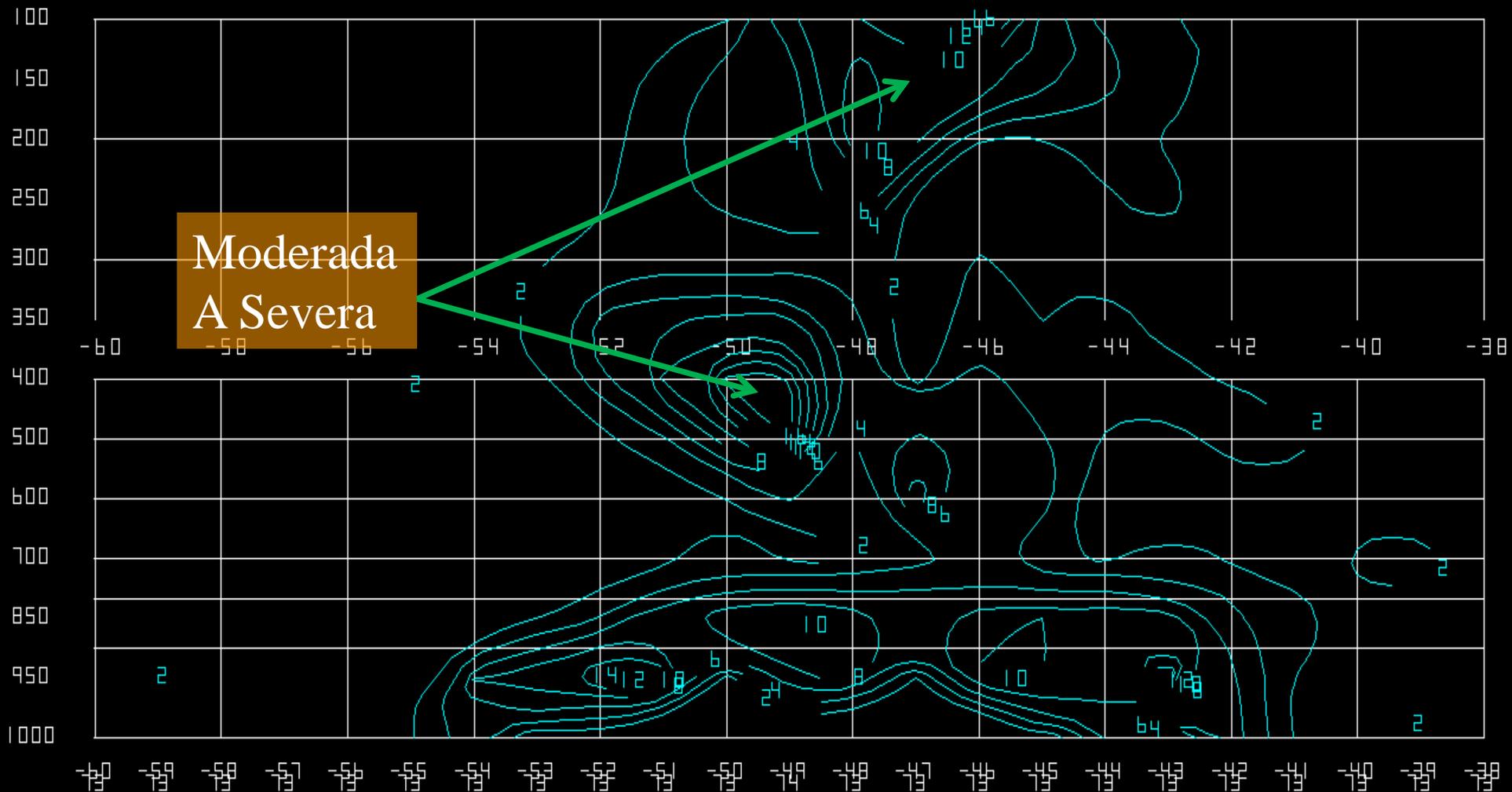
GFS3:LVL= 400:LYR= 450/350:FHR= 6:FHRS= 0/24::FIL1=JUL251300.GFS003  
2013/7/25/0-SMLTSDVD MAGN WIND LDIF HGTLDIF LY-1 SQRT SSUM SMLT SCPY WSHD  
V:WNG-V32 -N/X/MN/SD=1.57E-09 2.47E-06 2.48E-07 2.91E-07



Moderada  
A Severa

# Índice de Elrod

GFS3:Lat/Lon 60S/73W=>38S/73W:FHR= 6:FHRS= 0/24::FIL1=JUL251300.GFS003  
2013/7/25/0-SMLTSDVD MAGN WIND LDIF HGHTLDIF LY-1 SQRTSSUM SMLTSCPY WSHD



¿Preguntas?

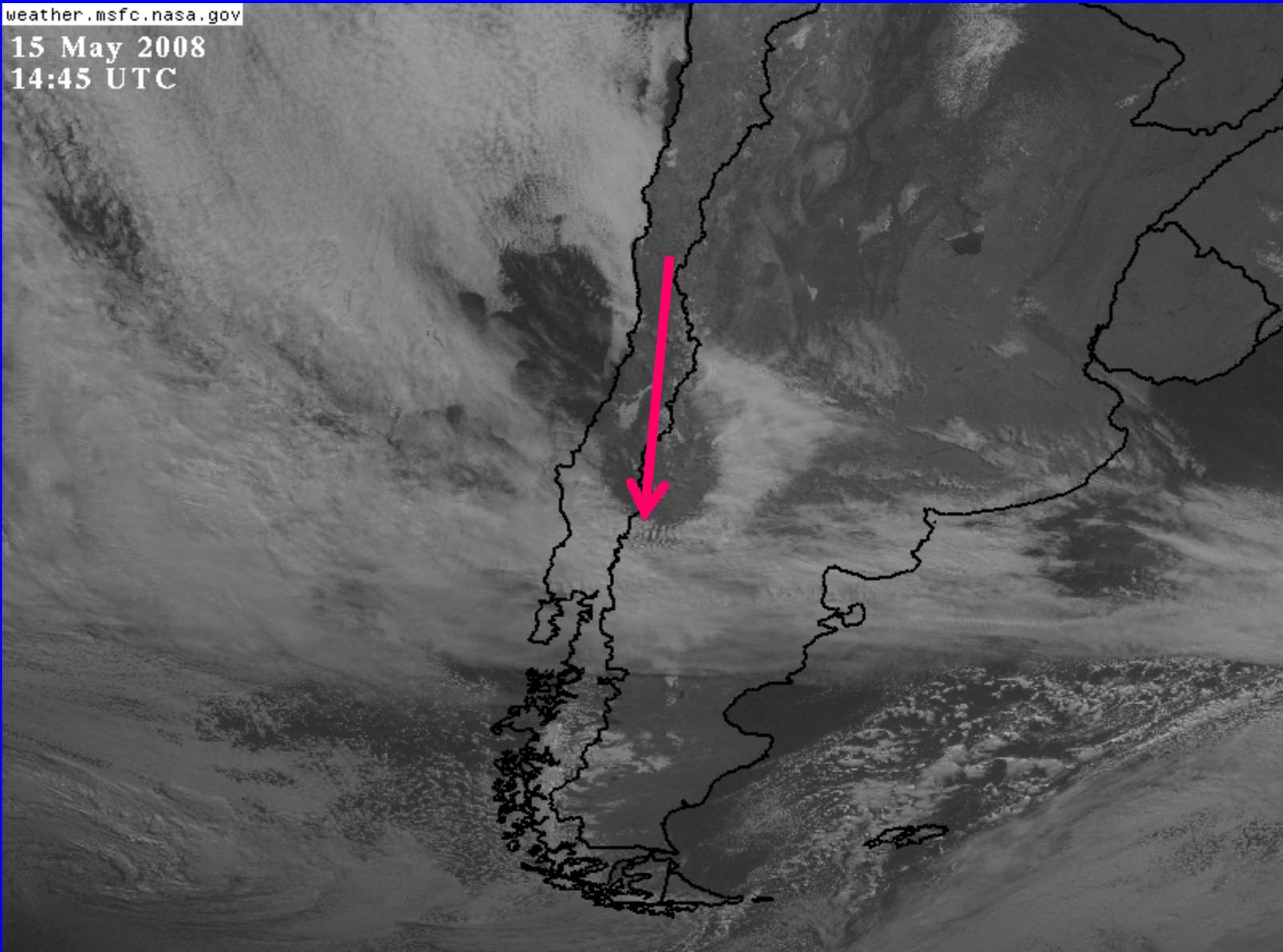
# Prueba

- ¿Por qué es tan difícil el verificar pronósticos de turbulencia?
- ¿Cuáles son los tipos de turbulencia?
- ¿Qué implica la turbulencia en aire claro (CAT)?
- ¿Qué nos indica la presencia de nube rotor/lenticular?
- ¿Qué intensidad de turbulencia es pronosticada en las cartas de vuelo de tiempo significativo?

¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

weather.msfc.nasa.gov

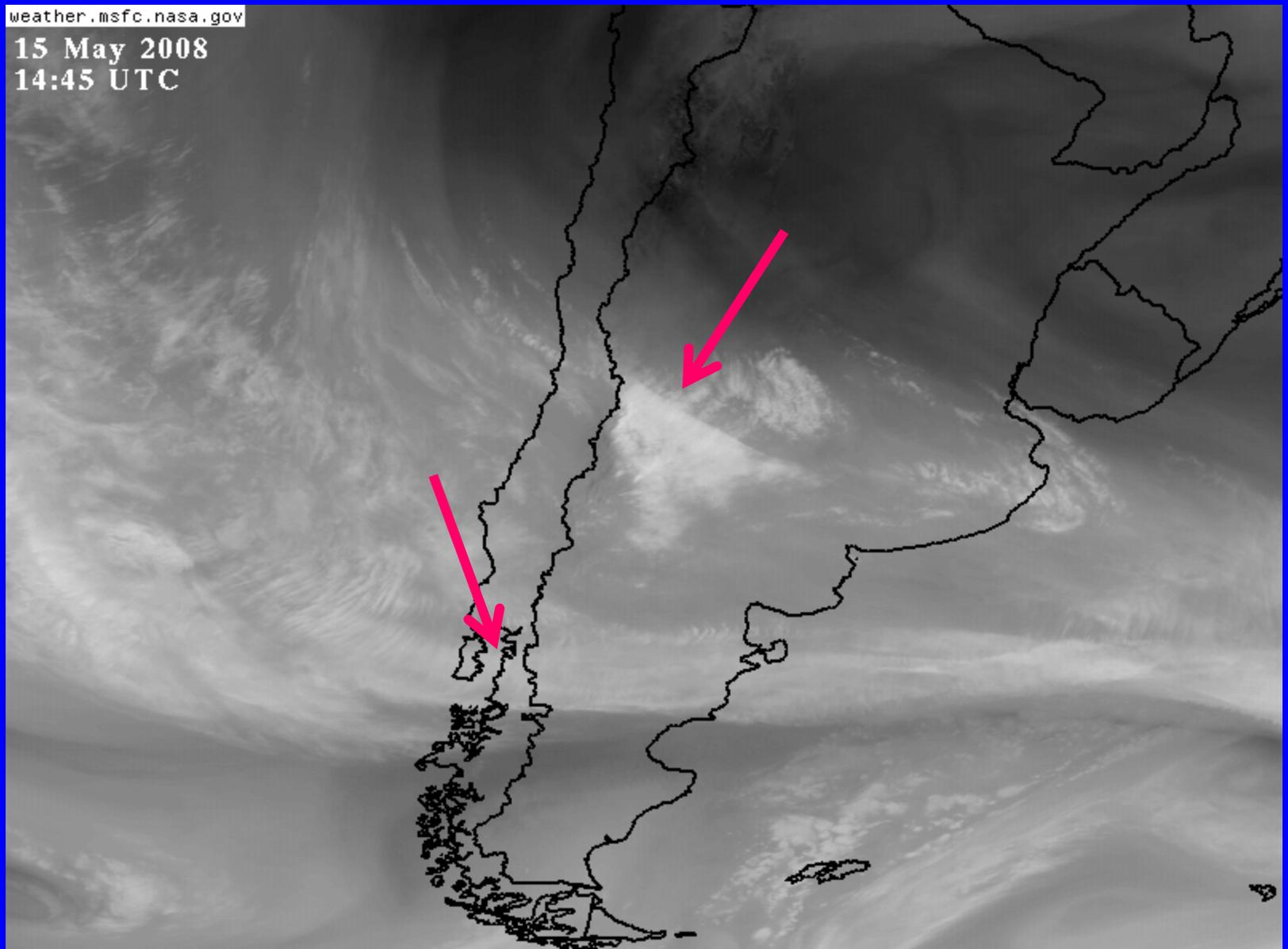
15 May 2008  
14:45 UTC



¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

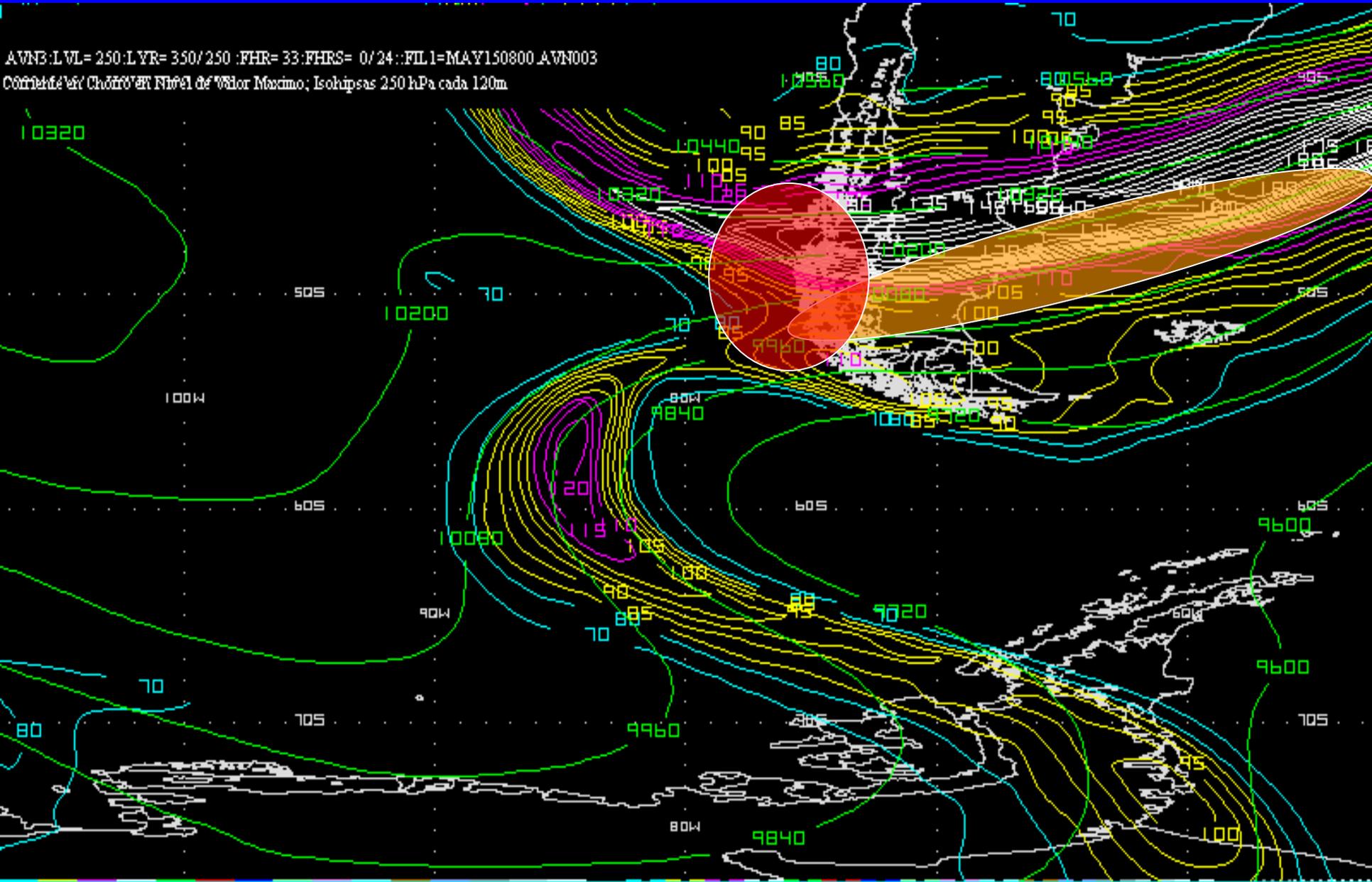
weather.msfc.nasa.gov

15 May 2008  
14:45 UTC



# ¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

AVN3:LVL= 250:LYR= 350/250 :FHR= 33:FHRS= 0/24::FIL1=MAY150800 AVN003  
Contorno de Chorro de Nivel de Viento Máximo; Isobars 250 hPa cada 120m

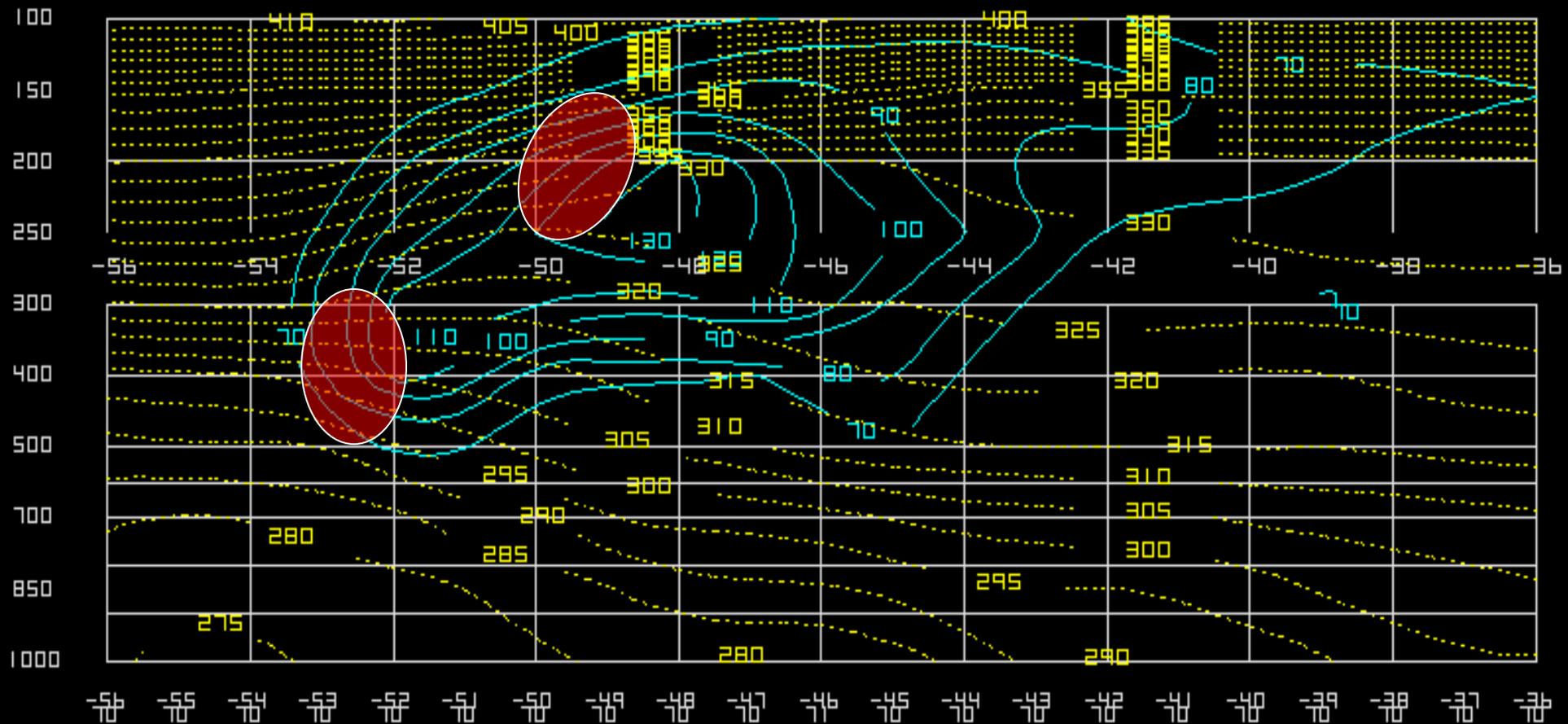


# Prueba

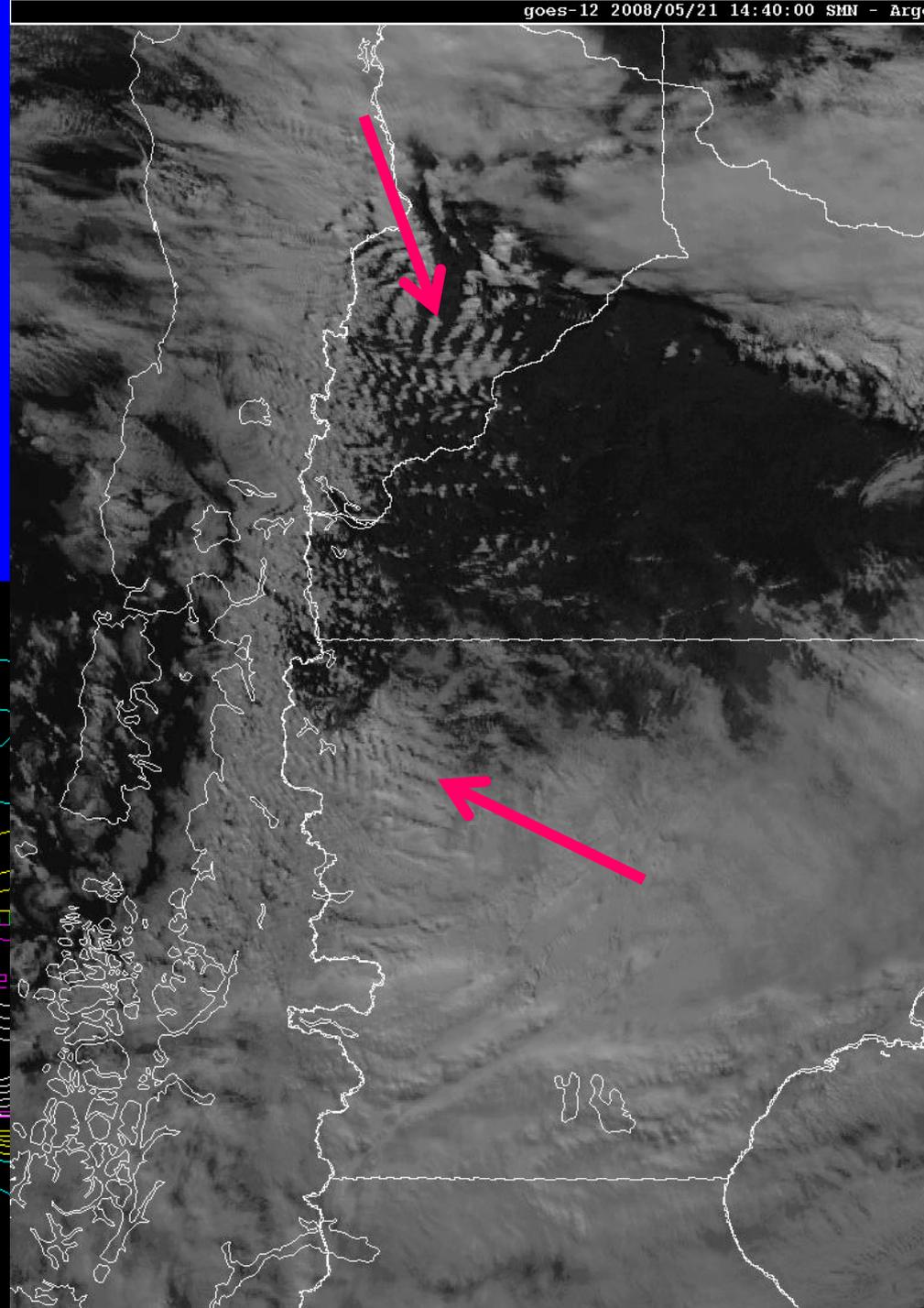
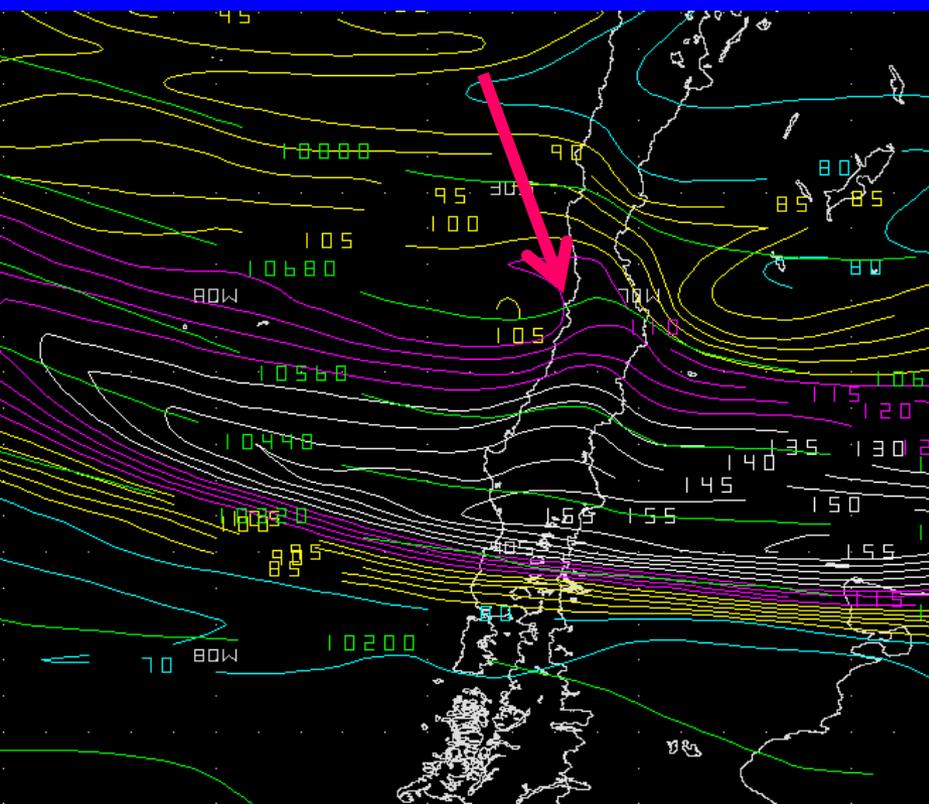
- ¿De qué lado del jet es más probable que se presente turbulencia, del lado frío o del lado cálido?  
¿Por qué?
- ¿Por qué es necesario para los pilotos saber si hay riesgo de LLWS?
- ¿Qué función cumple la turbulencia en la atmosfera?

# ¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

MW3:Lat/Lon 56S/ 70W=> 36S/ 70W :FHR= 42:FHRS= 0/ 24::FIL1=MAY150800.MW003  
2008/ 5/15/ 0--THTA CIN5 DOTS&WSPK GT65 CI10&ANIM



¿En estas  
imágenes, ven  
áreas de posible  
turbulencia?



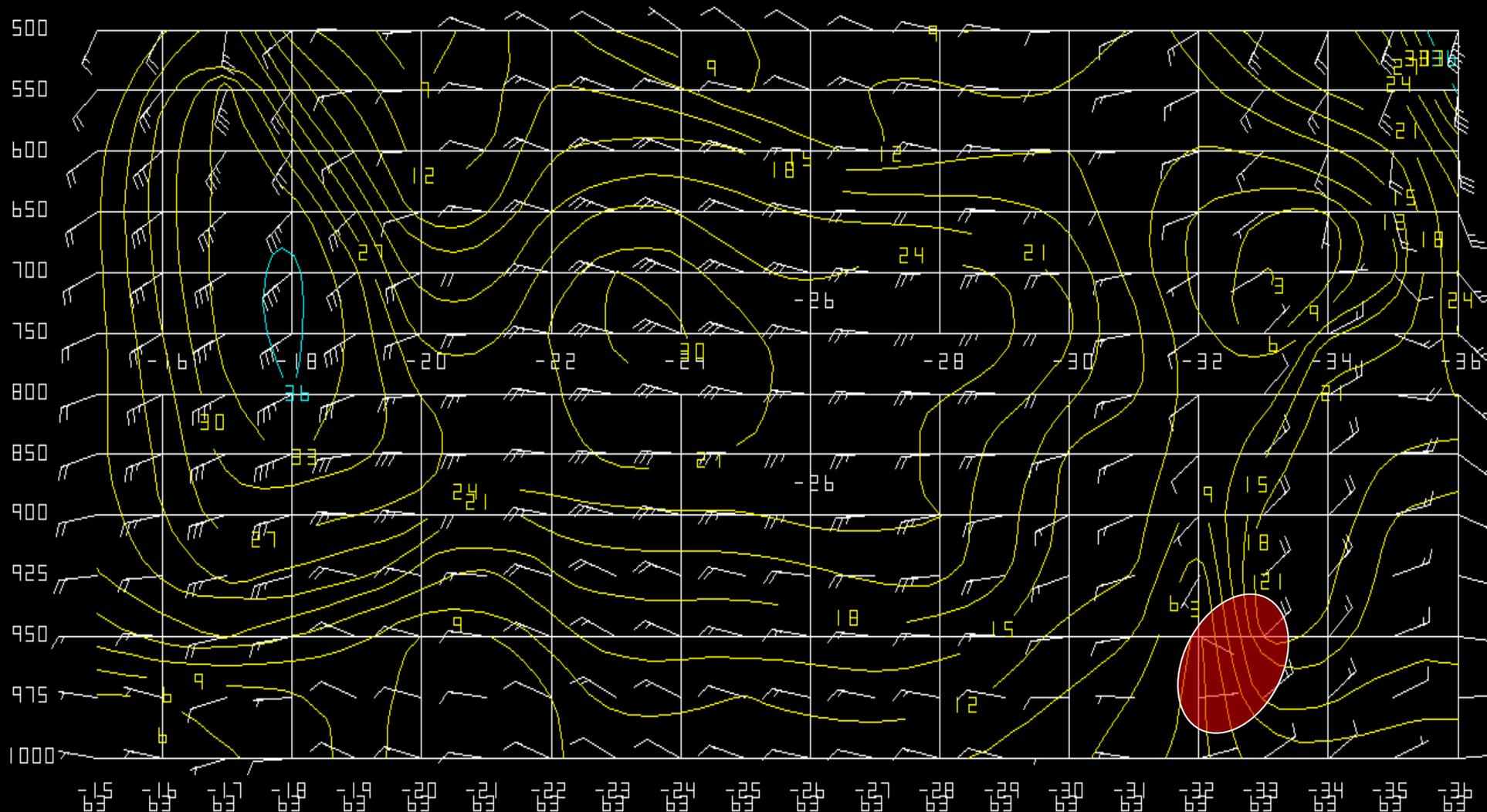


# Prueba

- ¿Qué impacto tiene el peso de la aeronave en la turbulencia que se siente?
- ¿Qué impacto tiene el largo de las alas de la aeronave en la turbulencia que se siente?
- ¿Qué intensidad de turbulencia típicamente se espera en Cb maduros?
- ¿Qué intensidad de turbulencia típicamente se espera en tormentas severas?

# Identifique Áreas de LLWS

GFS3:Lat/Lon 15S/ 63W=> 36S/ 63W:FHR= 60:FHRS= 0/ 24::FIL1=FEB071400.GFS003  
2014/ 2/ 7/ 0-XREL BKNT CLR4&WSPK LSTN 36 CIN3&WSPK CIN6&ANIM



# Identifique periodo de mayor riesgo de LLWS

