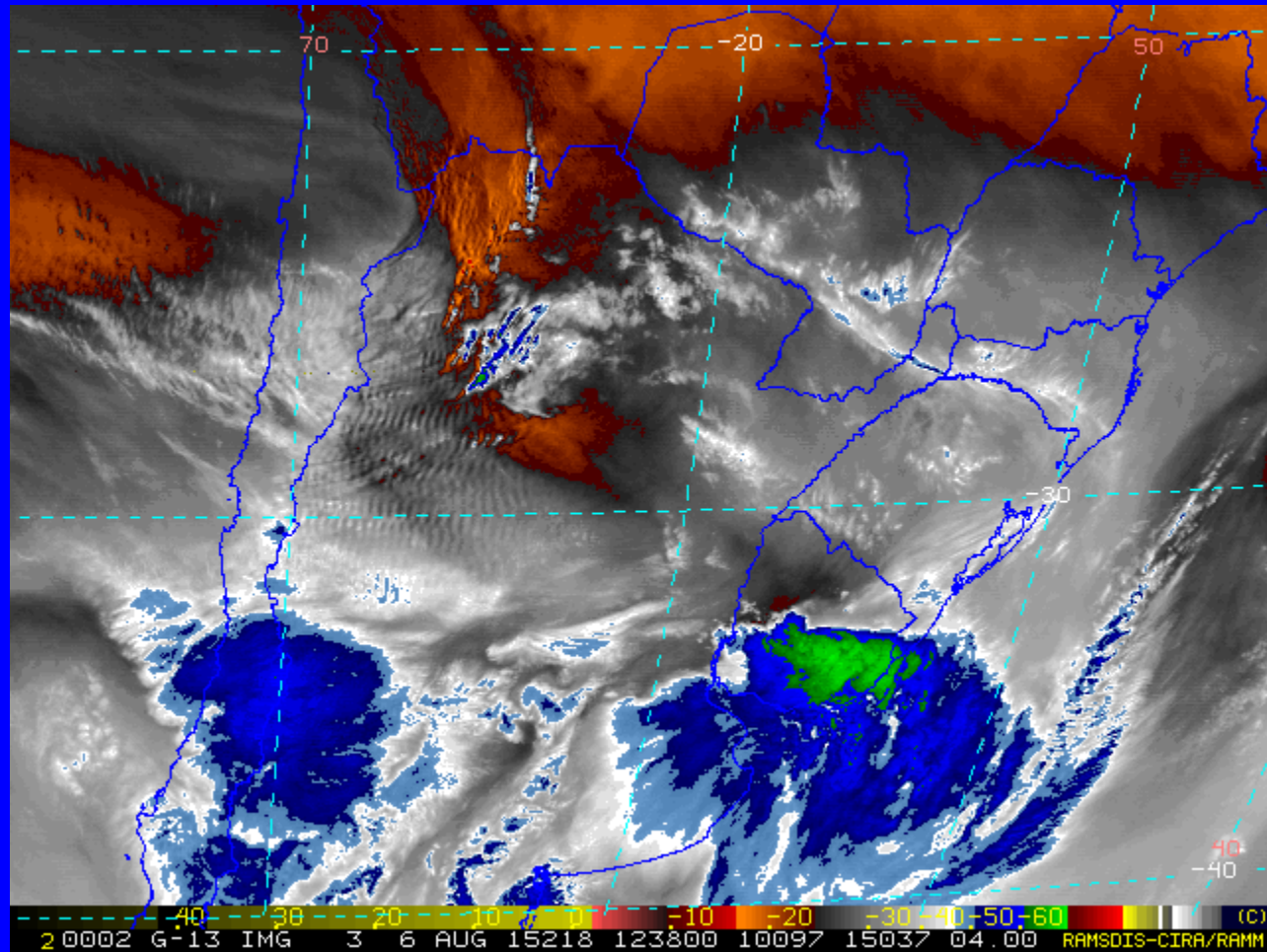


Turbulencia Pronostico y Diagnostico



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?

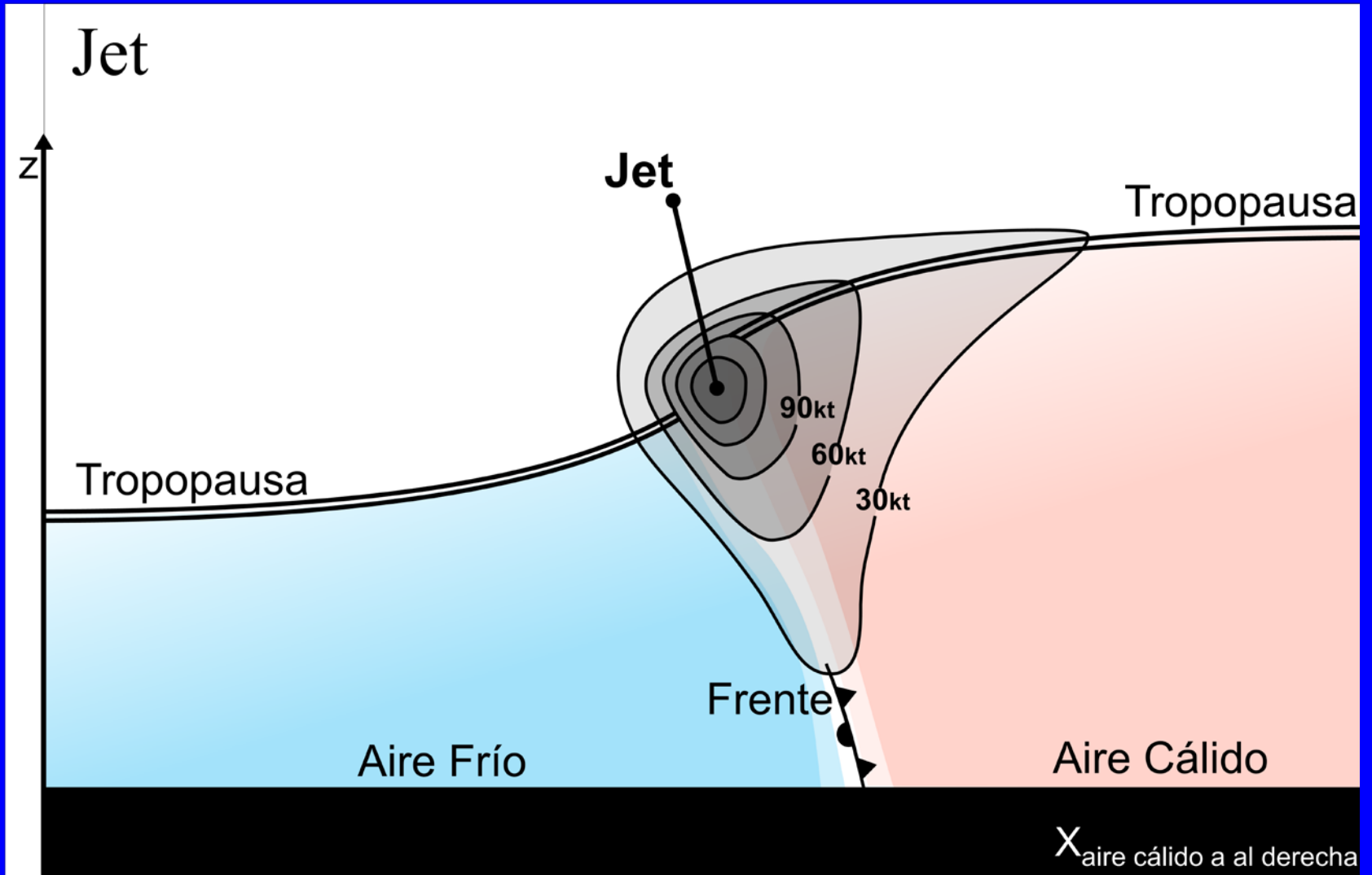
Función de la Turbulencia

- 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.

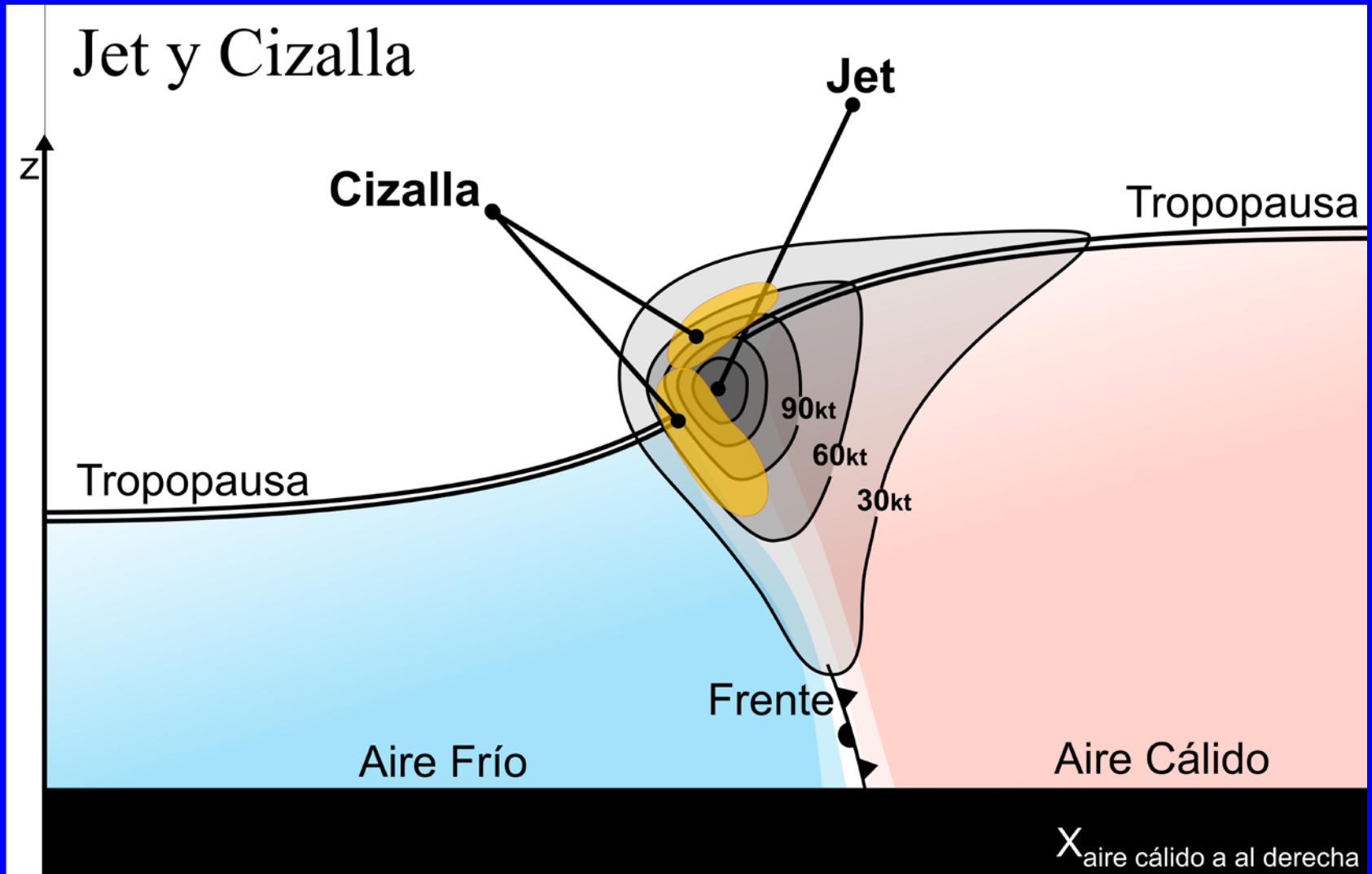
Mecanismo para la Turbulencia

- Cortante del viento a lo largo de una frontera de diferente densidad
 - **Cortante**
 - Vertical/Horizontal
 - Velocidad/Dirección
 - **Discontinuidad de Densidad**
 - Deformación
 - Frontogénesis
 - Gradientes de temperatura/advección termal en altura
 - En vapor de Agua – bordes pronunciados

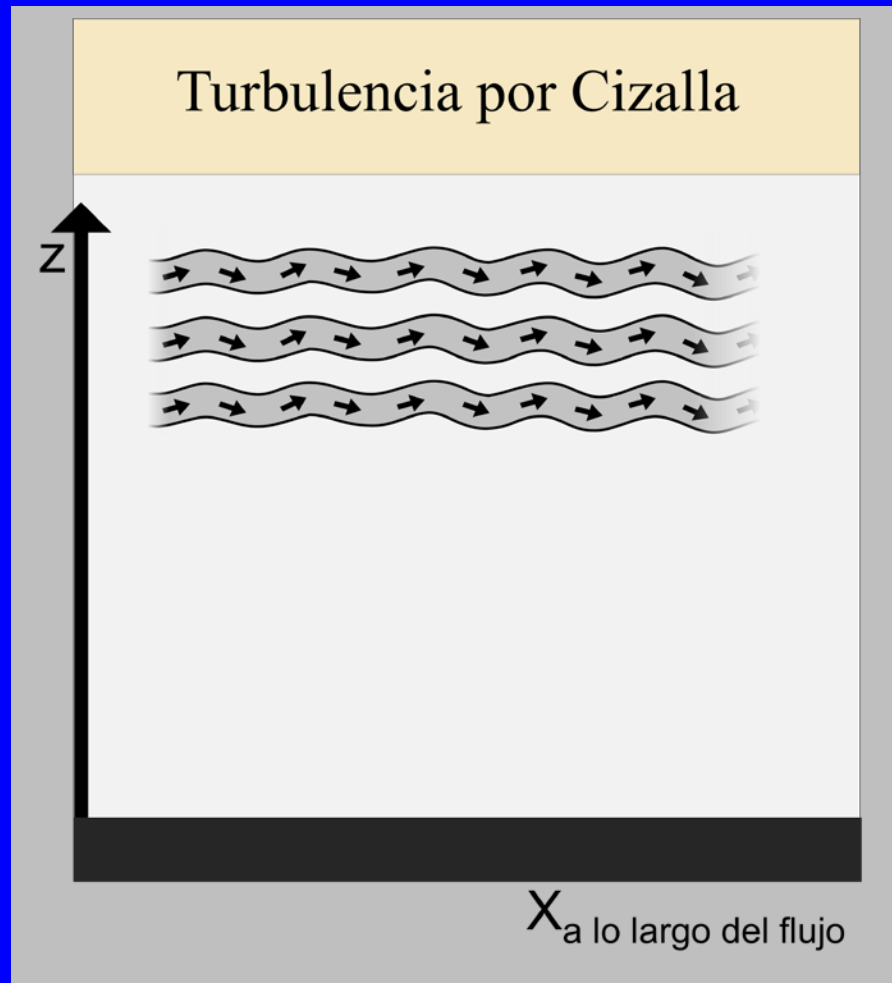
Corriente en Chorro/Corte



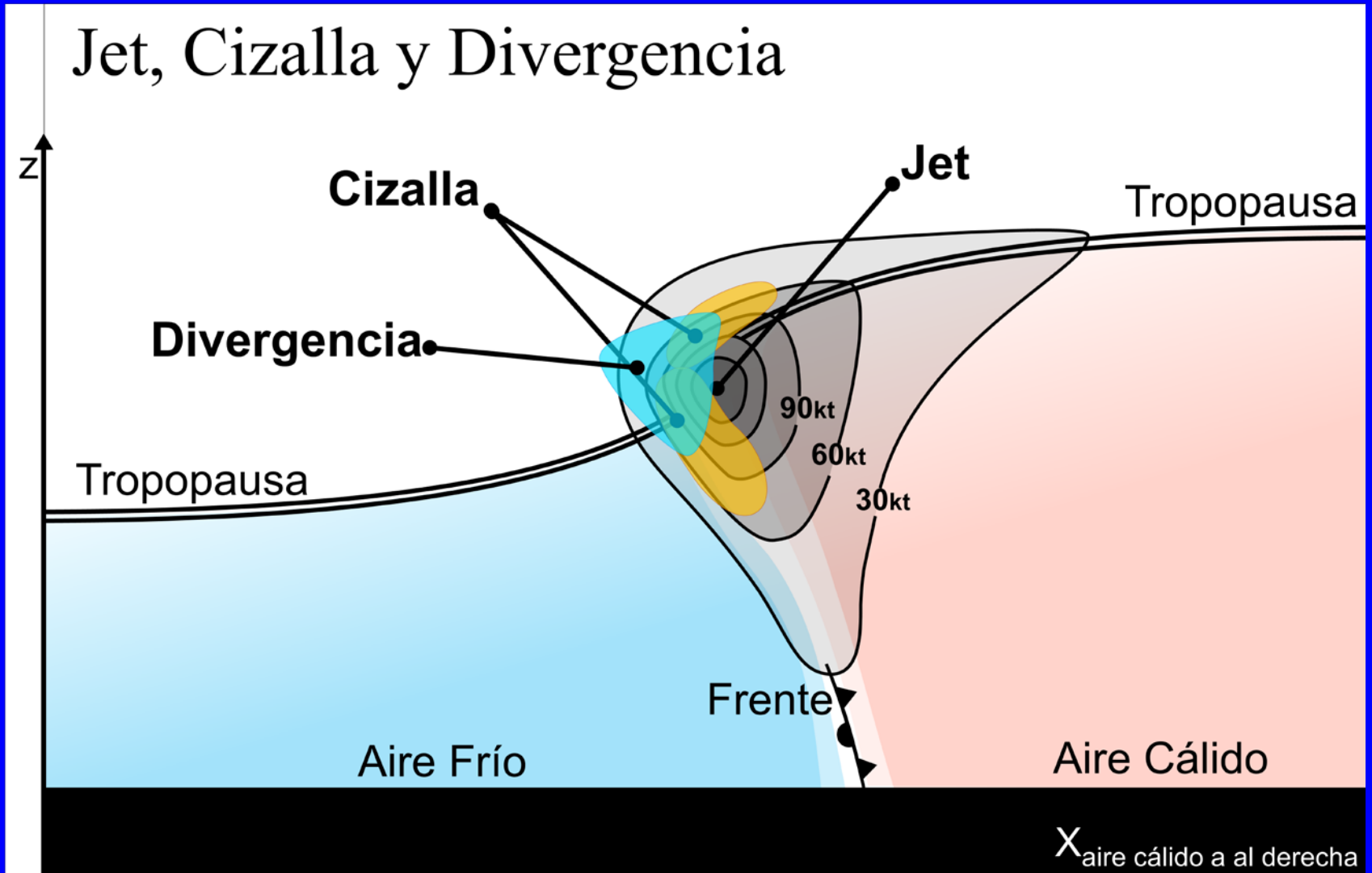
Corriente en Chorro/Corte



Generación de Ondas



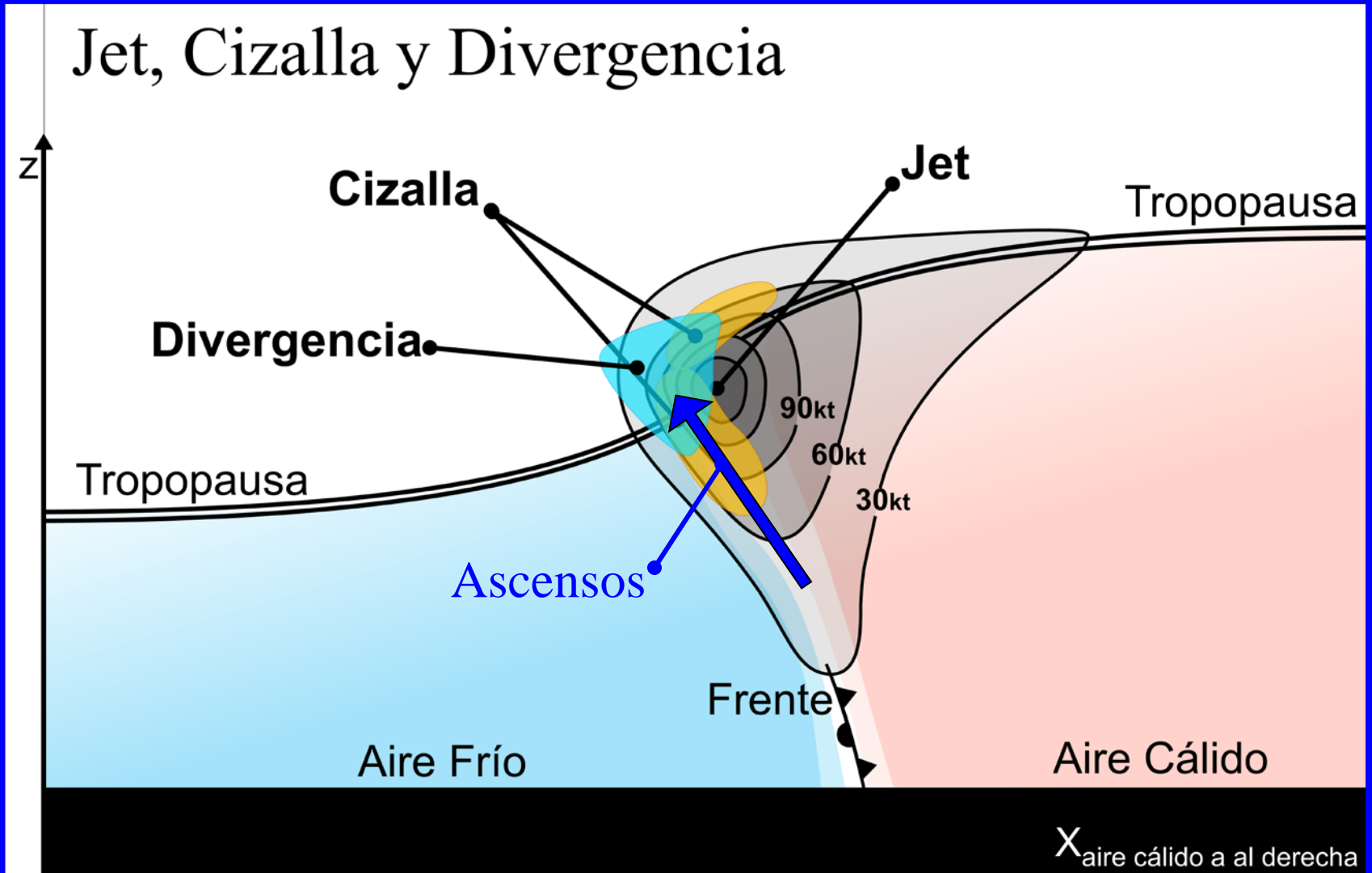
Corriente en Chorro/Corte



Mecanismo para la Turbulencia

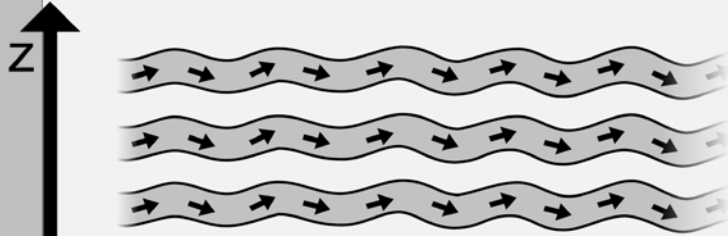
- Cuando la cortante del viento es suficientemente fuerte, ondas se forman a lo largo de la frontera de diferente densidad
- Si la estabilidad estática es suficientemente baja, las ondas continúan creciendo en amplitud, y se empiezan a propagar mientras se vuelven turbulentas.

Corriente en Chorro/Corte



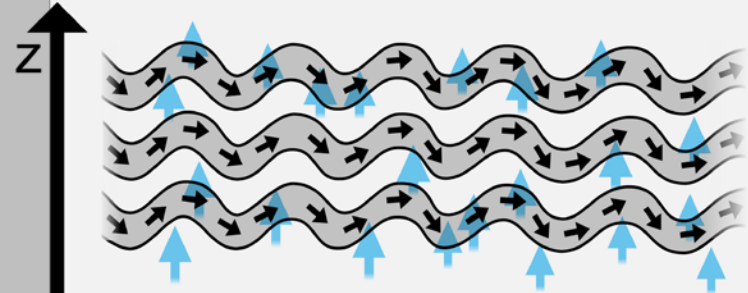
Generación de Ondas

Turbulencia por Cizalla



X_a a lo largo del flujo

Turbulencia por Cizalla
es resaltada por Divergencia



X_a a lo largo del flujo

Mecanismo para la Turbulencia

- Ruptura/Colapso del flujo anticiclónico
 - El crecimiento del flujo anticiclónico es limitado
 - En el limite, la rotación absoluta es opuesta a la rotación planetaria.
 - Corregido por inestabilidad inercial
 - La ruptura espontanea del balance resulta en la formación ondas de gravedad.

Mecanismo para la Turbulencia

- Flujo Desbalanceado
 - Convergencia/Divergencia (Tendencia)
 - Región de entrada/salida del jet
 - Traslado del jet
 - Jets en fortalecimiento
 - Curvatura en el flujo
 - Impacto mayor de la componente ageostrófica
 - La dinámicas ageostrófica fuertemente resaltan la cortante vertical
 - Correcciones geostróficas, tratando de balancear el flujo, favorecen la generación de ondas de gravedad.

Turbulencia

Peligro para la Aviación

- Perdida de control de la aeronave
- Potencial daños estructurales
- Lesiones/Letales a la tripulación y pasajeros

Otros Impactos de la Turbulencia

Piloto

- Confort de los pasajeros y su tripulación
- Consumo de combustible aumenta
 - Tratando de mantener su nivel de vuelo
 - Evitando las regiones de turbulencia
- Preocupación de impacto durante el aterrizaje

Controladores Aéreos

- Incrementa la distancia entre los aviones
- Congestión en la Pista

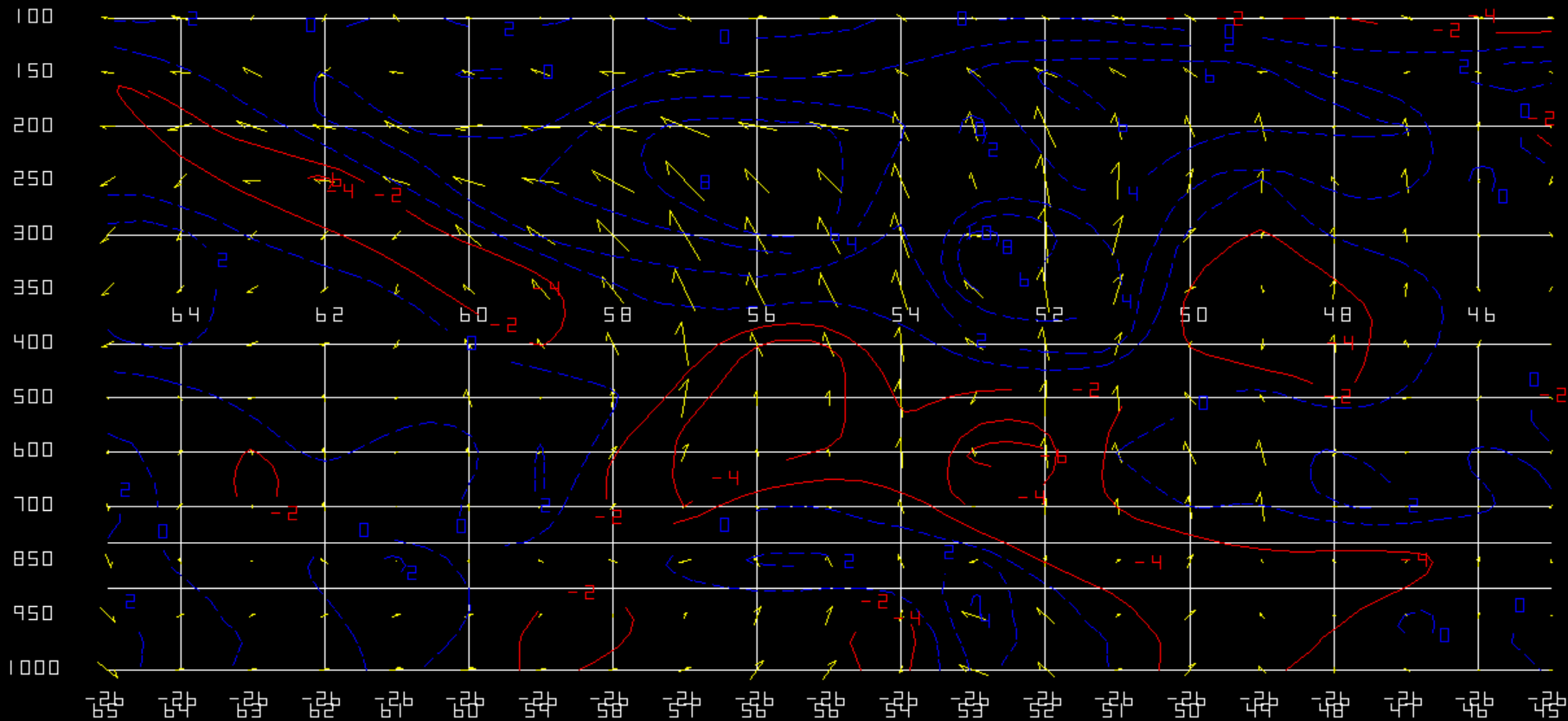


Factores que Contribuyen a la Turbulencia

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

- 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



© AP



© Wikipedia



Categorías de Aeronaves

Table 2-5. Aircraft turbulence category type.

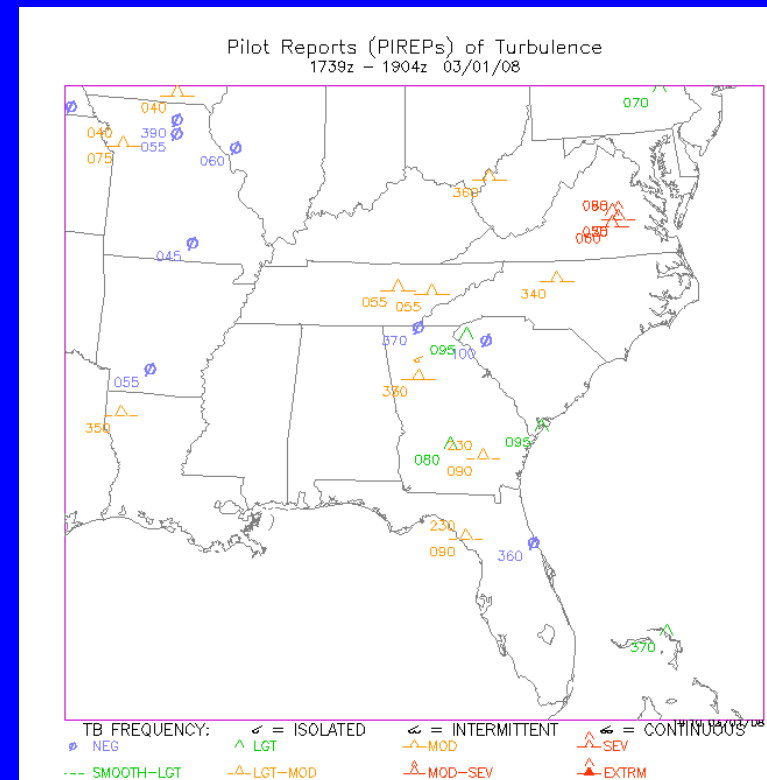
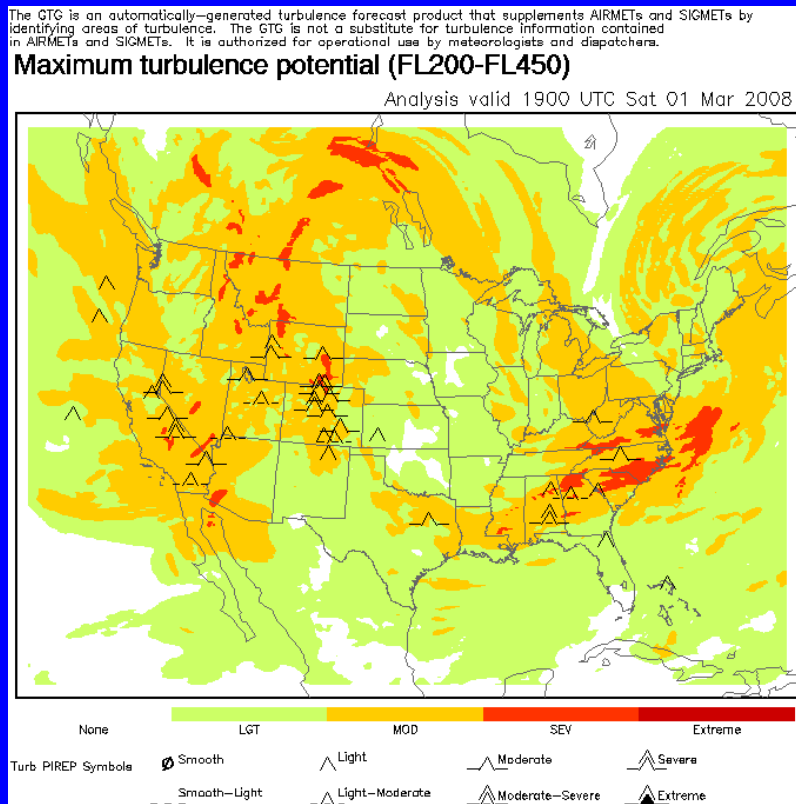
Military Aircraft Turbulence Categories	
Aircraft Type	Turbulence Category
OH-58 UH-1 AH-1 T-41 T-51	I
AH-64 B-52H C-37 C-130 C-141 C-20 C-12 C-5A/B C-9A/C C-37 C-141 CC18-180 CH-47 CT-43A DA-20 E-3B E-4B F-15 F-16 KC-135 RAH- 66T-1A T-6 T-38 T-43A TG-10 U-25 U-21 UH-72a H-3 H-69 V-22	II
A-10 C-17A C-21A 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

Verificación de Pronósticos

- Buenos pronósticos son difíciles de verificar.
 - Los pilotos tomaran acciones para mitigar los efectos
 - Evitando el área
 - Ingresando el área de pronostico a menor velocidad

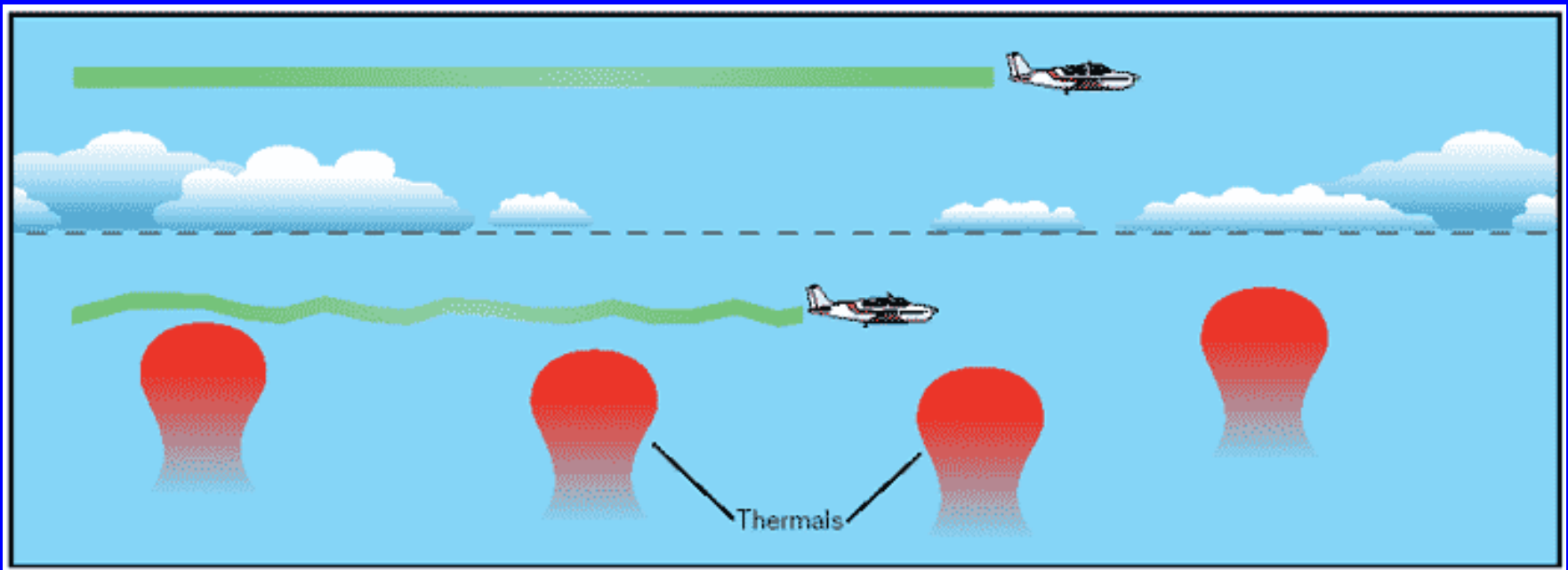


Tipos de Turbulencia

Tipos de Turbulencia

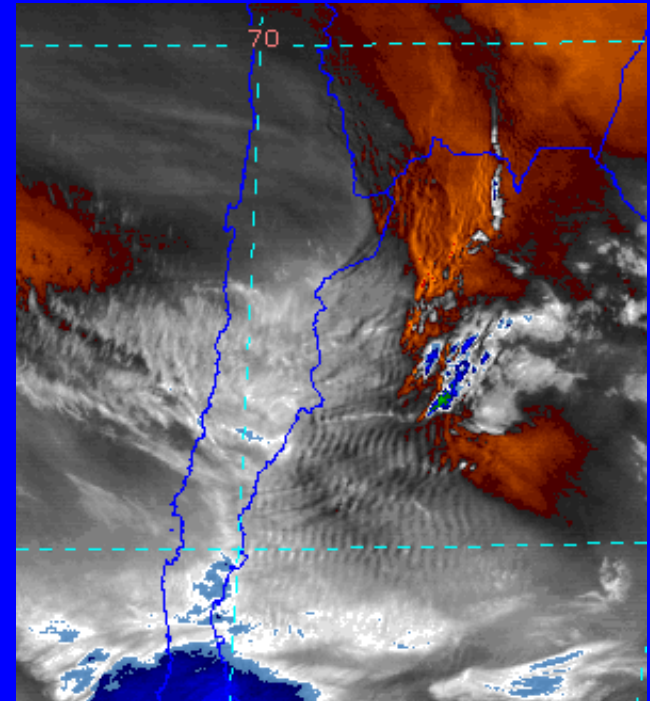
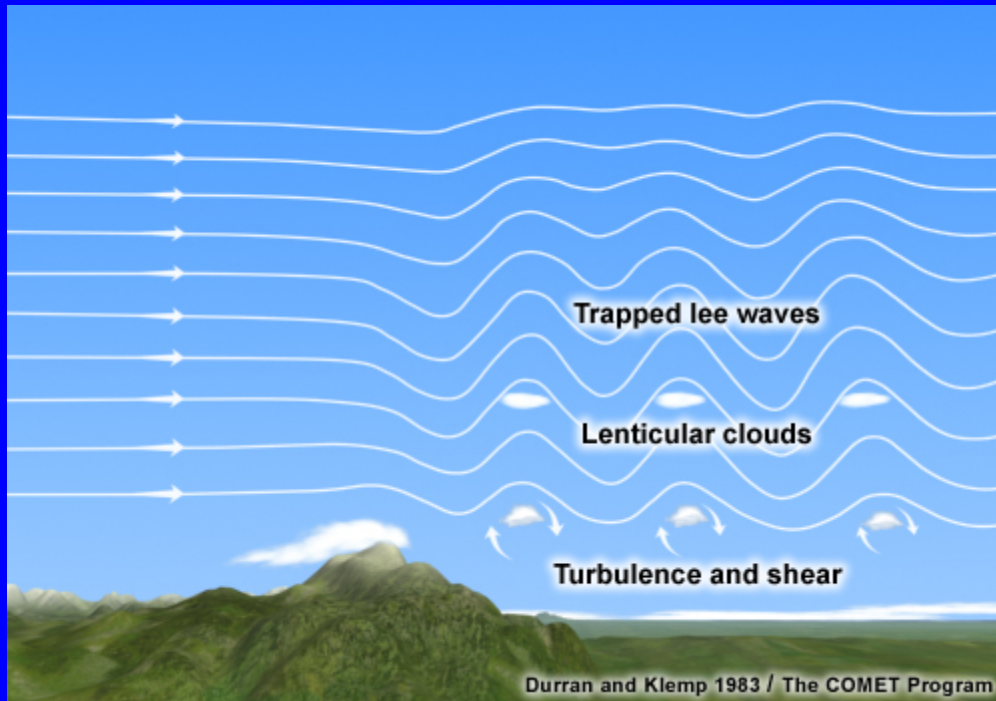
- **Termal:** Se asocia al calentamiento desigual de la superficie de la Tierra
 - Generalmente observado tarde en la mañana y durante la tarde.
 - Atmósfera baja.
 - Mayor impacto en **despegue/aterrizaje**.
 - Si hay Cu, hay corrientes convectivas y turbulencia
 - Mas intensa sobre terreno obscuro
- **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.

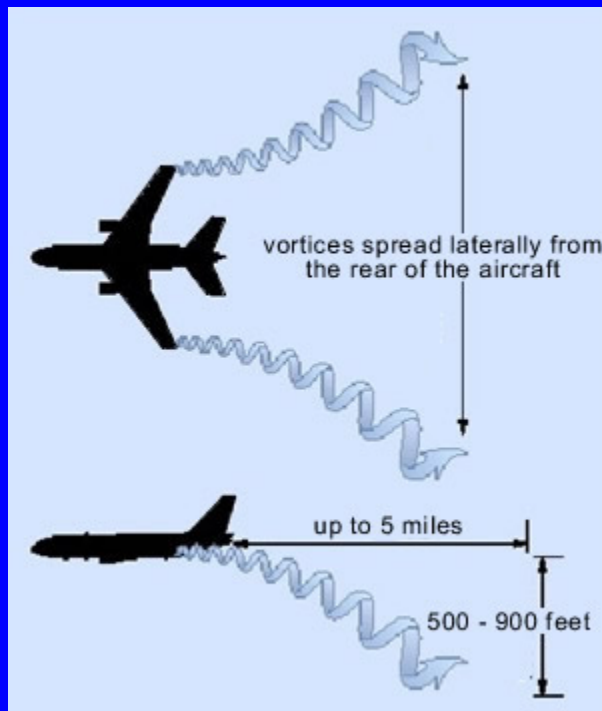
Tipos de Turbulencia: Mecánica



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..

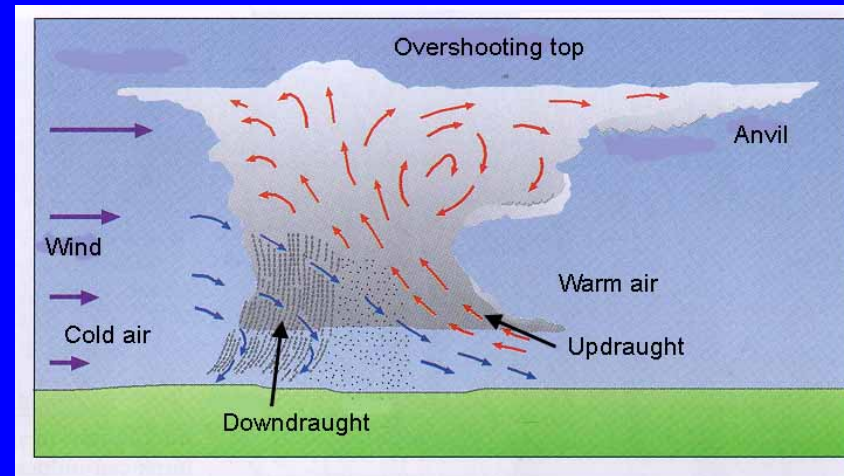
Turbulencia de Estelas/”Wake”

- 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
 - Termales secos (aire ascendente no saturado)
 - Rachas descendentes



Turbulencia de Aire Claro (CAT)

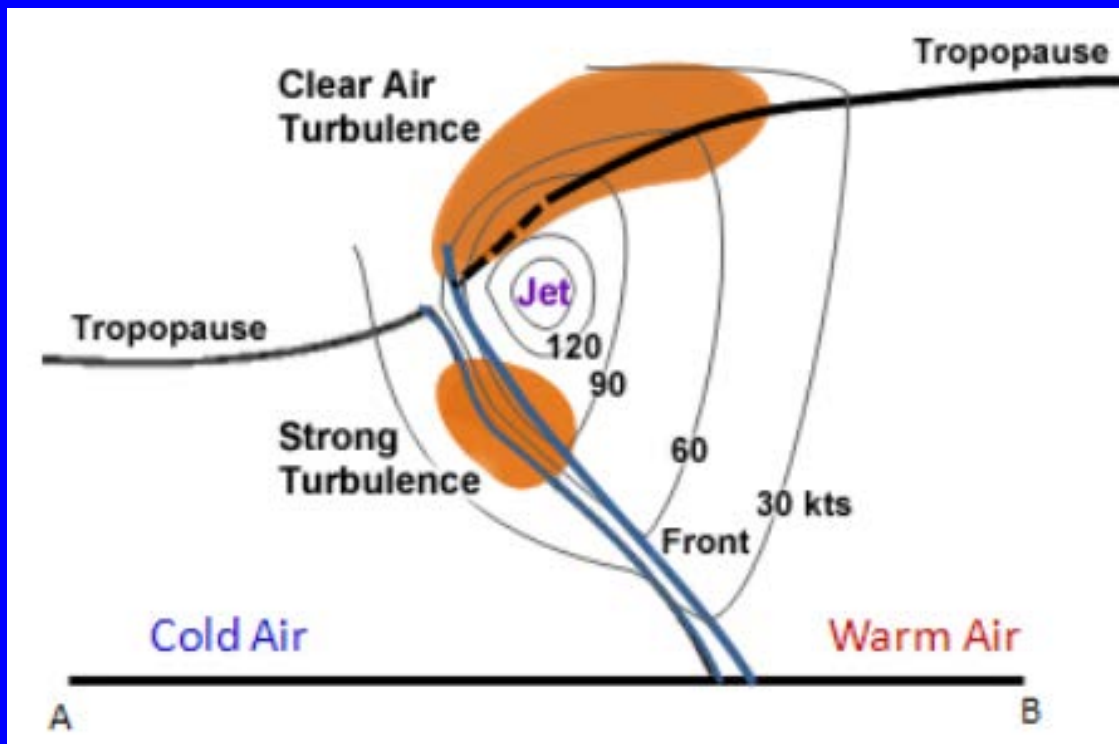
- Turbulencia no asociada a actividad convectiva **observada.**
 - Observada en aire claro y/o en nubes no convectivas
- Incluye turbulencia de niveles superiores que se asocian al Jet y a frentes en altura.
 - Áreas de ciclogénesis cerca del jet y al sur de la región de formación.
 - Moderada cuando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



Categorías

Reportes de turbulencia son a la discreción del piloto, y son muy subjetivos.

Categorías

- Ligera

- Aeronave experimenta ligeros cambios en altitud y/o actitud
- Ocupantes pueden sentir tensión débil contra el cinturón de seguridad
- 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**
- Ocupantes sienten tensión contra el cinturón de seguridad
- Objetos que están sueltos son descolocados
- Inducida por variaciones en velocidad de 15-24 nudos con movimientos verticales de 20 a 35 pps

Categorías

- Severa

- Aeronave experimenta abruptos cambios en altitud y/o actitud
- **Piloto puede, brevemente, perder control**
- Ocupantes son violentamente sacudidos contra los cinturones, el caminar no es posible.
- Objetos sueltos “vuelan”
- Inducida por variaciones en velocidad ≥ 25 nudos con movimientos verticales de 36 a 49 pps

- Extrema

- Aeronave sacudida violentamente
- **Prácticamente imposible de controlar**
- Puede ser letal a pasajeros y/o tripulación que no tenga sus cinturones de seguridad
- Inducida por variaciones en velocidad ≥ 25 nudos con movimientos verticales ≥ 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

Categoría Según el Piloto

- Si se le vira su taza de café en la camisa, la turbulencia es moderada



- Si es se le vira un café de Starbucks, en un recipiente con tapa, la turbulencia es severa



- Si tiene que cambiar de avión (y ropa interior), la turbulencia es severa



Donde se Encuentra

- **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

Donde se Encuentra

- **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 $<1\text{mb/hr}$

Donde se Encuentra

- 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
 - Bomba meteorológica

Donde se Encuentra

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

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

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

Patrones para Turbulencia Severa en Niveles Superiores

- Dorsal en Amplificación
- Intenso máximo de viento flujo arriba de una vaguada
- Ciclogénesis Explosiva
- Baja segregada en altura
- Vaguada de inclinación positiva, con divergencia flujo arriba
- Nube Yunque (CB maduro)/Cirro

Herramientas y Ejemplos

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, β representa la estabilidad vertical (dado por $\partial\theta/\partial z$, donde θ es la temperatura potencia) y $\partial u/\partial z$ es la cortante vertical del viento total.*

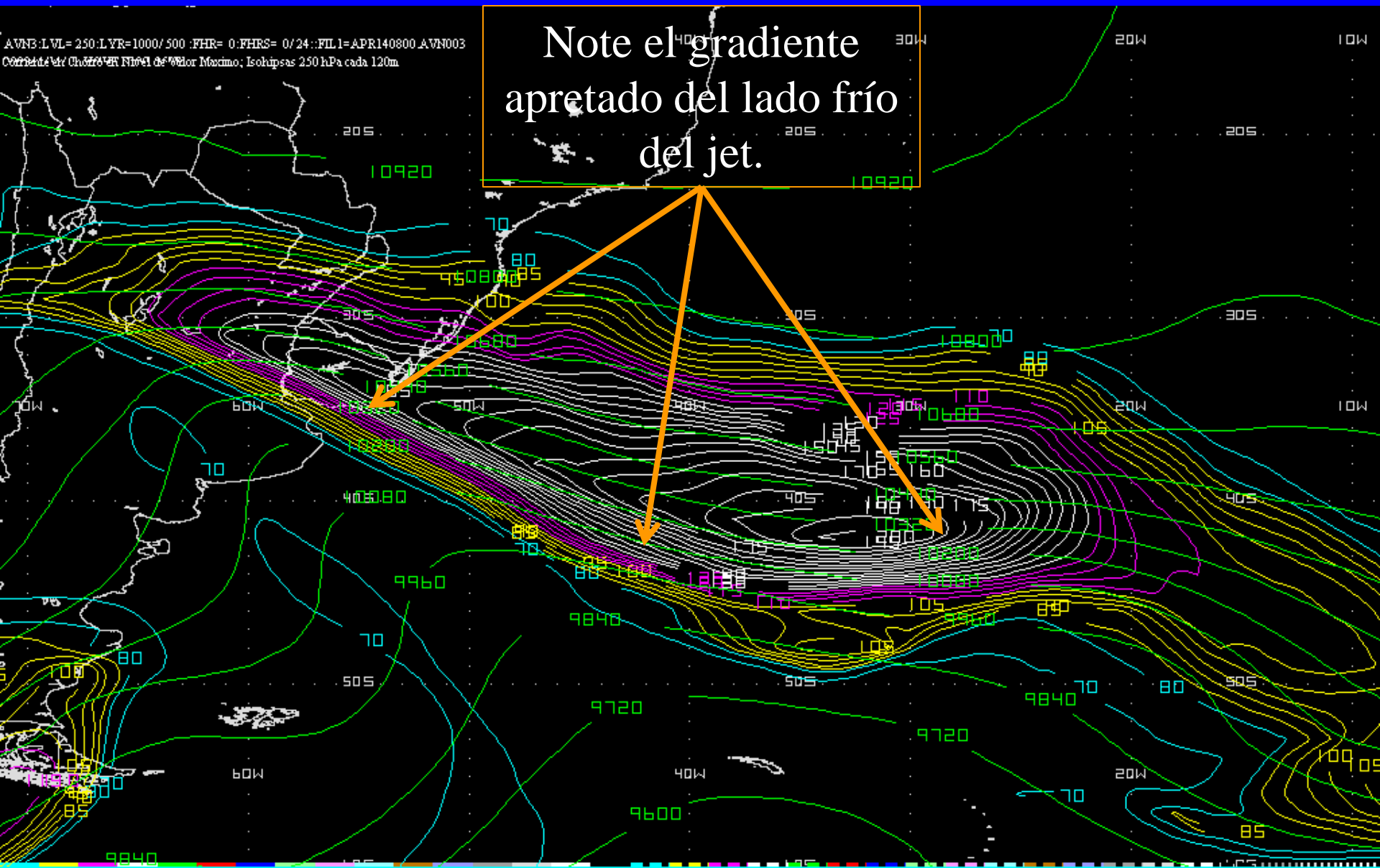
Numero de Richardson (INRI.)

- 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.
- Inverso del Numero de Richardson
 - Como se tratan números pequeños, típicamente se invierte el valor para general números enteros
 - 6 a 9 Turbulencia Moderada
 - 9 o mas, Turbulencia Severa

Jet

AVN3: LVL= 250: LVR= 1000/ 500 : FHR= 0: FHRS= 0/ 24 : FL1= APR140800 : AVN003
Comentarios: Chorro de Fvél de Valor Máximo; Isobars 250 hPa cada 120m

Note el gradiente
apretado del lado frío
del jet.



INRI. Nivel de 400

(Se calcula entre 350-450 hPa)

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&

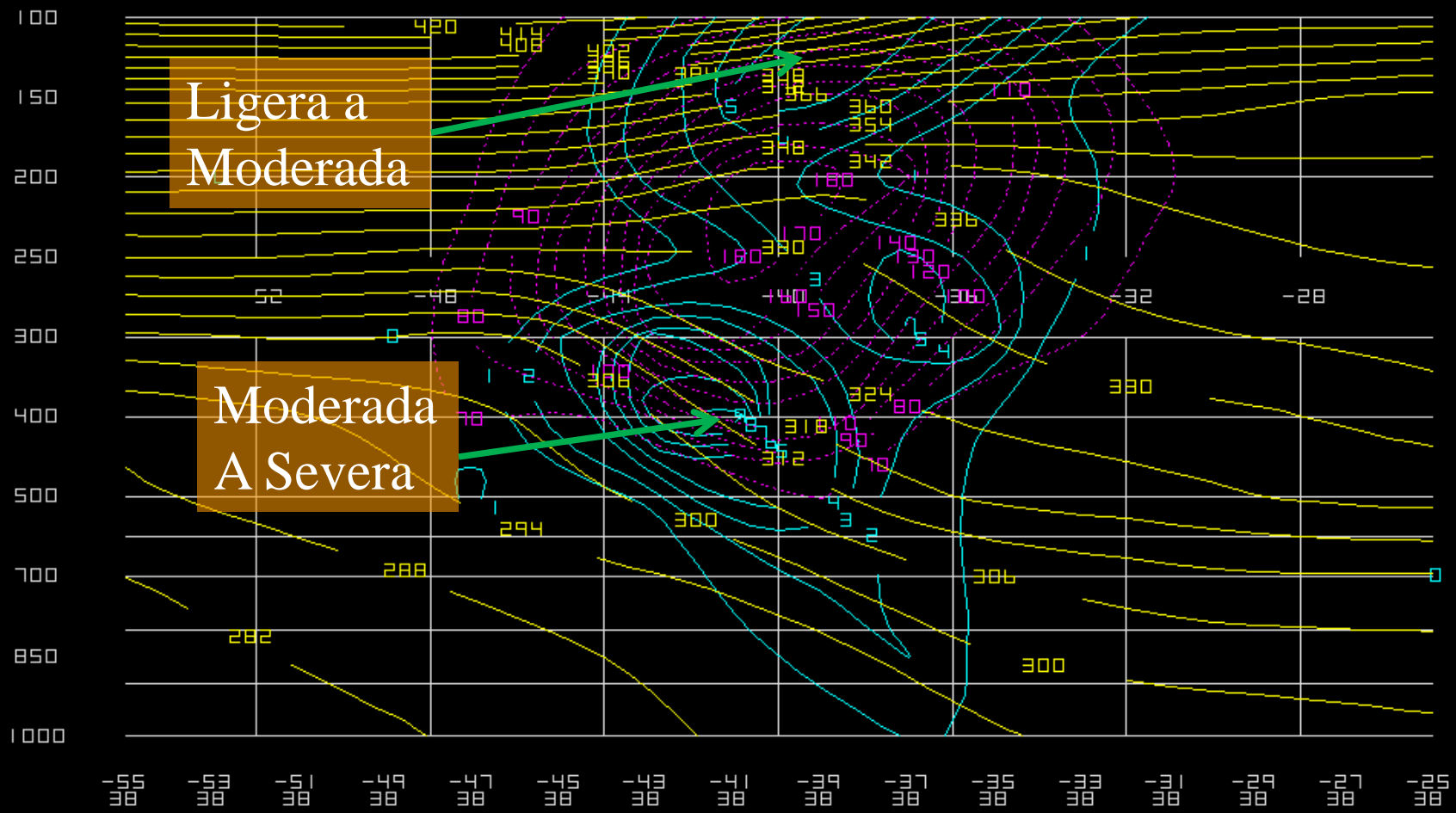


INRI. Corte Transversal

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

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

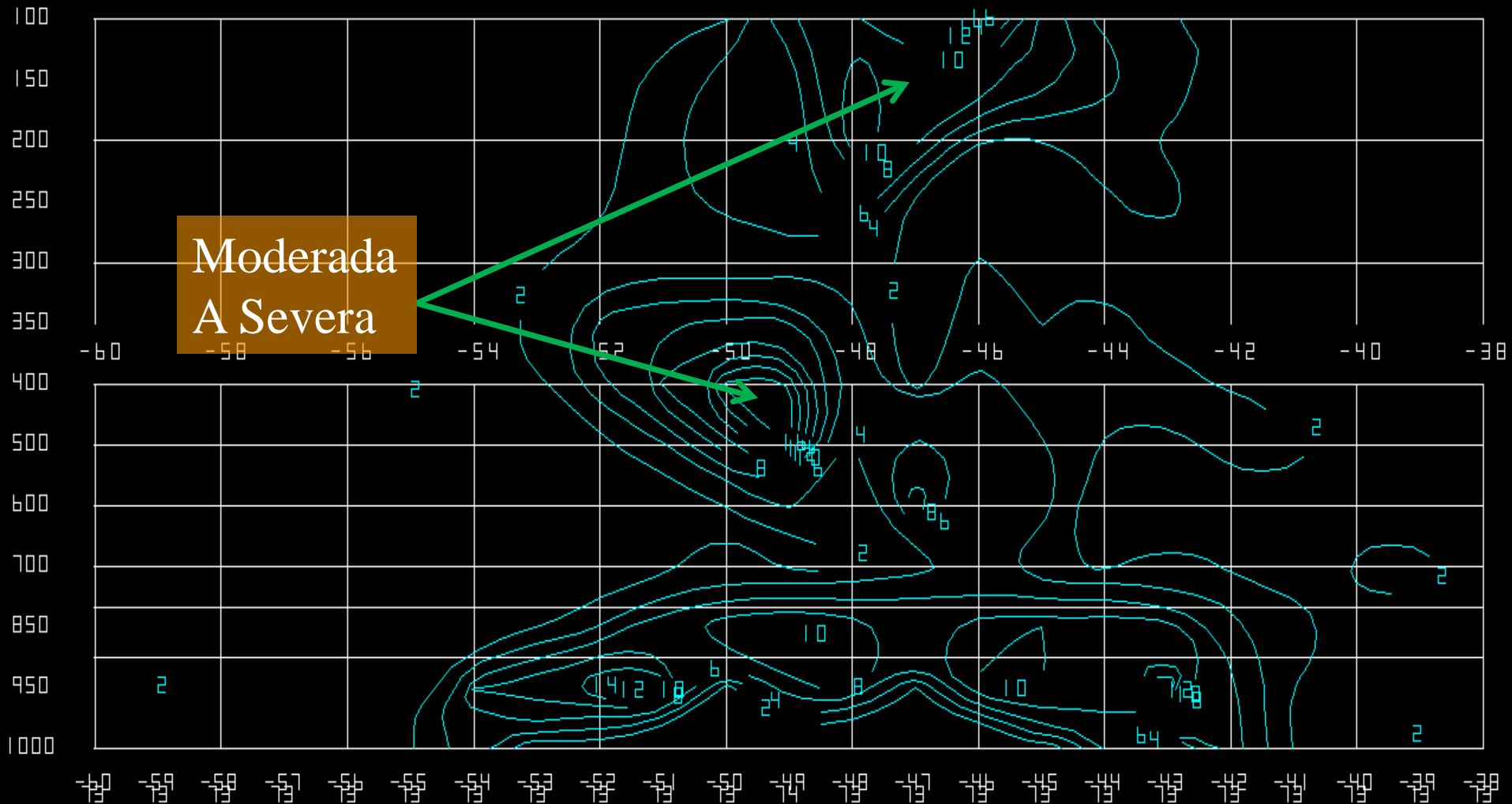
- Índice de Ellrod

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

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

Índice de Elrod

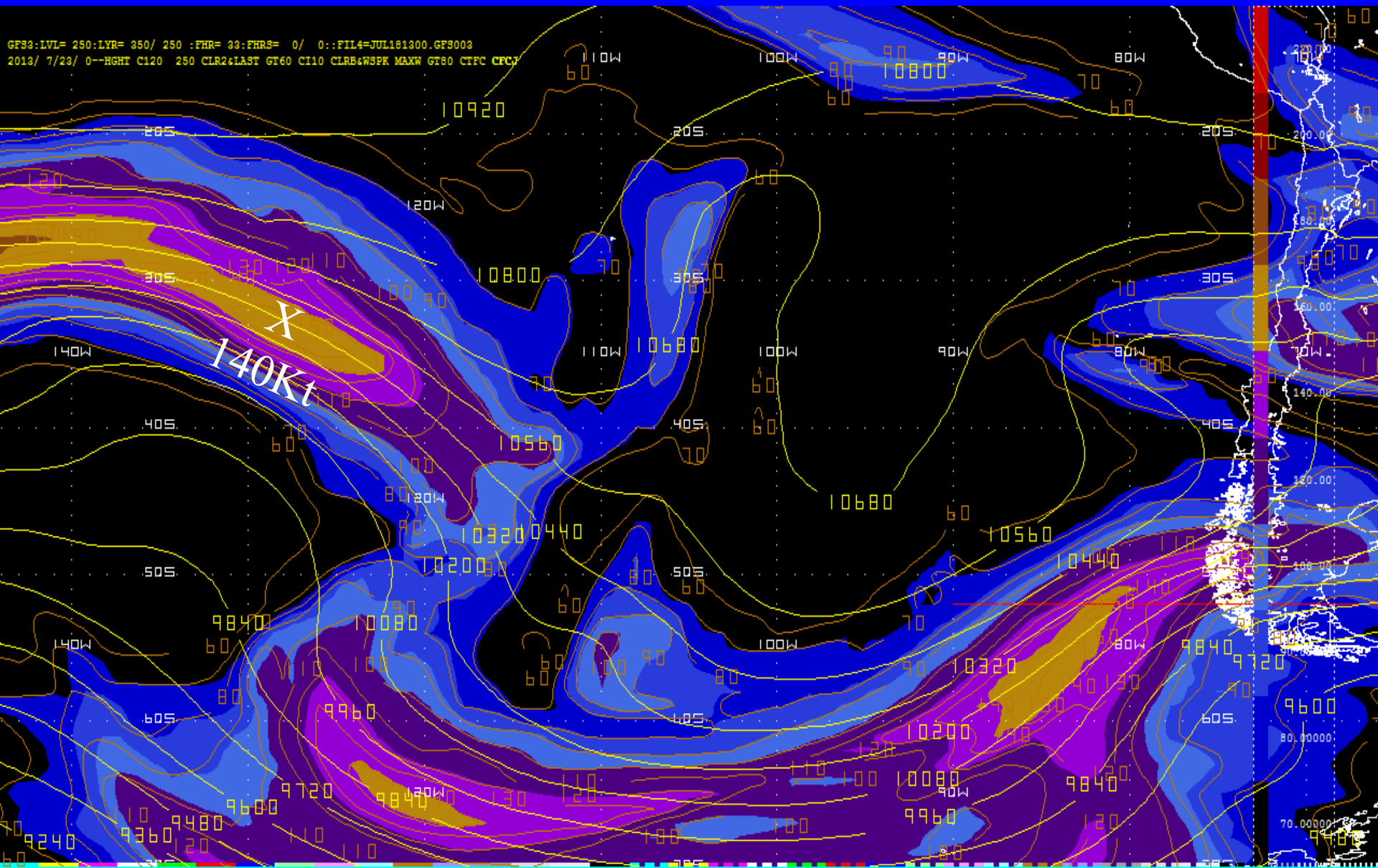
GFS3:Lat/Lon 60S/73W=>38S/73W:FHR= 6:FHRS= 0/24::FIL1=JUL251300.GFS003
2013/7/25/0-SMLT SDVD MAGN WIND LDIF HGHT LDIF LY-1 SQRT SSUM SMLT SCPY WSHD



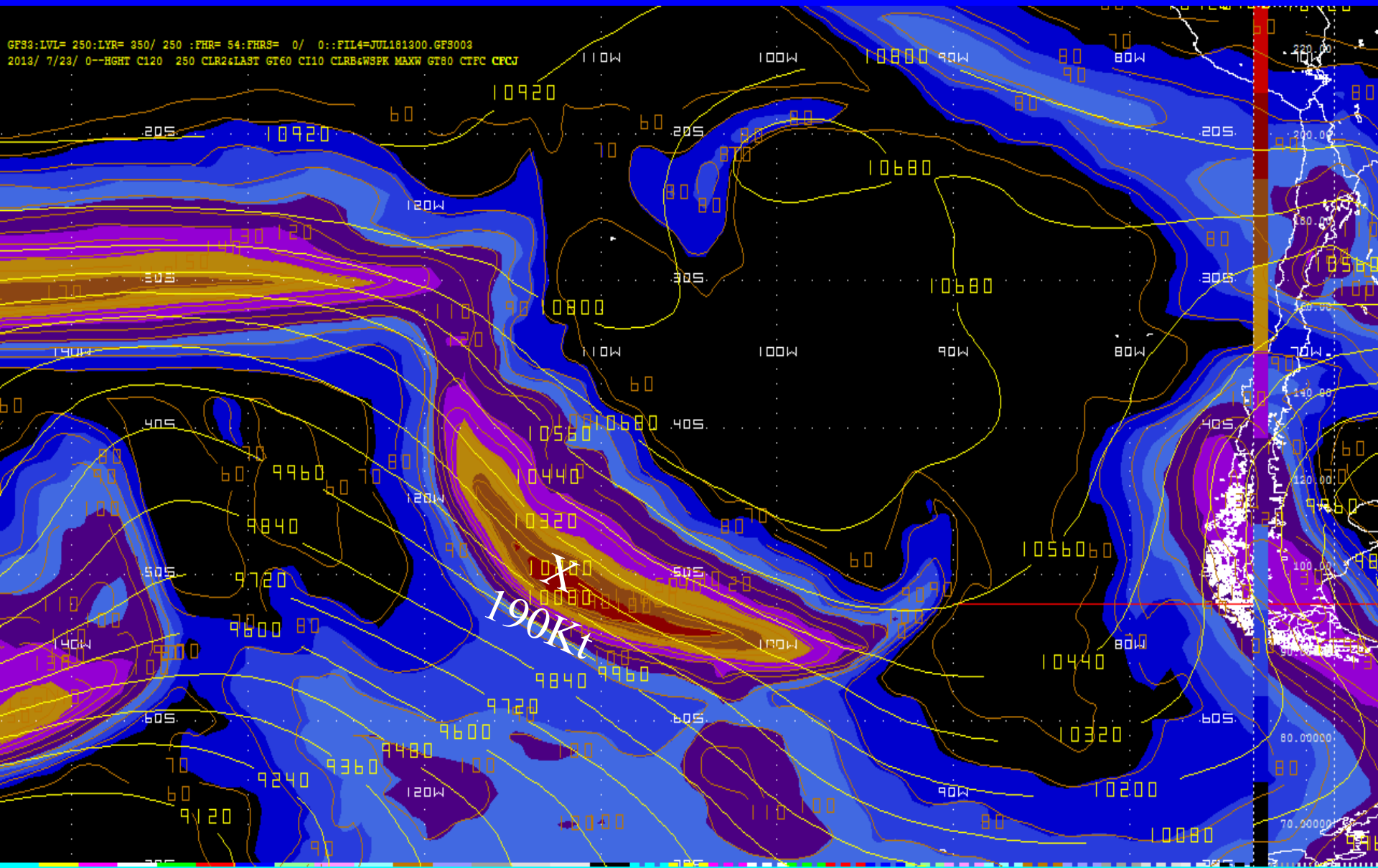
Dorsal en Amplificación

- Turbulencia ocurre cuando el núcleo del jet se somete al mayor desplazamiento latitudinal in la dorsal que se amplifica
- Ingredientes:
 - Jet según se traslada contribuye a la tendencia de divergencia en la periferia de la dorsal en fortalecimiento
 - Curvatura del flujo incrementa el desbalance geostrófico.
 - Fuerte cortante con el jet
 - Resultado del apretado gradiente

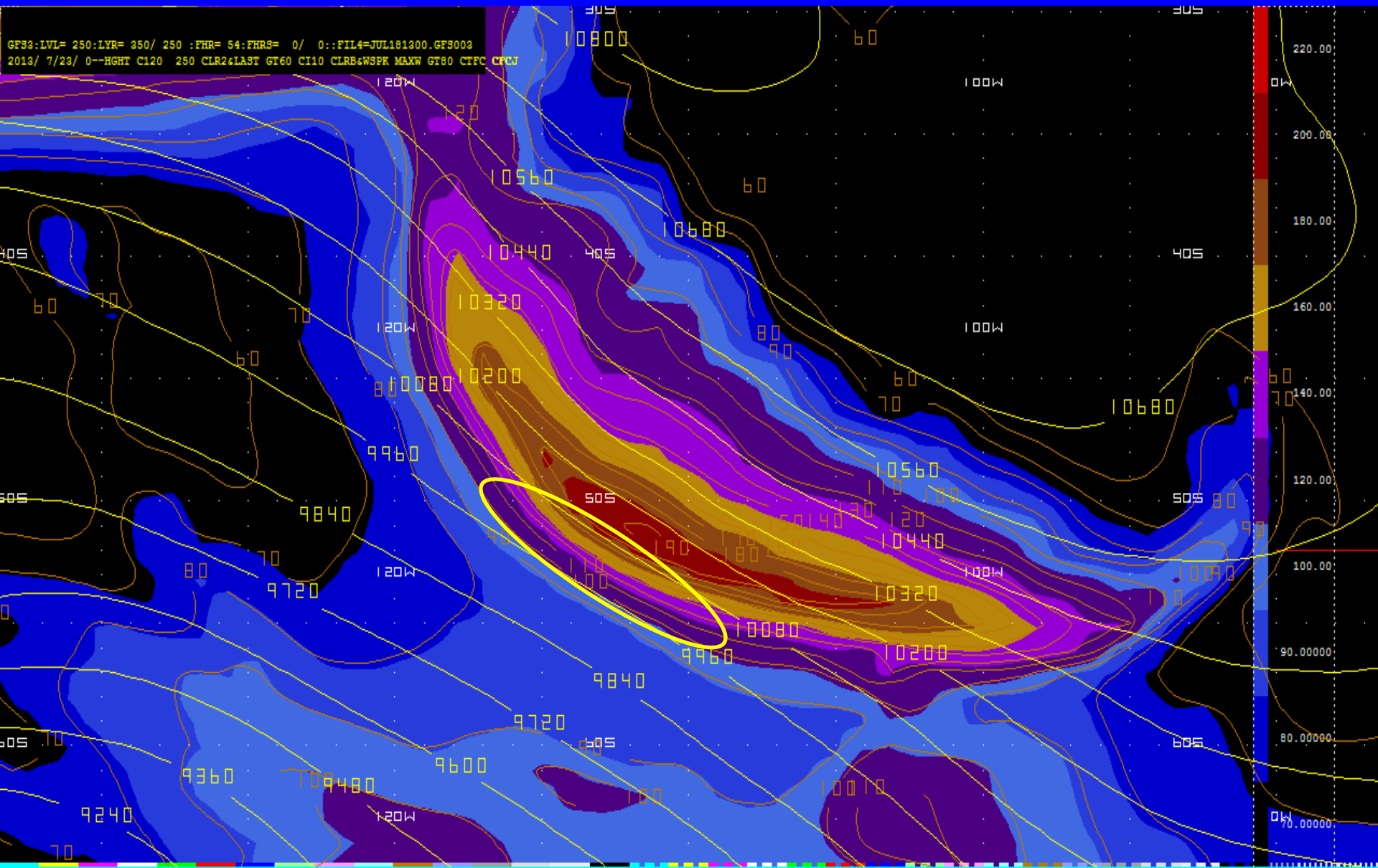
Dorsal Amplificándose



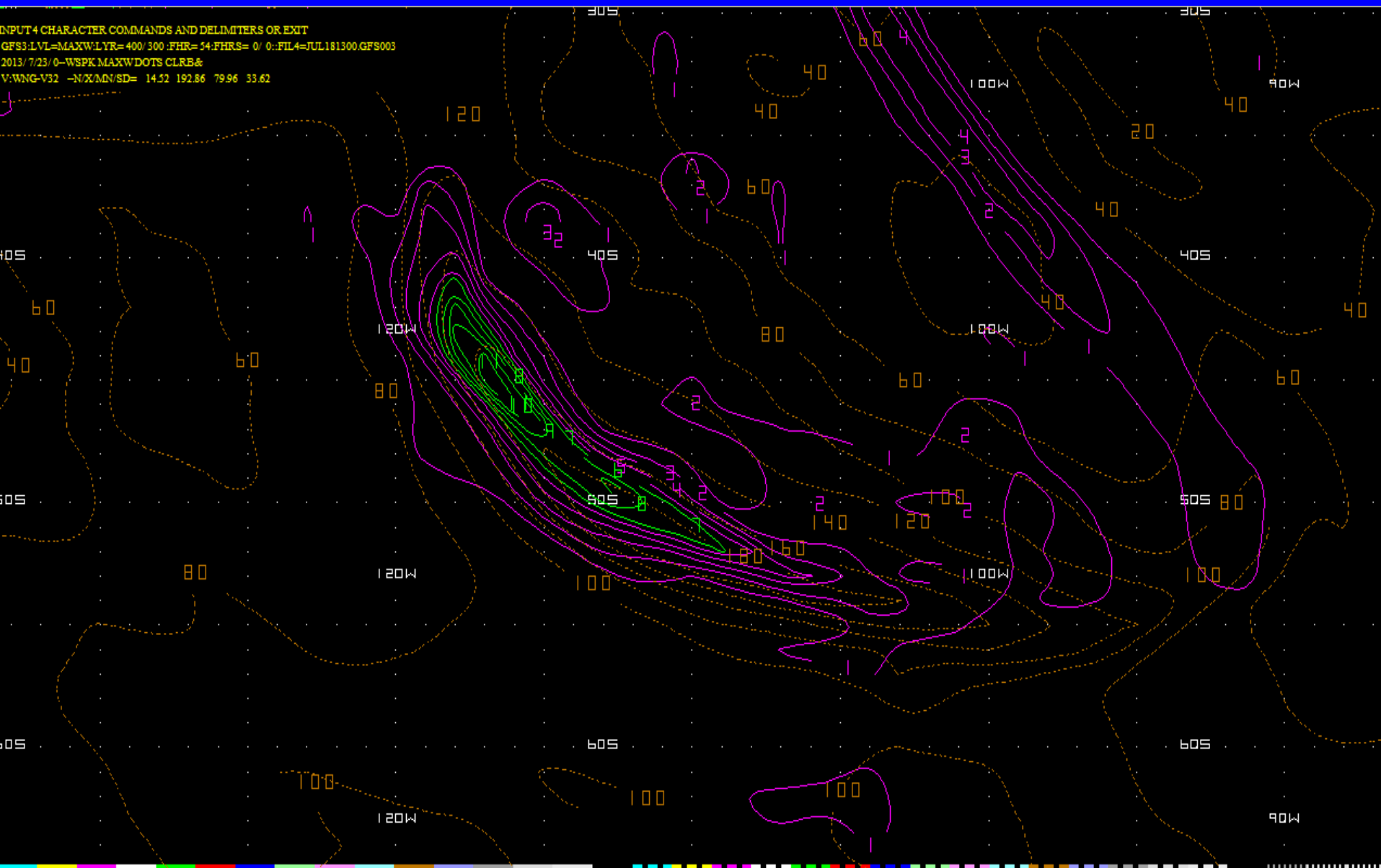
Dorsal Amplificándose



Dorsal Amplificándose

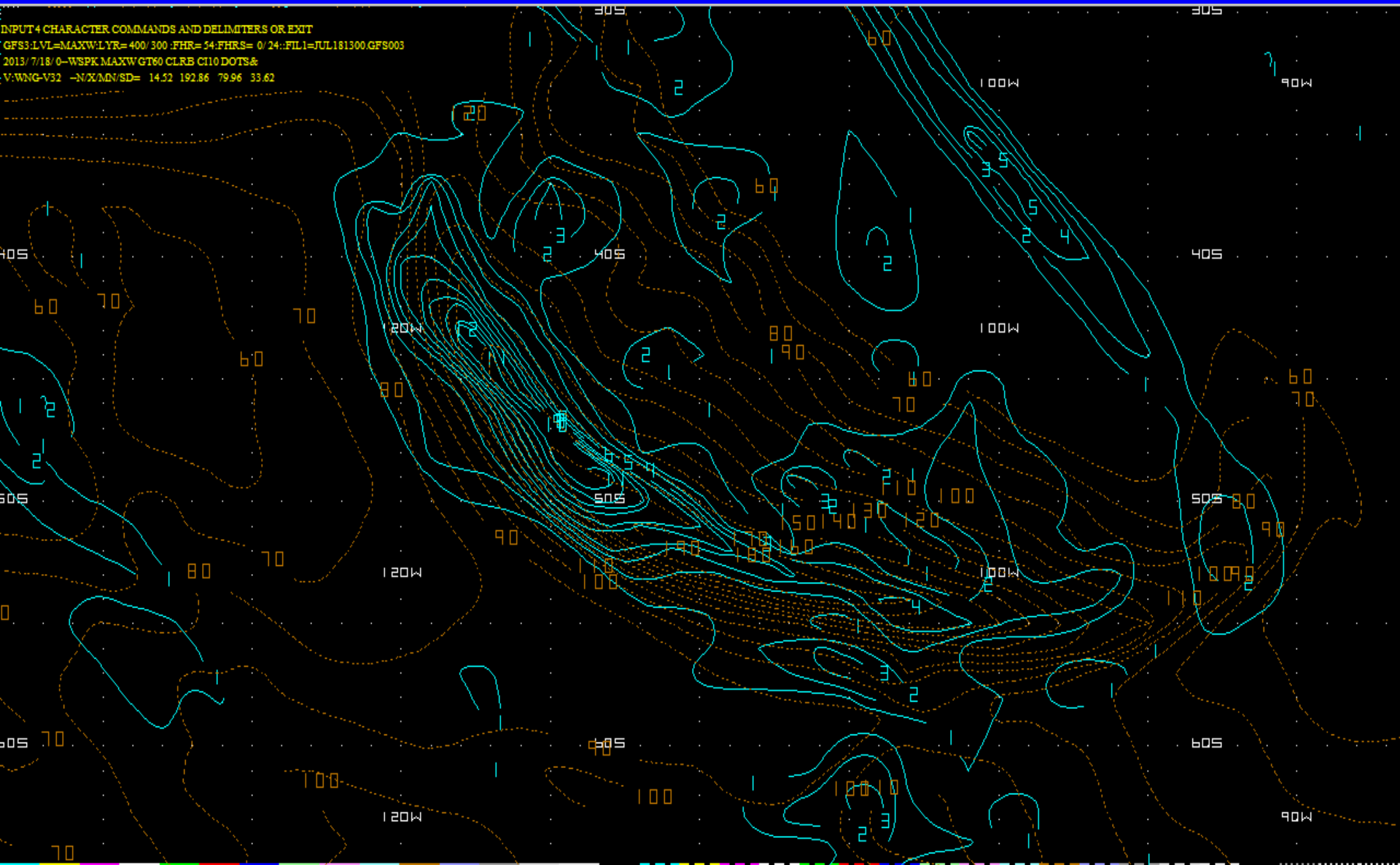


Inverso del Numero de Richardson (INRI.)



Numero de Elrod (ELR2.)

INPUT 4 CHARACTER COMMANDS AND DELIMITERS OR EXIT
GFS3: LVL=MAXW L YR= 400/300 FHR= 54 FHRS= 0/24::FIL1=JUL181300.GFS003
2013/7/18/0-WSPK MAXWGT60 CLR8 C110 DOTS&
V:WNG-V32 -N:Y/M/D/SD= 14.52 192.86 79.96 33.62

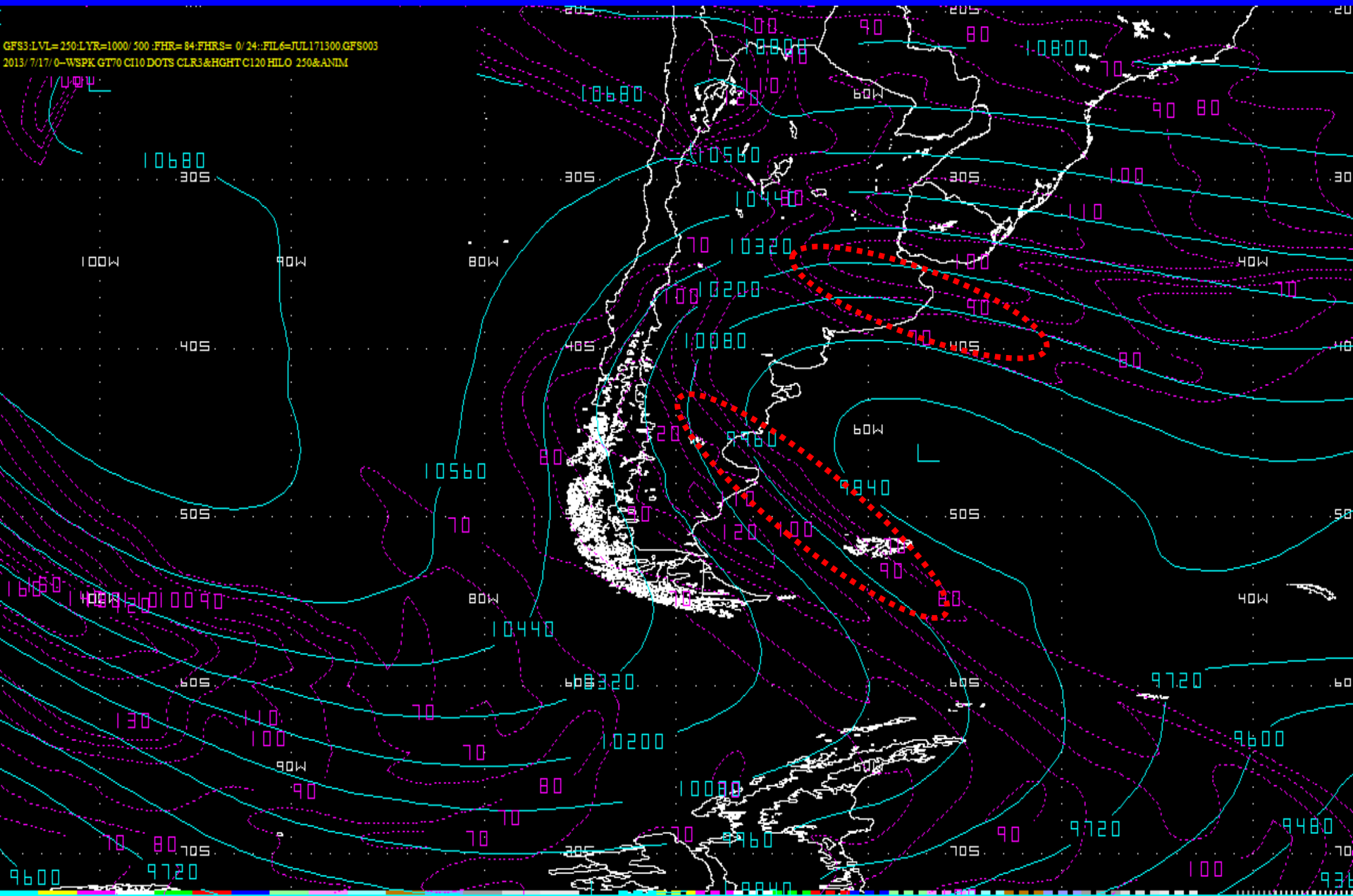


Intensa Máxima de Viento Flujo Arriba de una Vaguada

- Ocurre cuando un jet entra la parte trasera de una vaguada en altura.
- Ingredientes:
 - Convergencia flujo arriba de la vaguada
 - Esto contribuye a resaltar la divergencia y generación de ondas de gravedad
 - Curvatura del flujo asociado con el eje de la vaguada
 - Contribuye al desbalance geostrofico
 - Resalta la cortante vertical
 - Cortante/masas de diferente densidad=Ondas KH
 - Región de Advección Fría detrás de la Vaguada
 - Intensa cortante con el jet

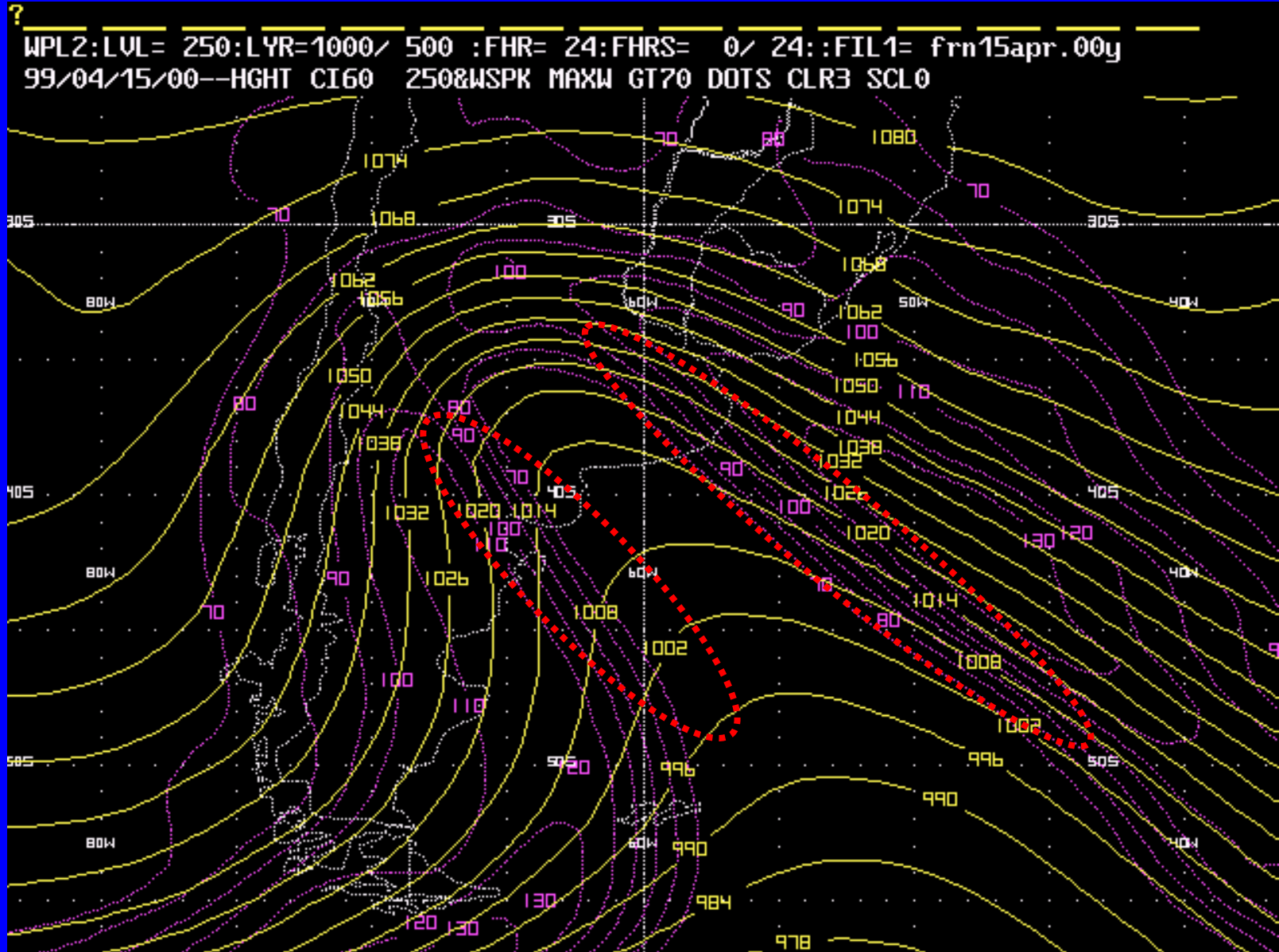
Dorsal y Vaguada

GFS3:LVL=250:LYR=1000/500:FHR=84:FHRS= 0/24::FIL6=JUL171300.GFS003
2013/7/17/0-WSPK.GT70.C110.DOTS.CLR3.&HGHT.C120.HILO.250.&ANIM



Vaguada

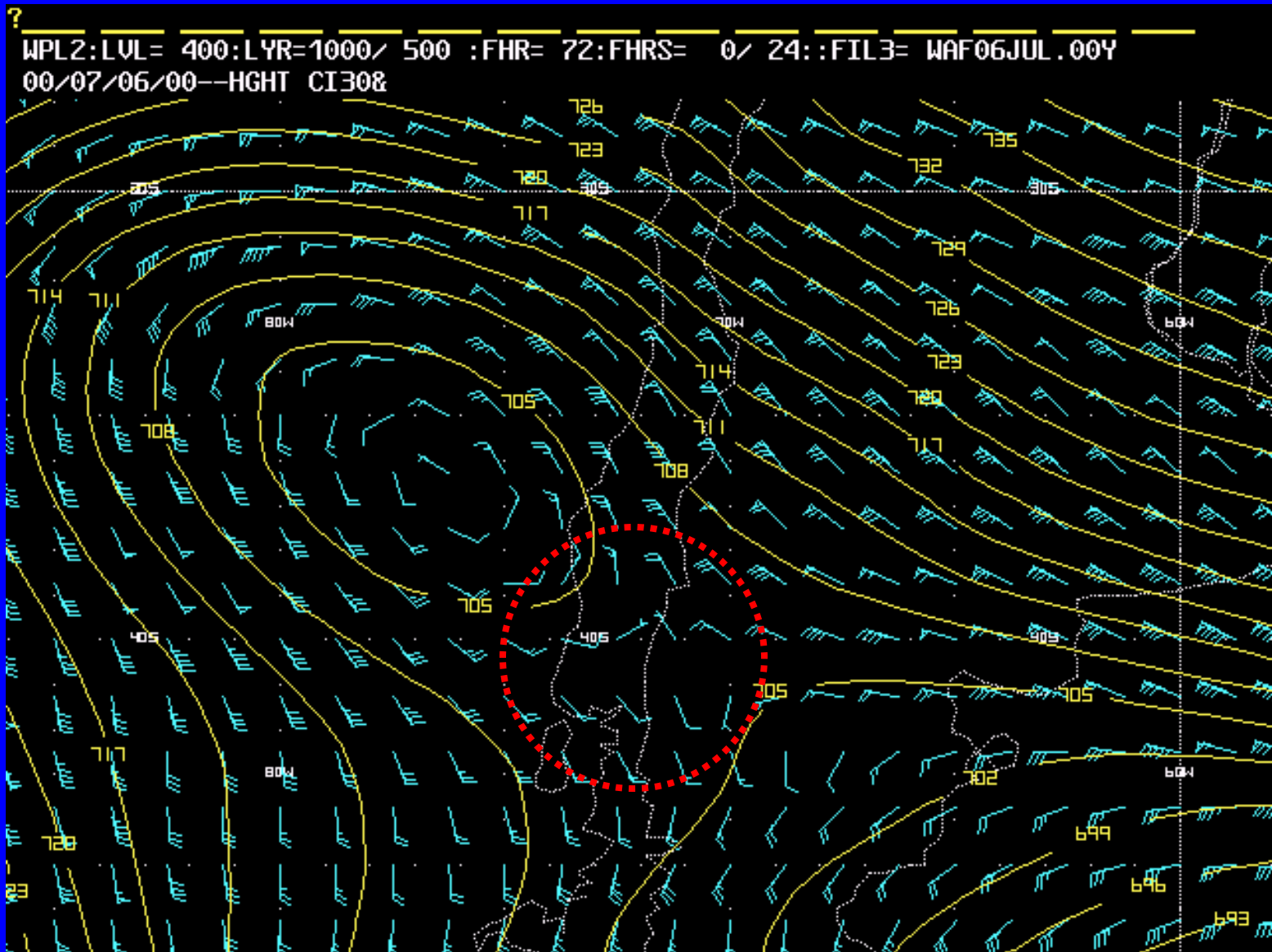
(Hemisferio Sur)



Baja Segregada

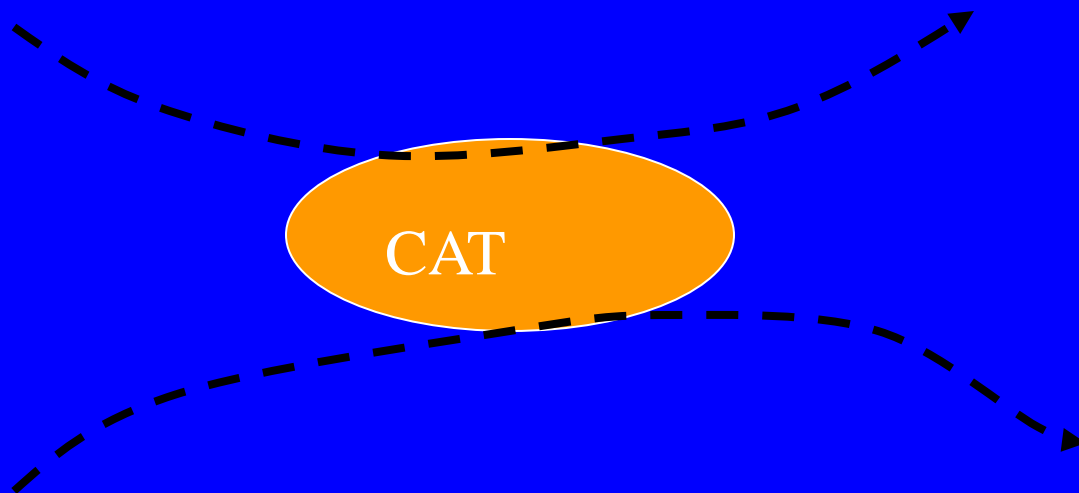
- Se observa en la “garganta” de una baja segregada en niveles superiores
- Ingredientes:
 - Cortante de Viento
 - Collado separando los dos anticiclones
 - Vientos de unos 50 nudos
 - Masas de diferente densidad
 - Fuerte deformación y subsidencia en el área de cortante
 - Resalta el gradiente de densidad
 - Curvatura anticiclónica

Baja Cerrada/Segregada

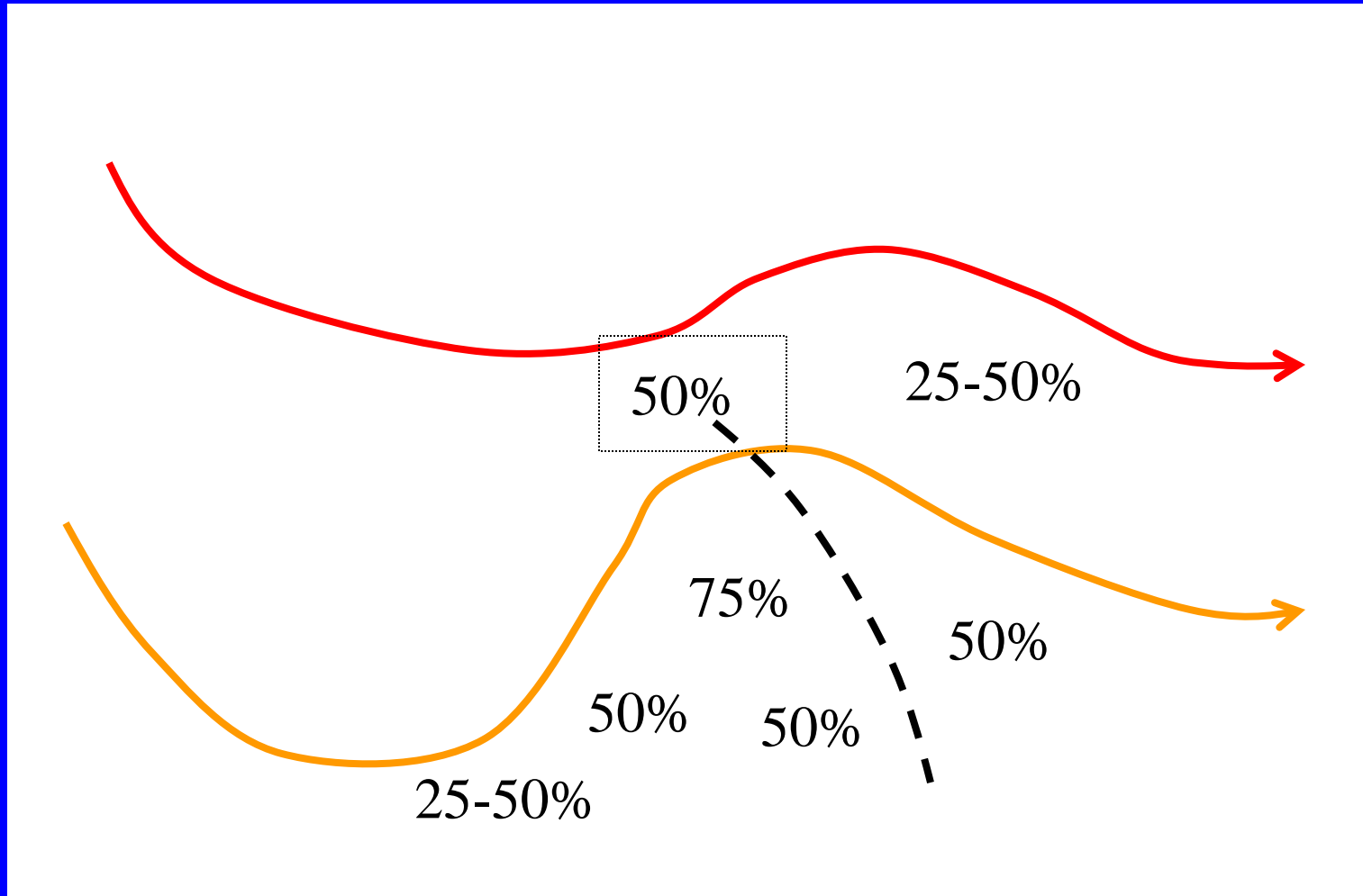


Jets Confluentes

- 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.

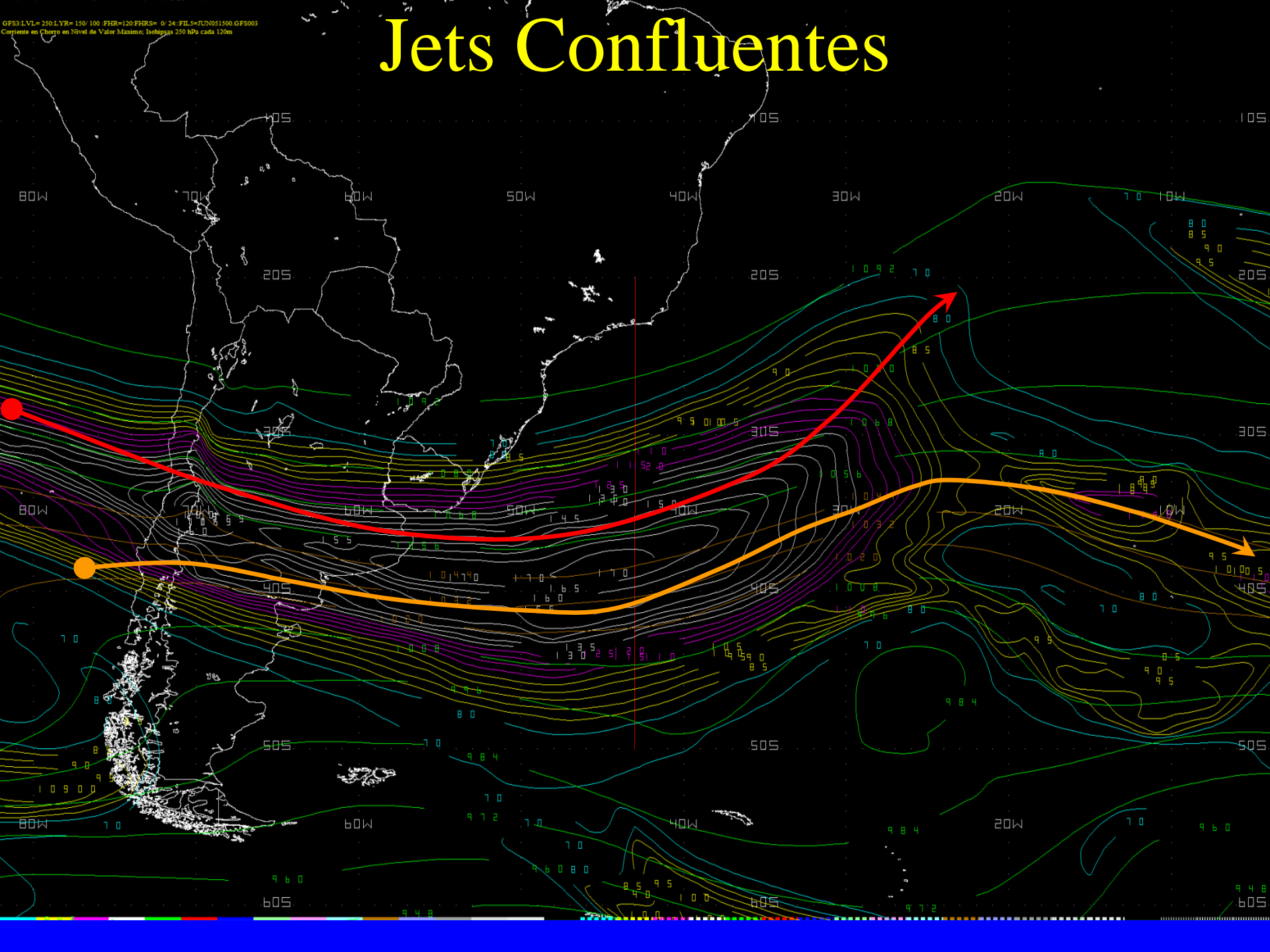


Turbulencia en Jets Confluentes: Adaptado de United



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

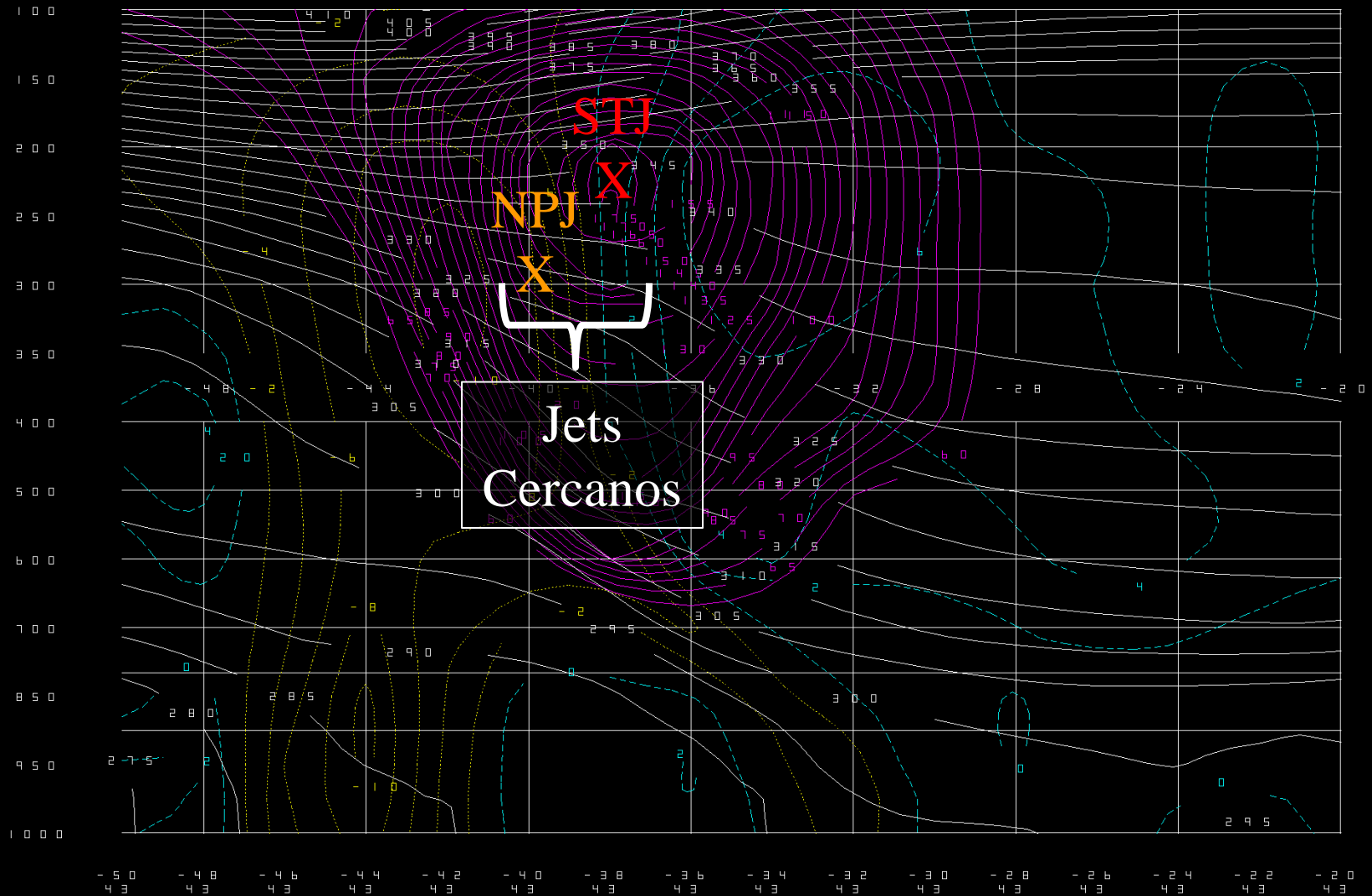
Jets Confluentes



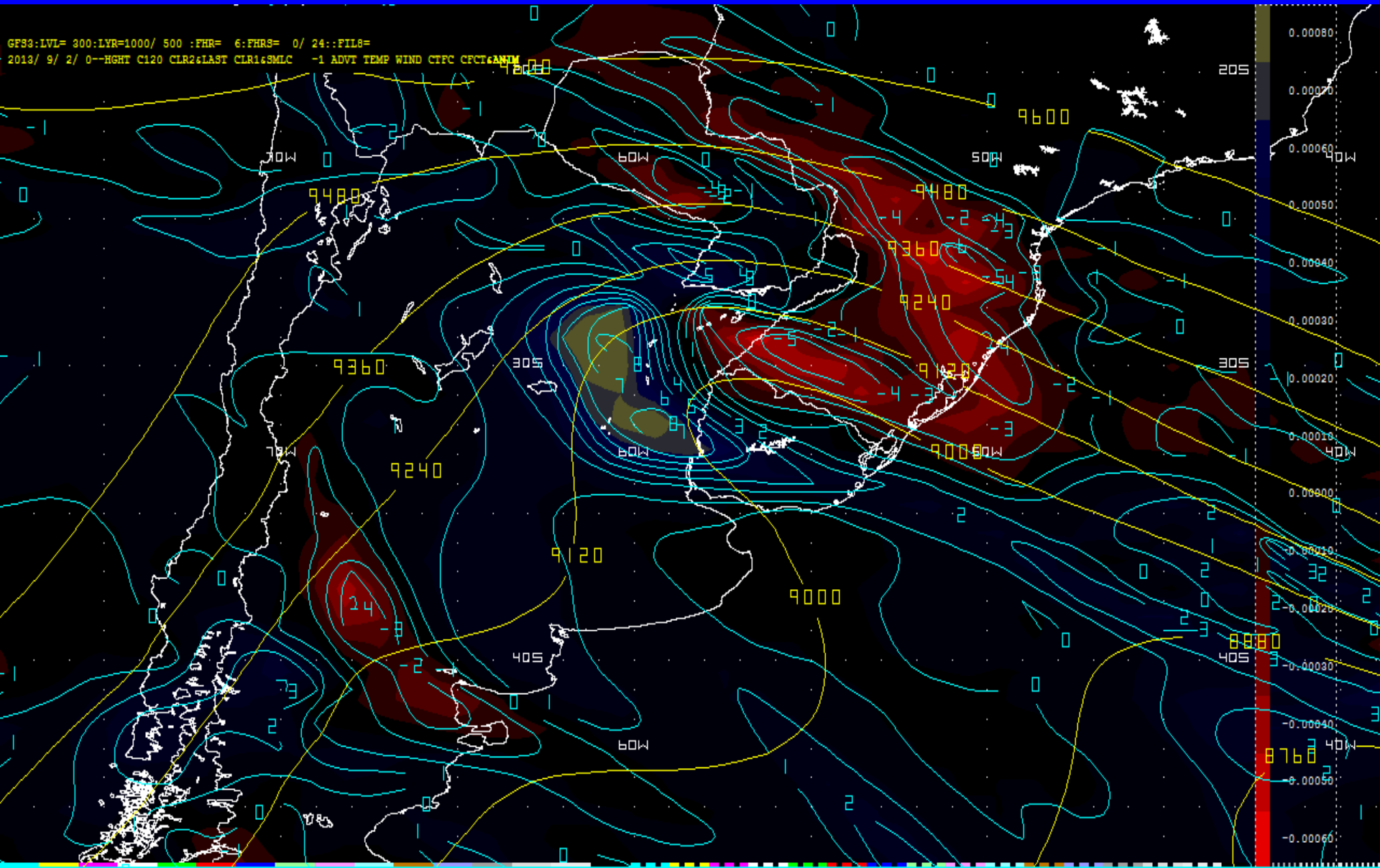
Jets Confluentes: NPJ bajo STJ

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

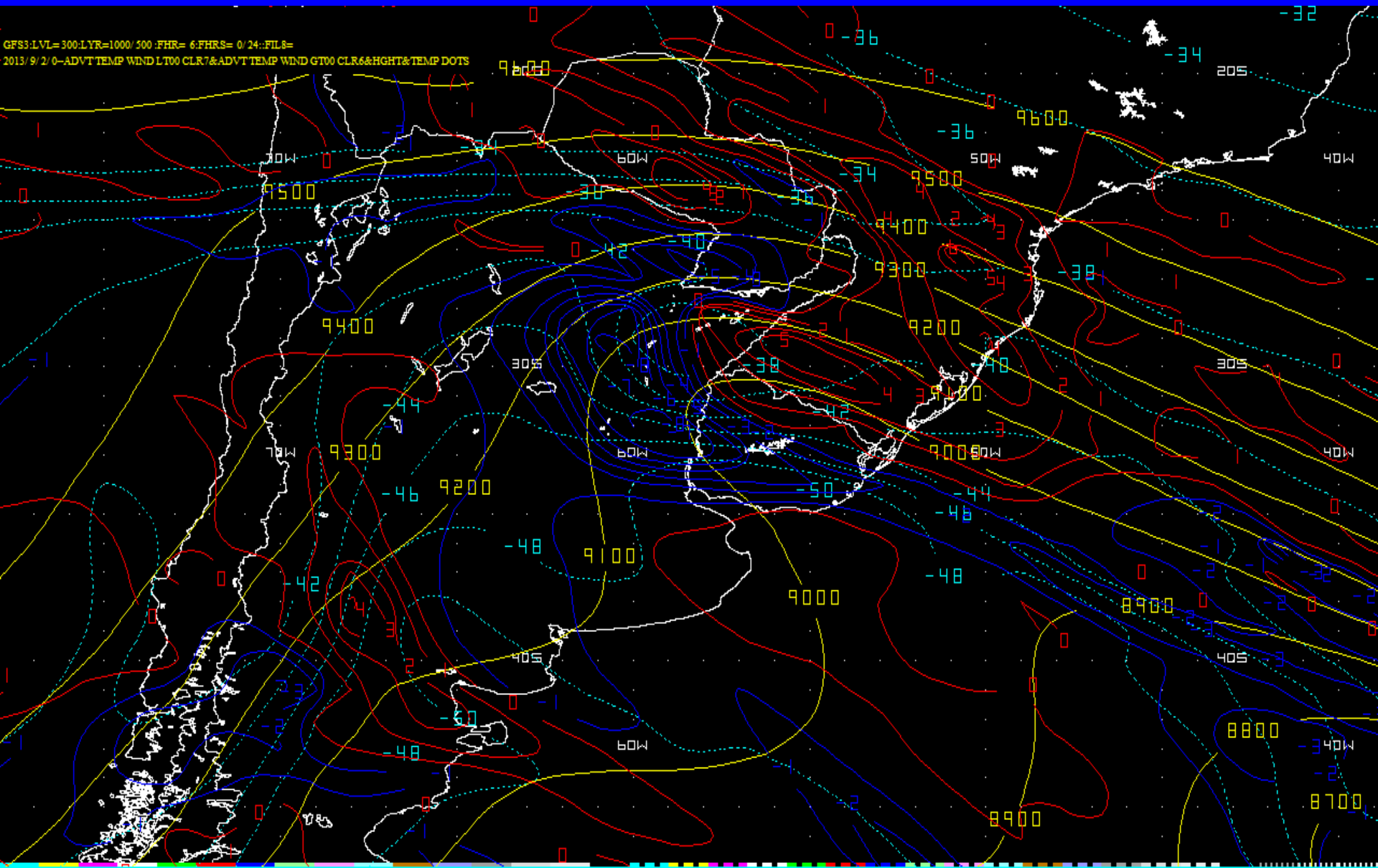
DASH



Advección Fría/Cálida



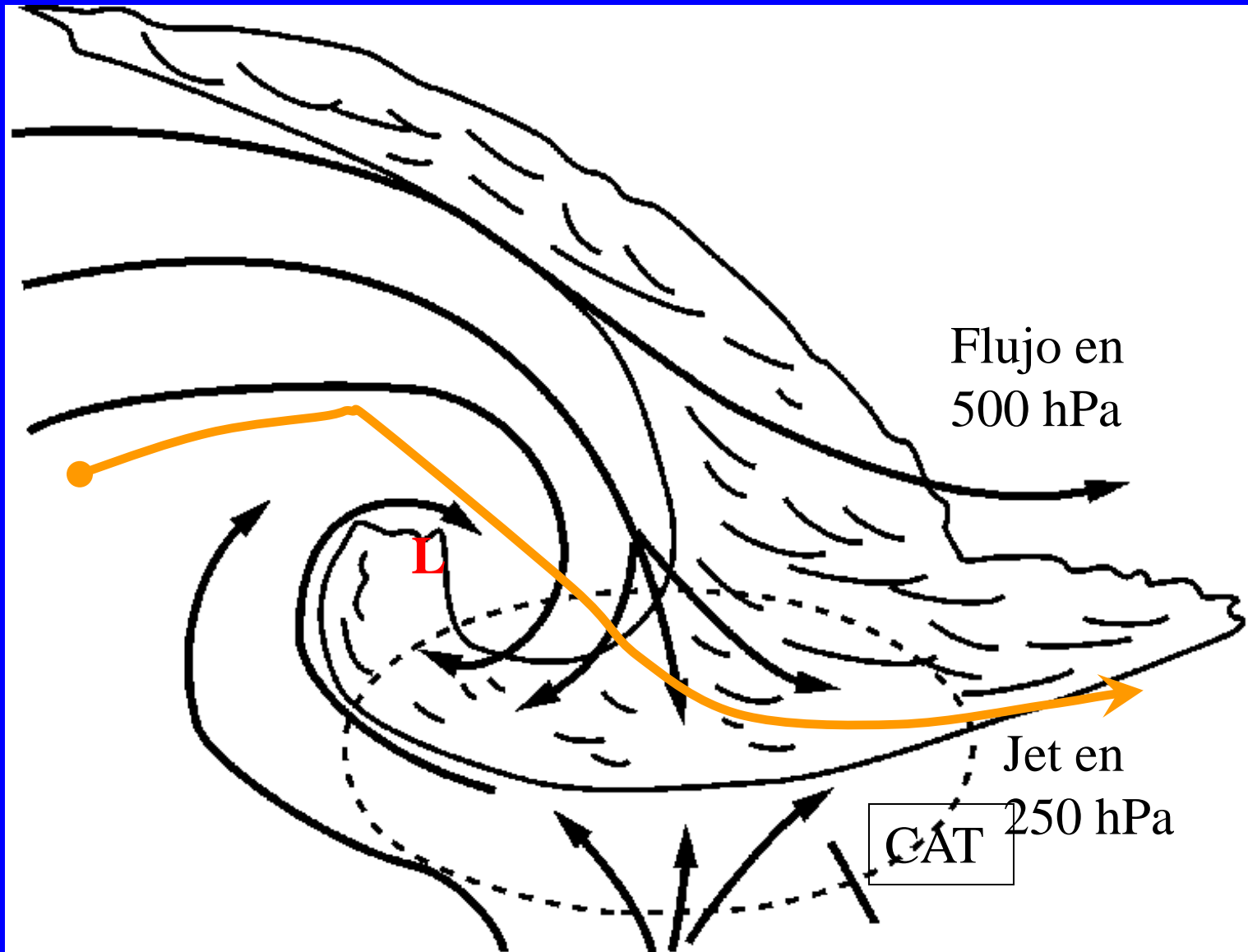
Advección Fría/Cálida



Imágenes de Satélite

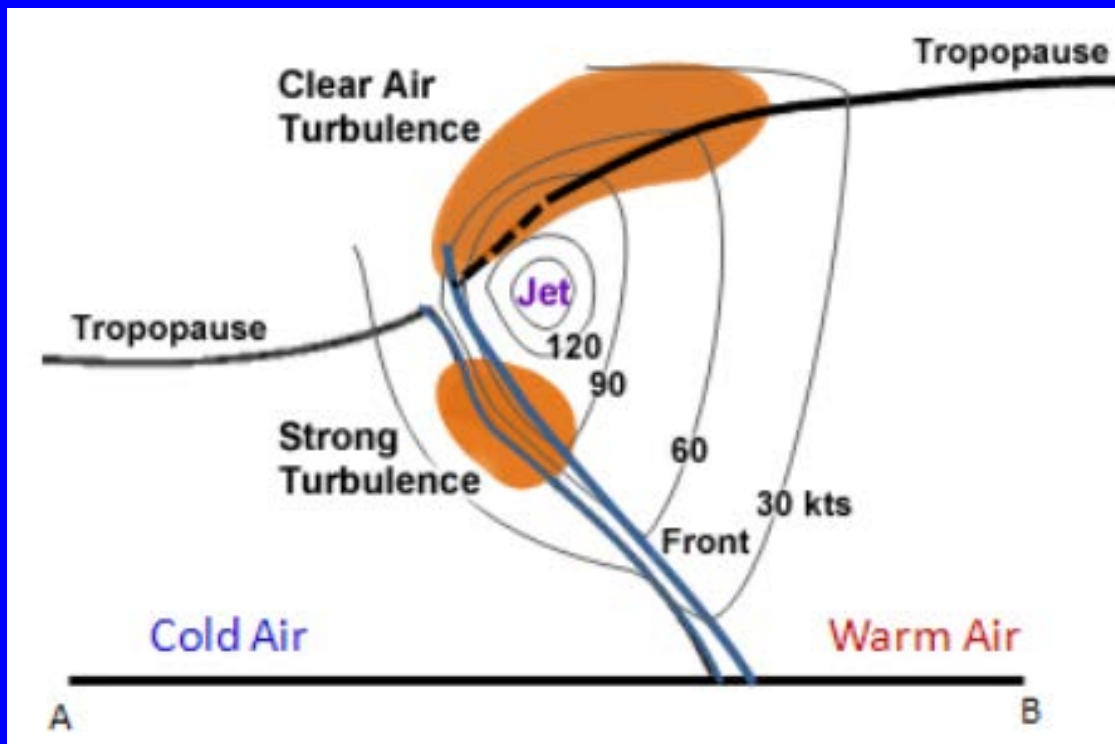
- Bandas transversas
 - Se asocian con el jet Subtropical en latitudes bajas.
- Oscurecimiento de imagen de vapor de agua
 - Advección fría/seca y convergencia en niveles medios/superiores de la atmósfera.
 - Moderada o mas si persiste por mas de tres horas.
- Onda de montaña.

Herramienta para Evaluar CAT NOAA/NESDIS

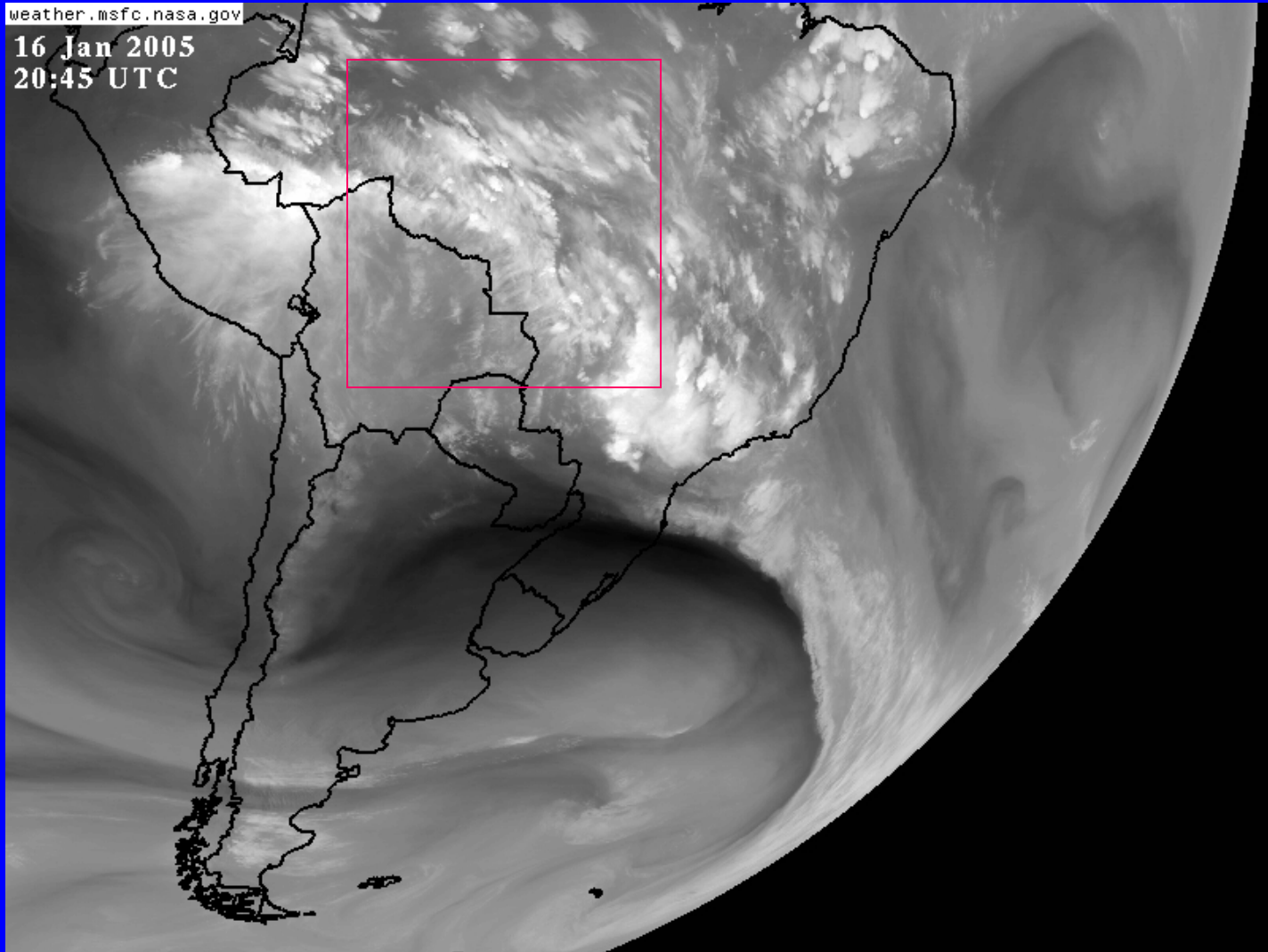


Turbulencia con el Jet

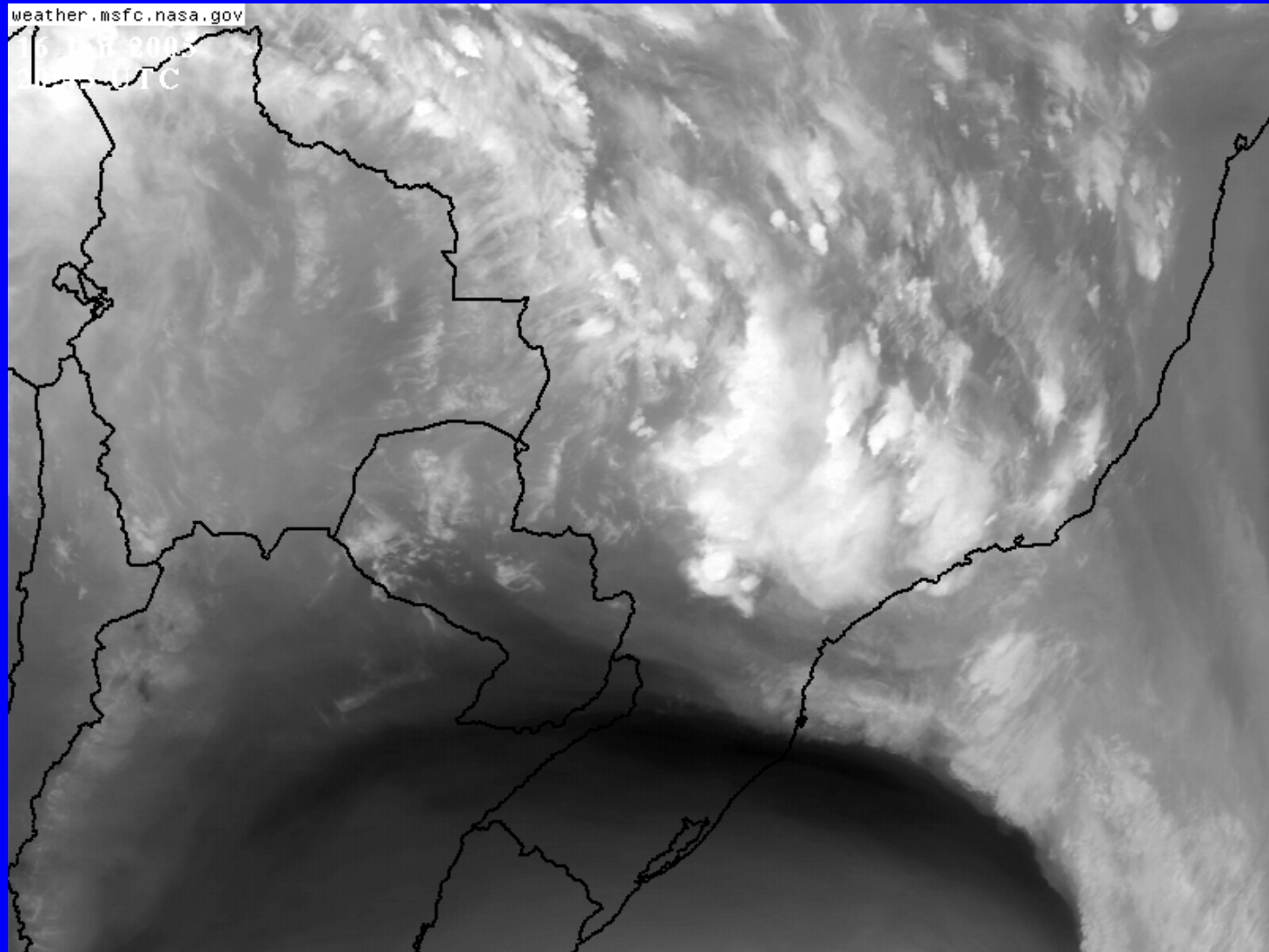
- En la tropopausa sobre el jet.
- En el frente bajo el jet
- Regiones de baja presión delante del jet.



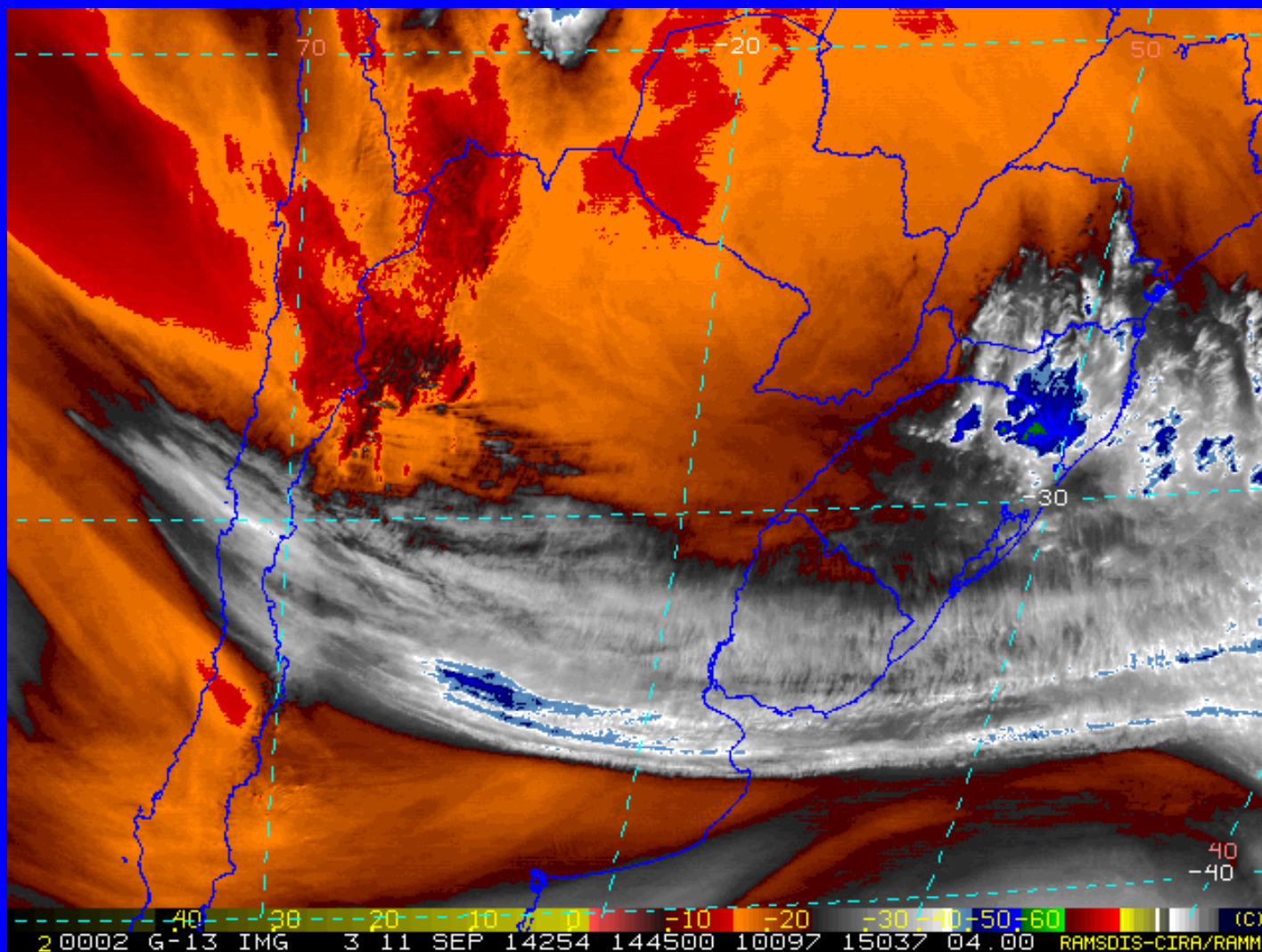
Secamiento y Bandas Transversas: WV



Bandas Transversas



Bandas Transversales y Paso Foehn



Deteccion en el GOES-R

- Va a incorporar tres canales de

Simulated 2 km GOES-R ABI WV Imagery

- Waves are evident in all three ~2 km ABI WV channels, with wave spatial patterns being far clearer than current GOES-12
- 3 ABI WV channels could provide information on mountain wave amplitude, as they detect peak signal from differing heights

Simulated ABI Band 10 (7.3 μm)

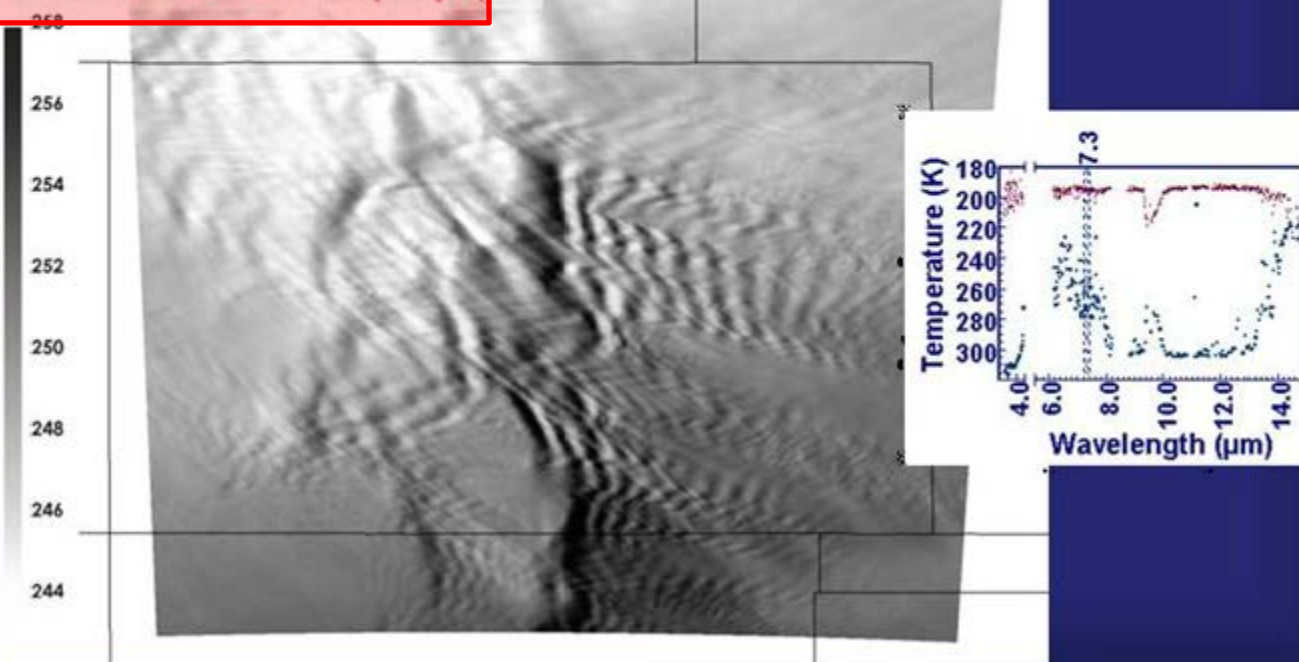


Figure courtesy of K. Bedka and W. Feltz, CIMSS

Canal del vapor de agua simulado (2 Km de res).

patrón es más claro en todas las simulaciones

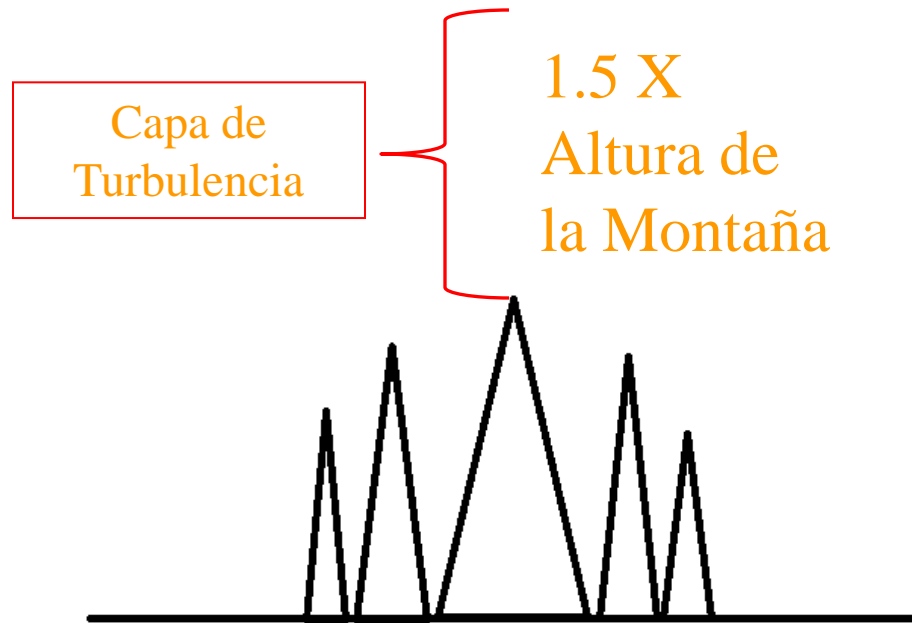
Turbulencia de Montaña

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 severa se observa a unos 4-5,000 pies sobre la cima

Turbulencia de Montaña

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

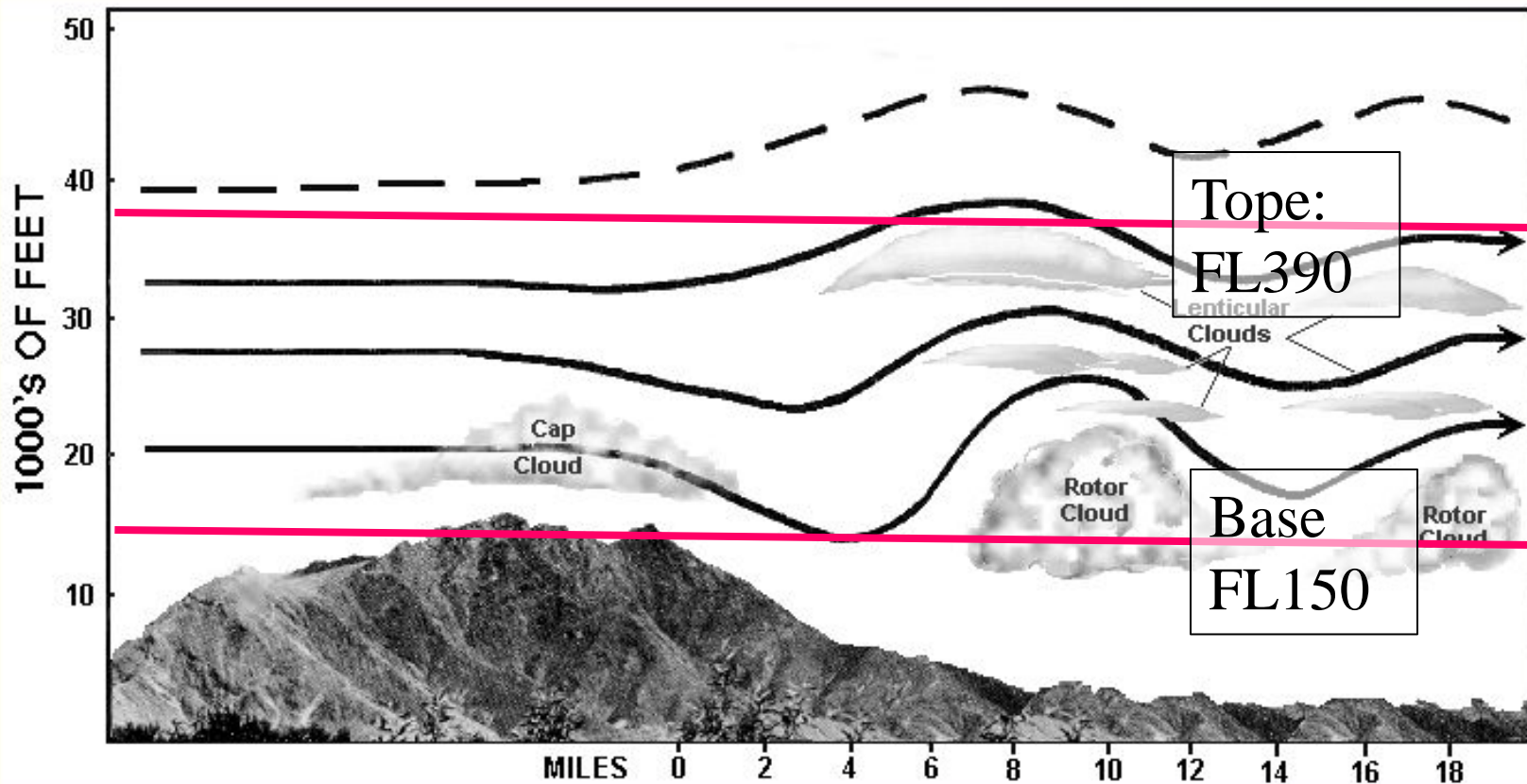
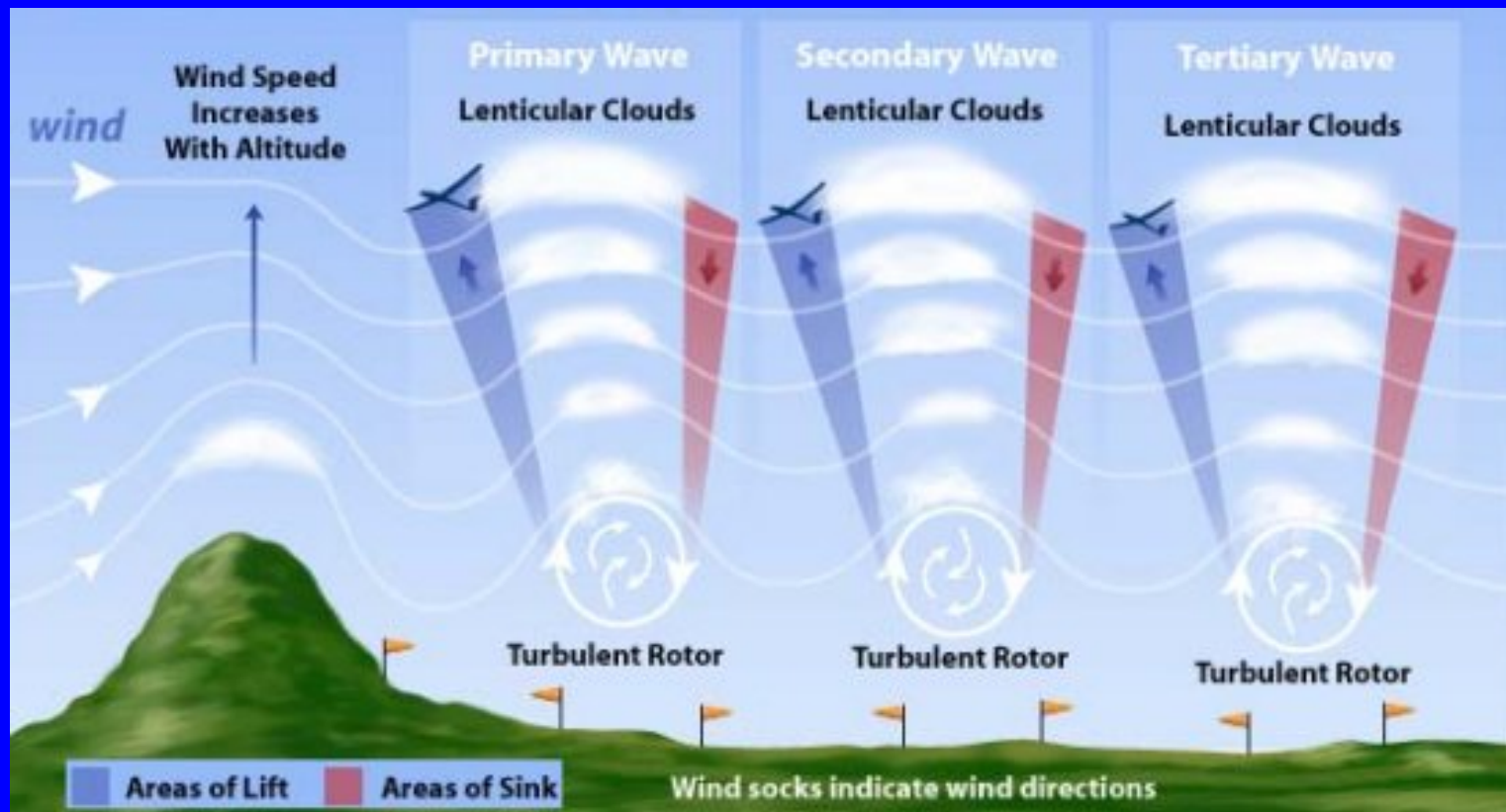
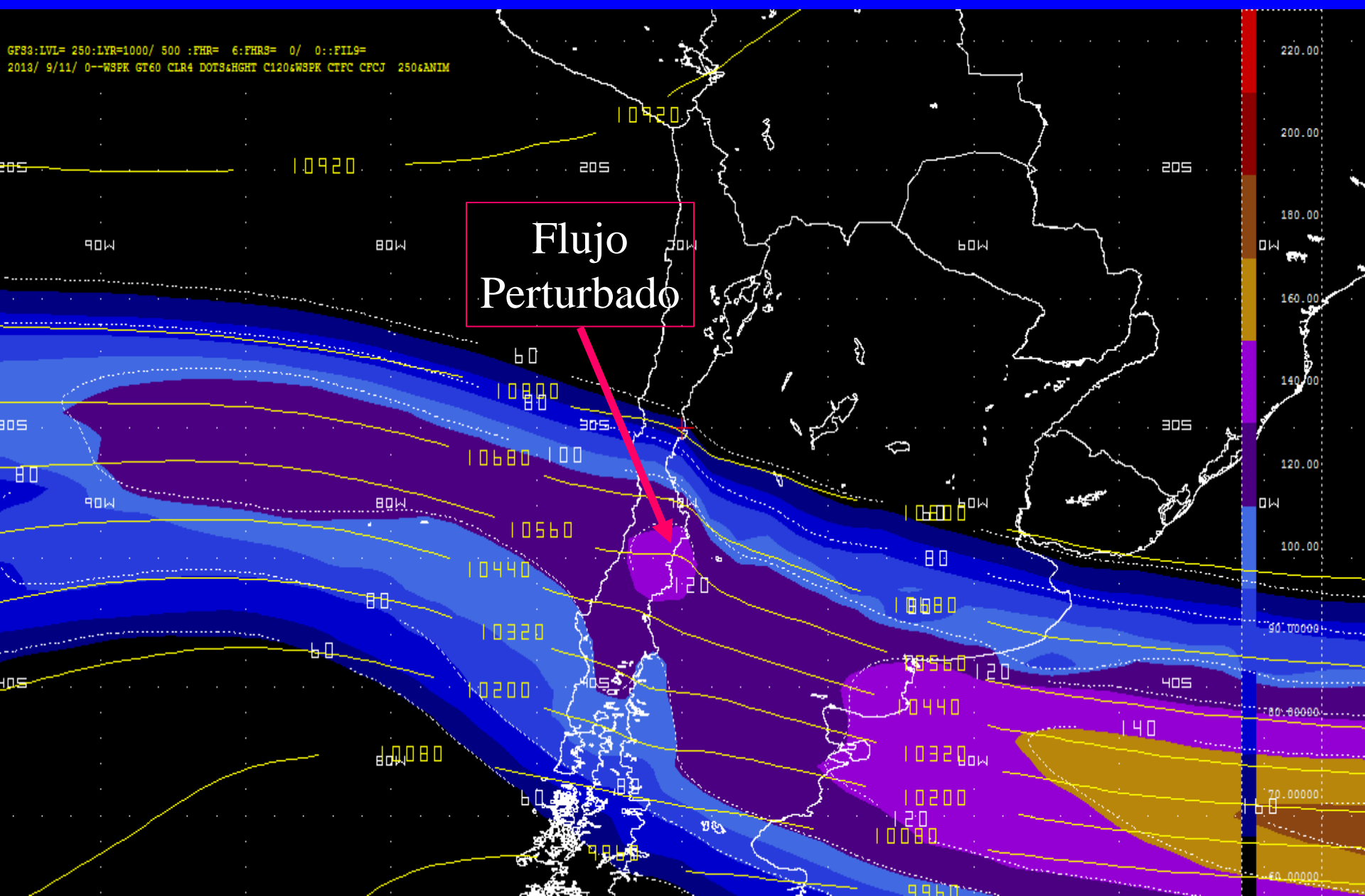


Figure 2-55. Typical Mountain-Wave Pattern and Associated Clouds

Turbulencia de Montaña



Turbulencia de Montaña: STJ



Turbulencia de Montaña

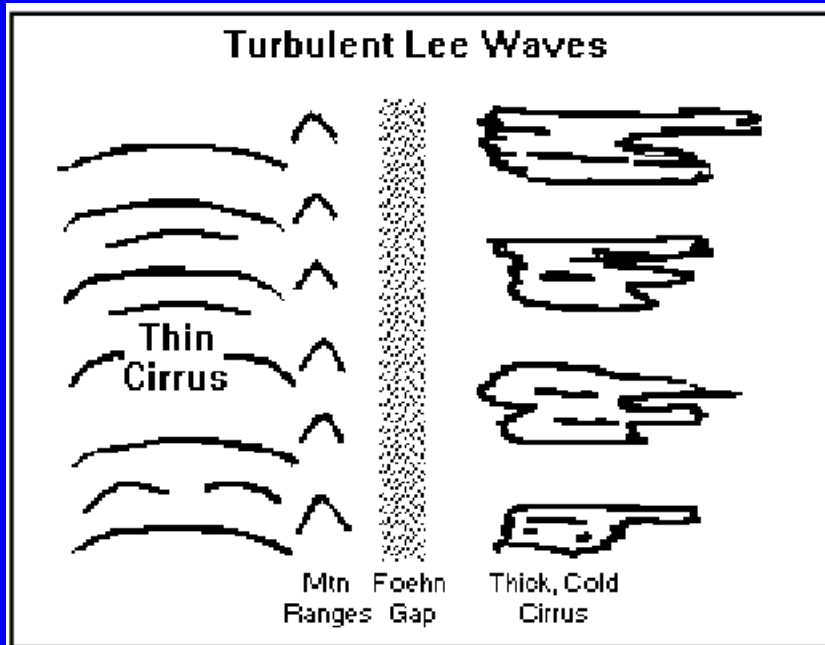
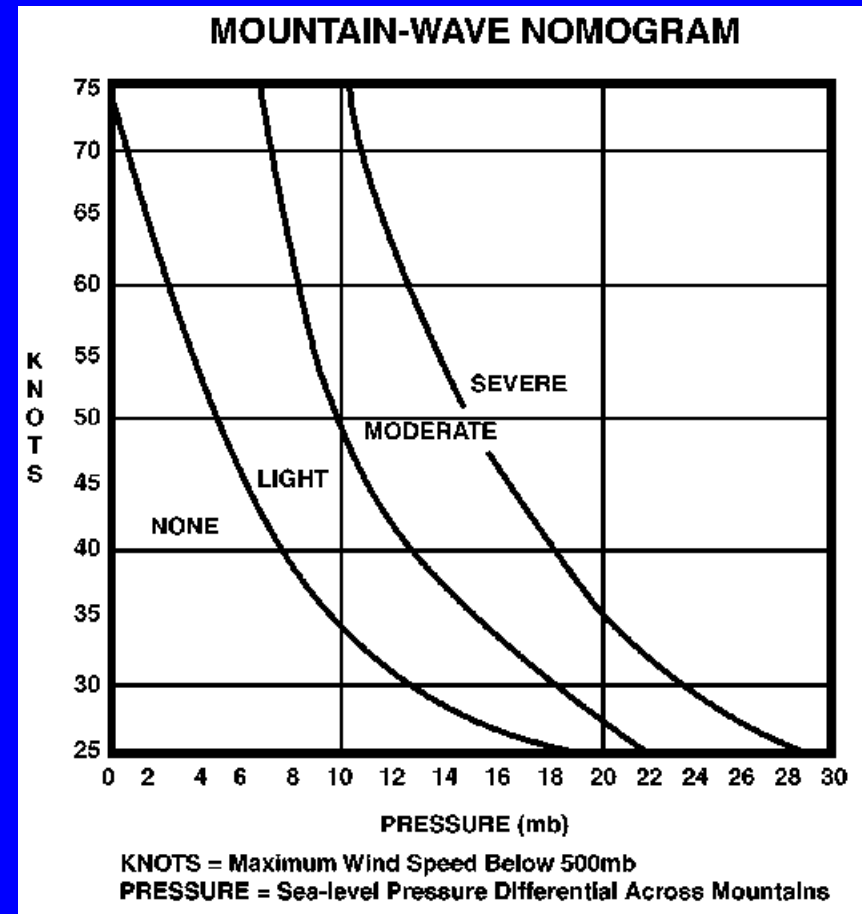


Figure 2-47a. Mountain-Wave Clouds. A foehn gap, indicates turbulent lee waves are present.

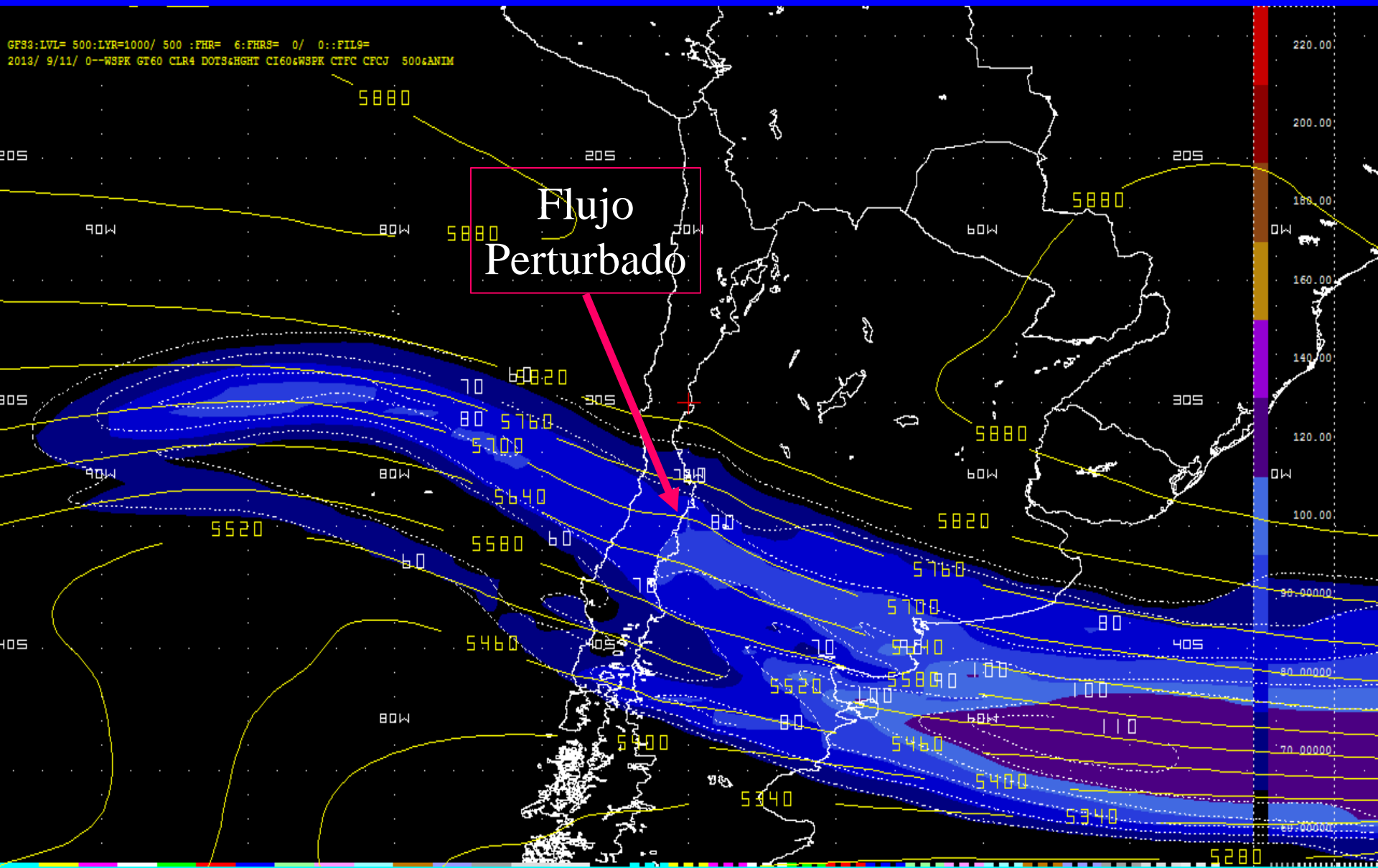


Turbulencia de Montaña

Low-Level Mountain-Wave Turbulence (Surface To 5,000 Ft Above Ridge Line)			
Low-Level Feature Wind Component Normal to Mountain Range at Mountain Top and > 24 kt and	Turbulence Intensity		
	Light	Moderate	Severe
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)		

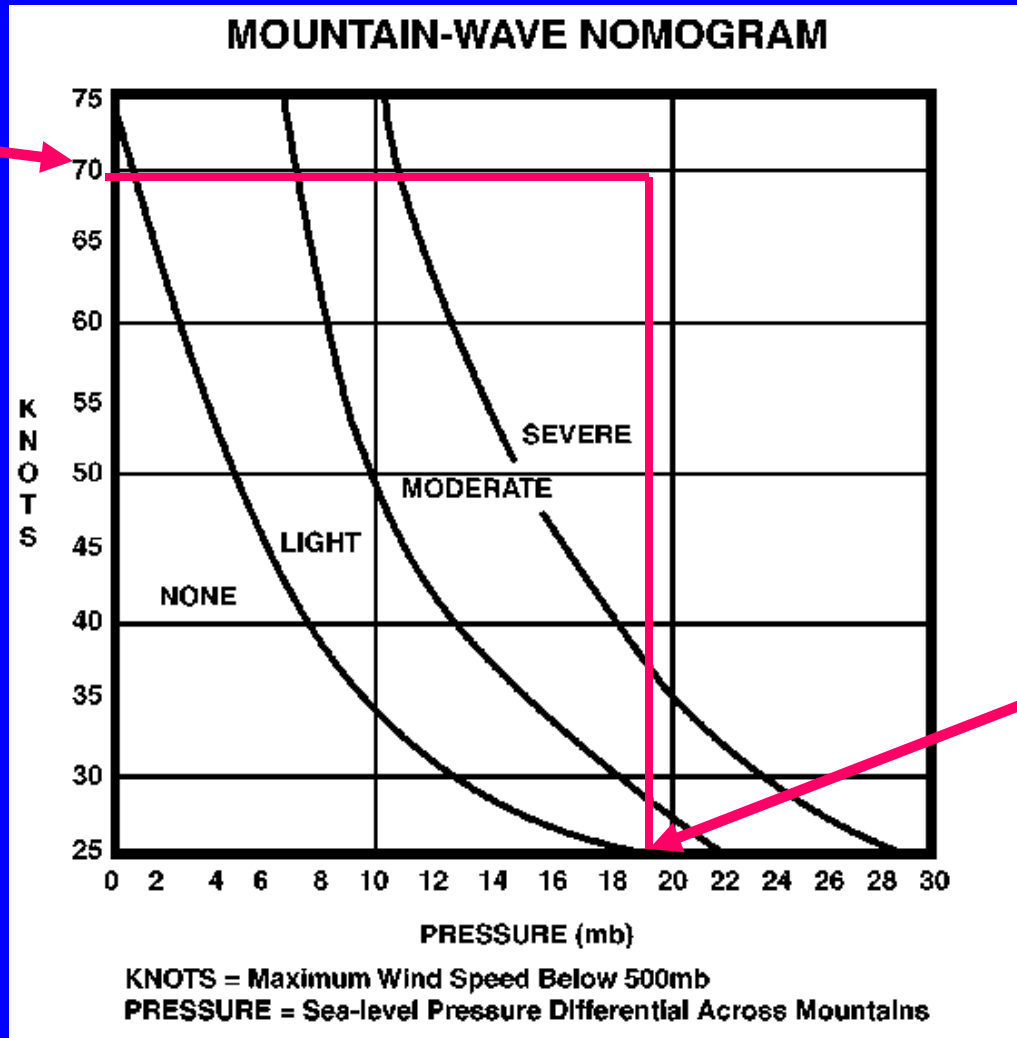
- Notes:**
- (1) dP is the change in surface pressure across the range.
 - (2) ldTl is the absolute value of the 850-mb temperature difference across the range.
 - (3) ldT/dXl is the absolute value of the 850-mb temperature gradient along mountain range.
 - (4) Turbulence category forecast is the worst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

Turbulencia de Montaña: 500 hPa



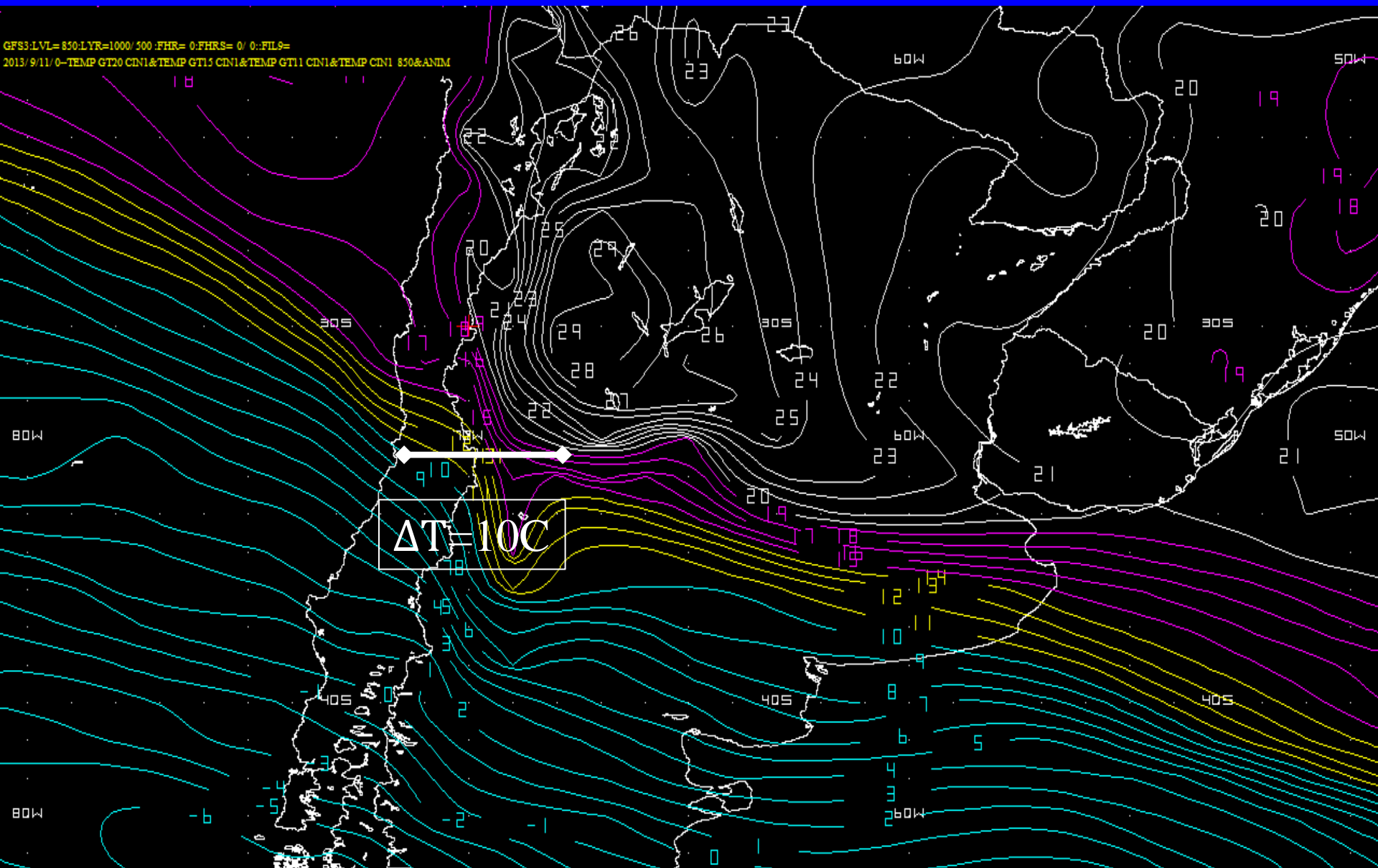
Turbulencia de Montaña

$$V = 70 / 90 Kt$$



$$\Delta P = 19$$

Cuña Termal en 850 hPa



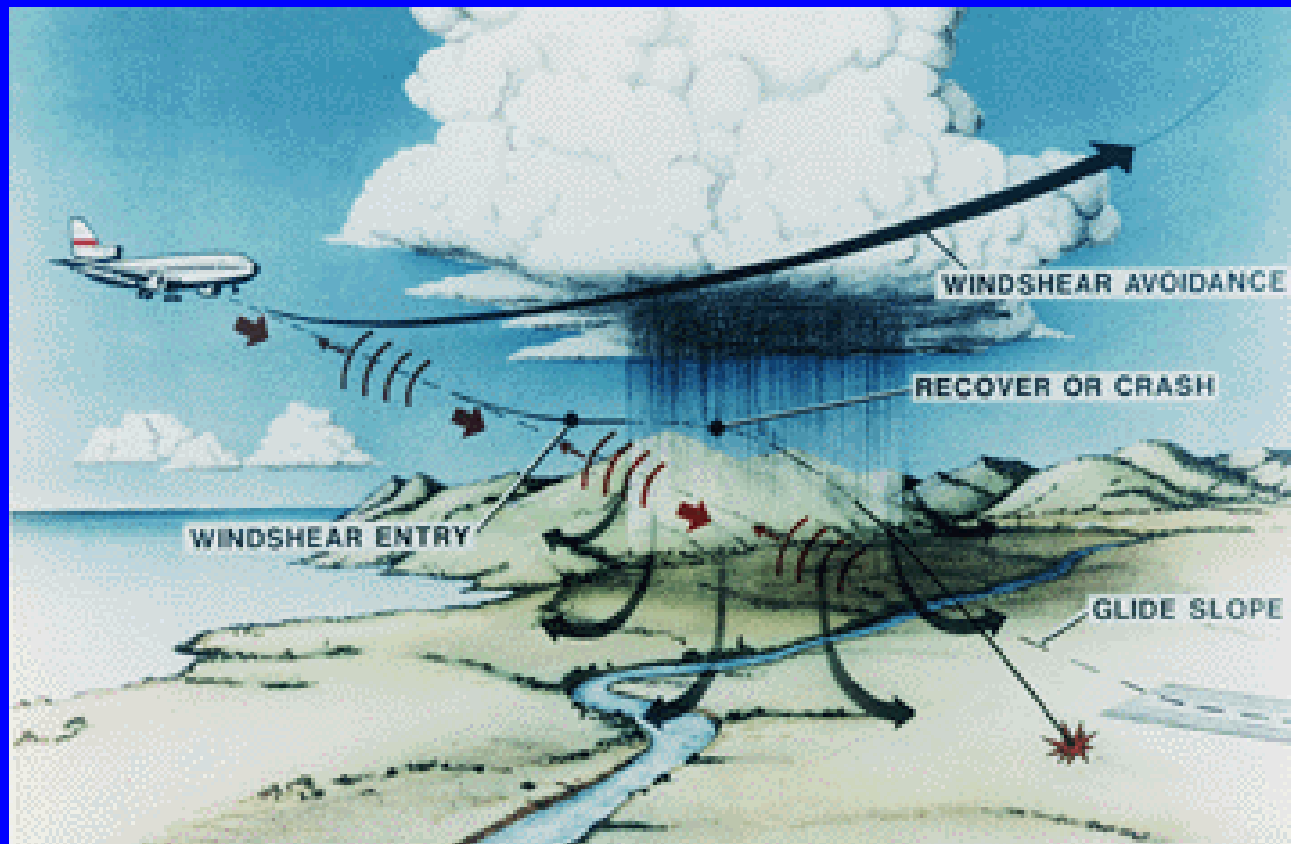
Turbulencia de Montaña

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.

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 es LLWS?

- LLWS se espera cuando hay una diferencia vectorial de 10 nudos, o mas, en una capa de distancia vertical de 200 pies (60 metros) y a unos 2,000 pies de la superficie.

¿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 bajos, 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 el impacto del LLWS.

Tipos de LLWS

- Convectiva

- De corta duración

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

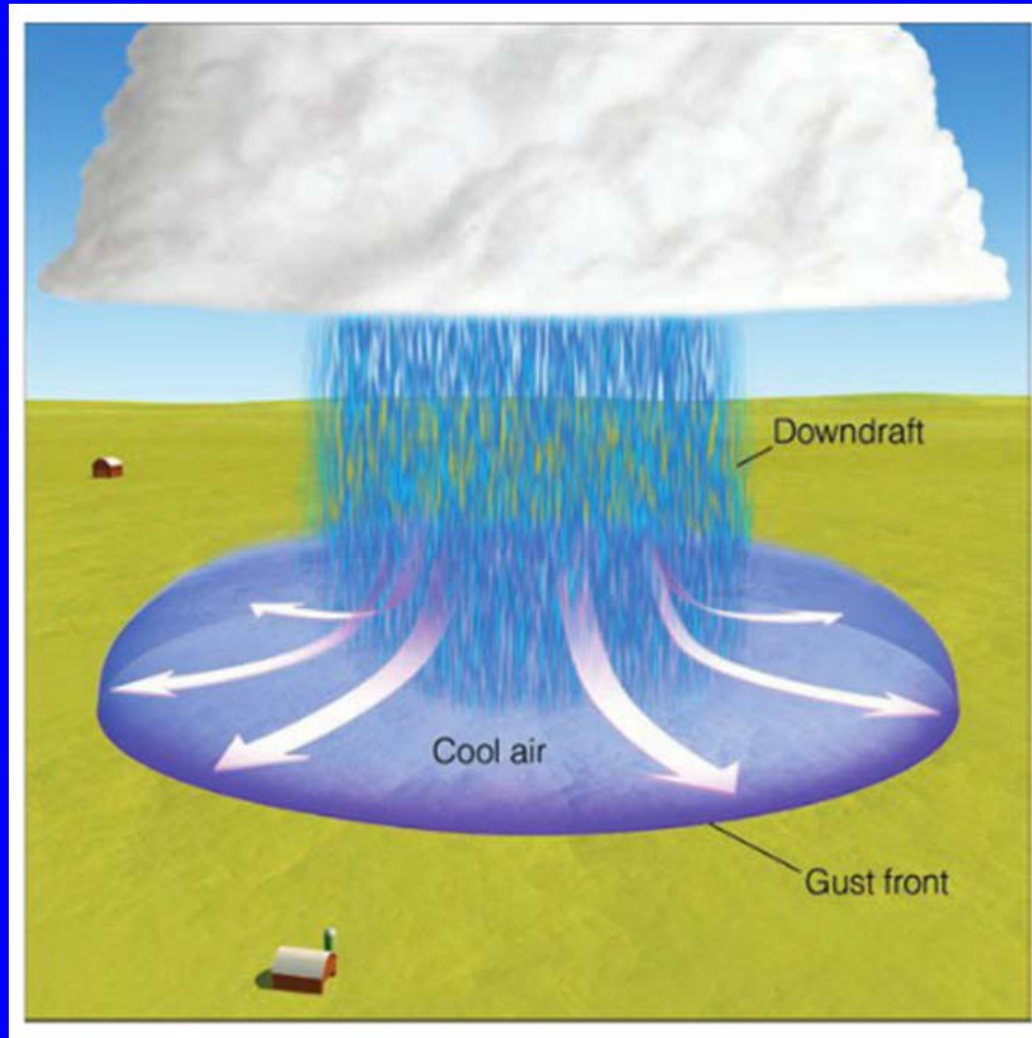
- Mas difícil de pronosticar

- Microburst/Macroburst y Líneas de Inestabilidad

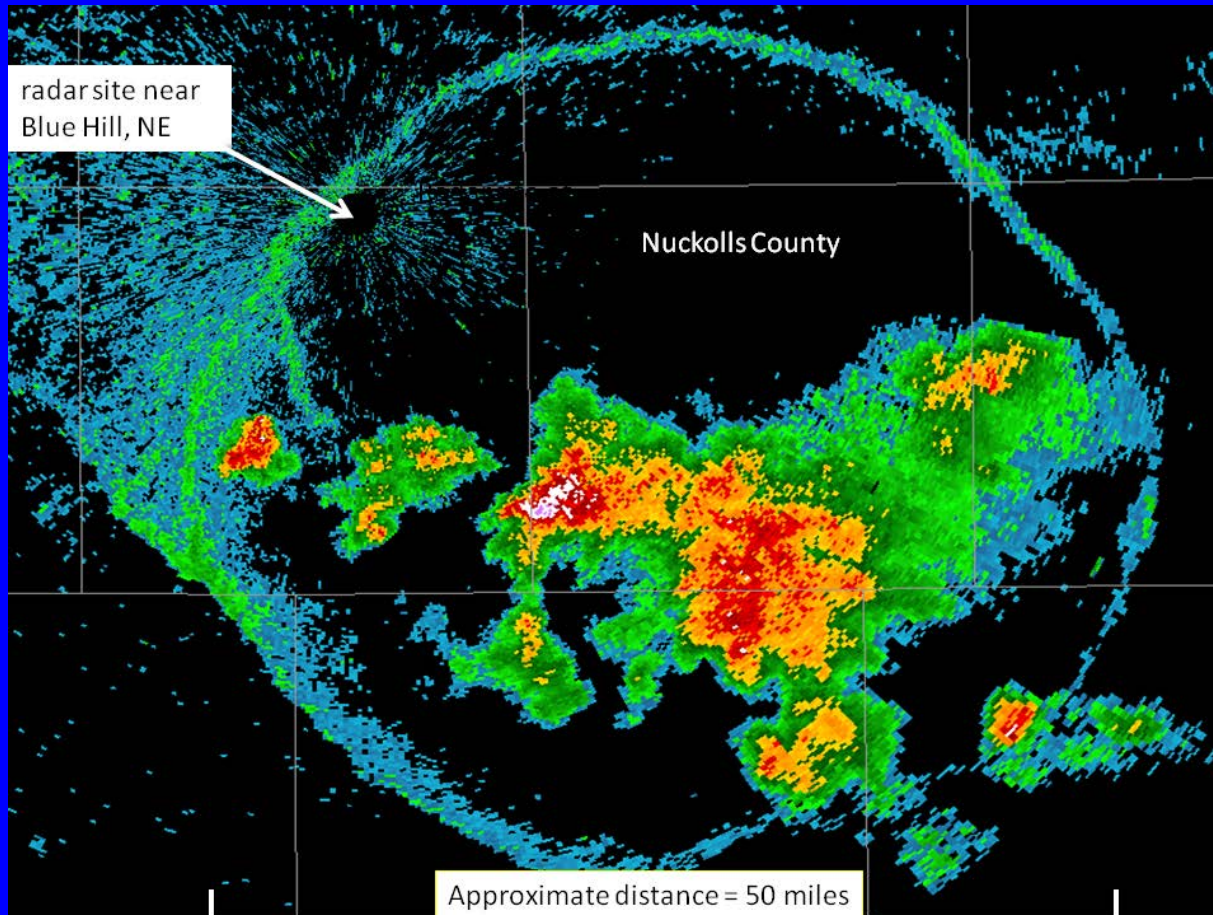
- Frente de racha (Fracto Cu)

- Se asume cuando CBs/tormentas son pronosticados

Downburst

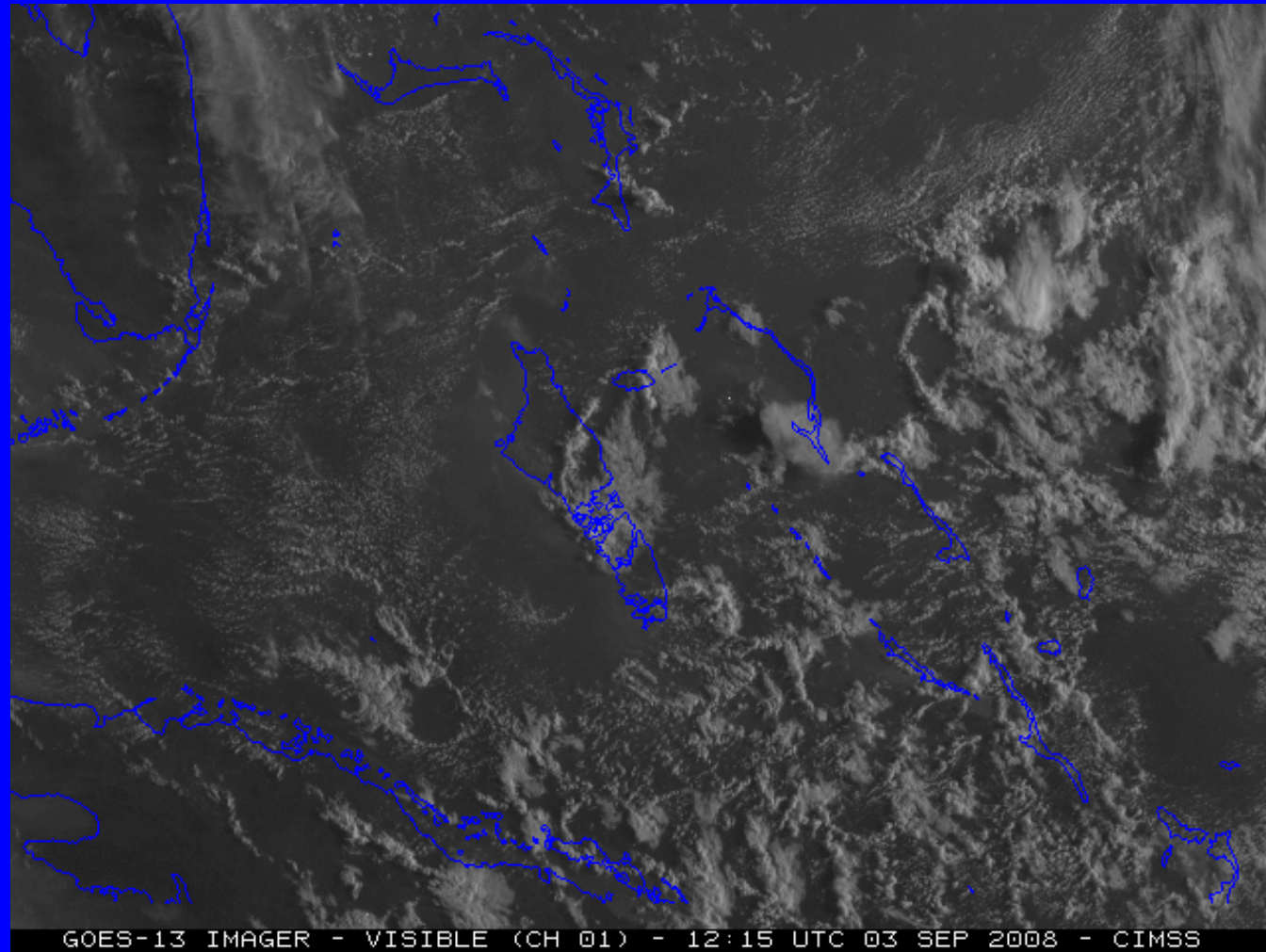


Frente de Racha (Imagen de Radar)



Frente de Rachas

(Outflow Boundary con Huracan Hanna)



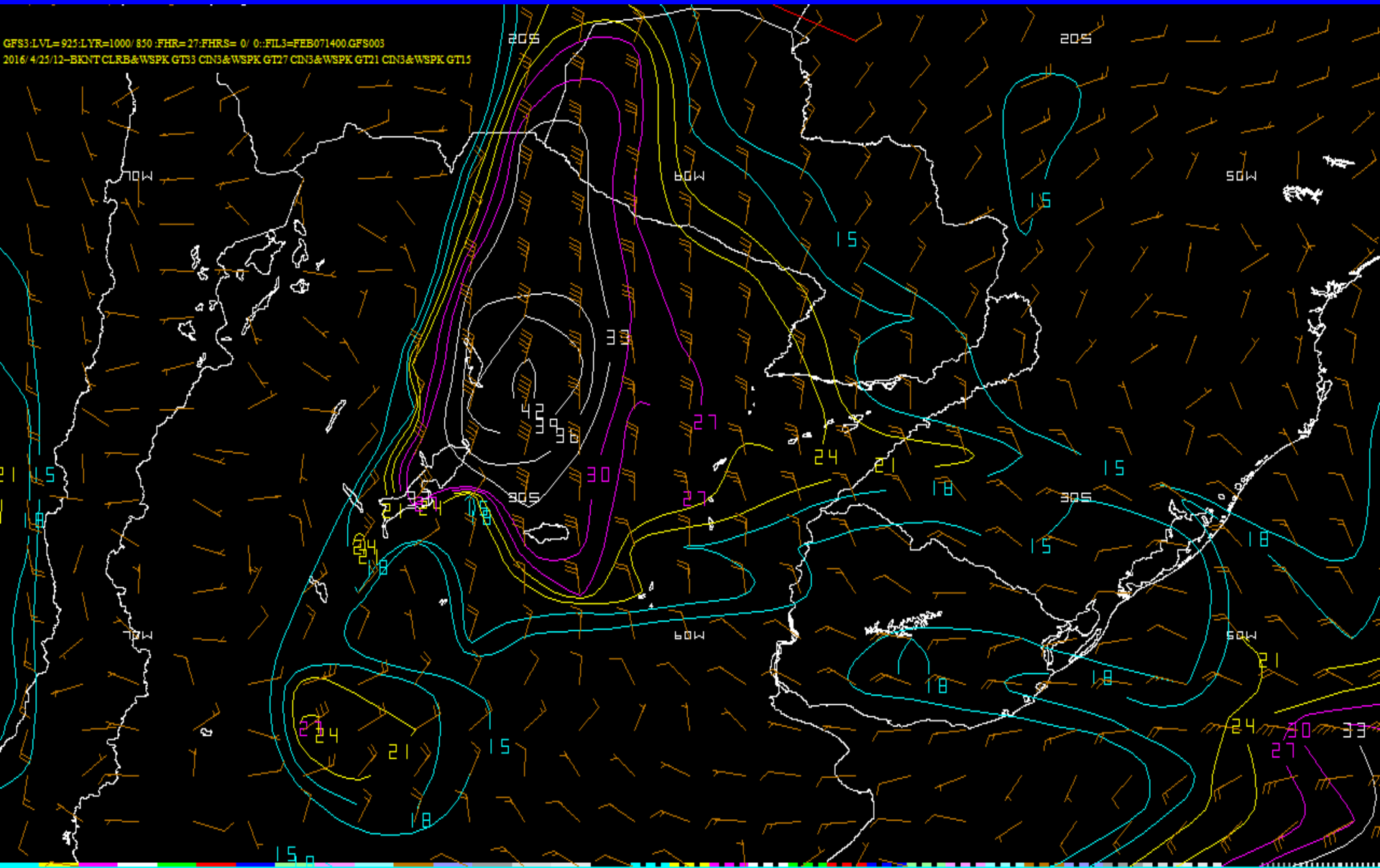
Tipos de LLWS

- **No Convectiva**
 - De origen meso/sinóptico
 - Frentes rápidos, propagándose a unos 30 nudos
 - Jet de capas bajas
 - Puede ser inducido por el terreno/edificios
 - De mayor duración que la convectiva
 - Puede durar horas
- **Difícil de pronosticar**
 - Modelos no tienen el numero de capas necesario

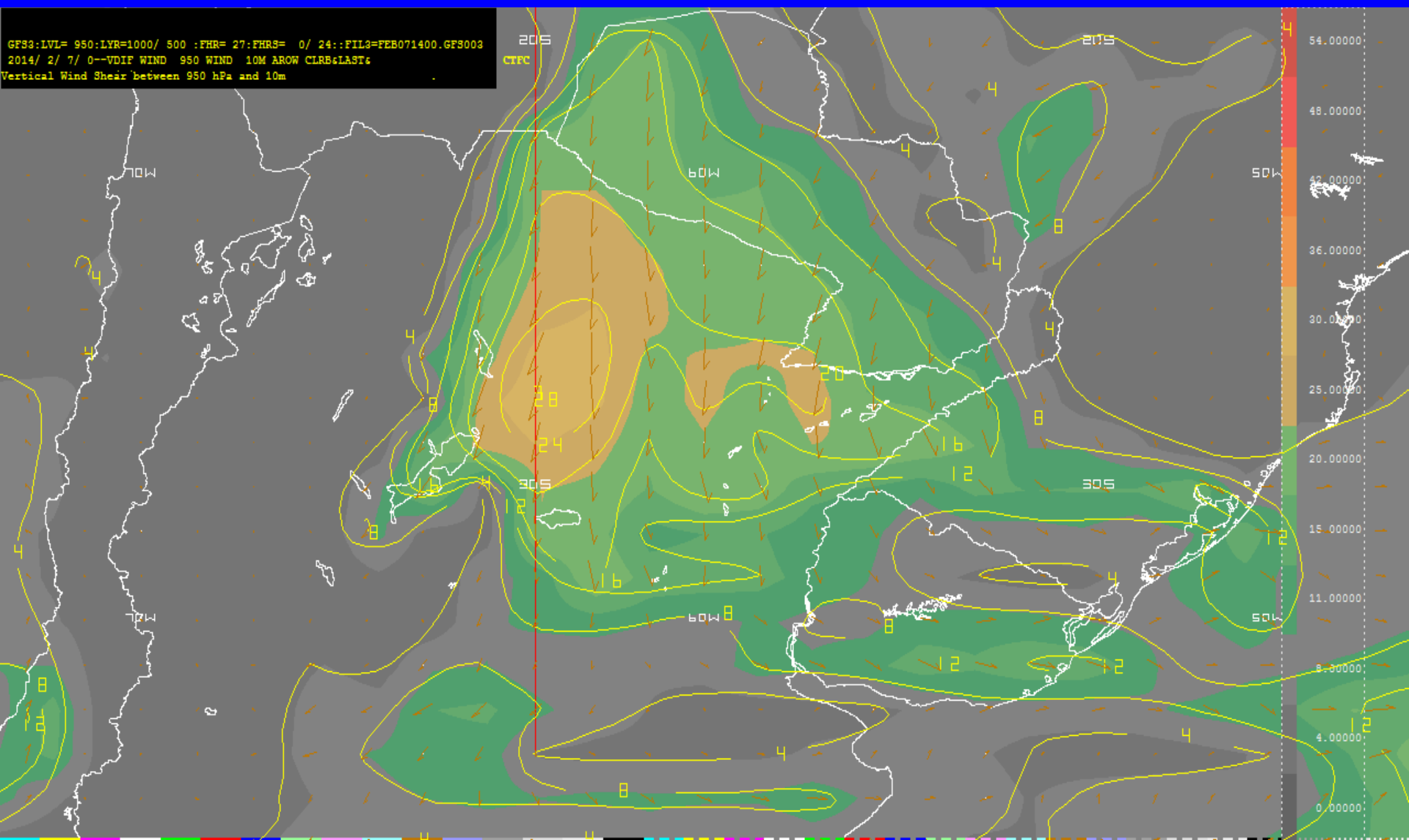
LLWS

- SPZO WS WRNG 01 241820 VALID TIL 242230 SEV WS IN APCH RWY28 REP AT 1815 N90WT SFC WIND: 360/22KT”.
-
- SPIM WS WRNG 01 211230 VALID 211245/211330 WS APCH RWY15 FCST SFC WIND 320/10 KT 60 M-WIND: 360/25 KT

Cizalla con Jet del Norte en 925 hPa



Cortante entre 10m – 950 (LLWS.)



Cortante entre Niveles (LWS2.)

GFS3:LVL=925:LVR=1000/500:FHR=27:FHRS=0/24::FIL3=FEB071400.GFS003

Vertical Wind Shear between SFC and 975/SFC-FL010 (Cyan)

Vertical Wind Shear between 975 and 950/FL010-017 (Yellow)

Vertical Wind Shear between 950 and 925/FL017-025 (Magenta)

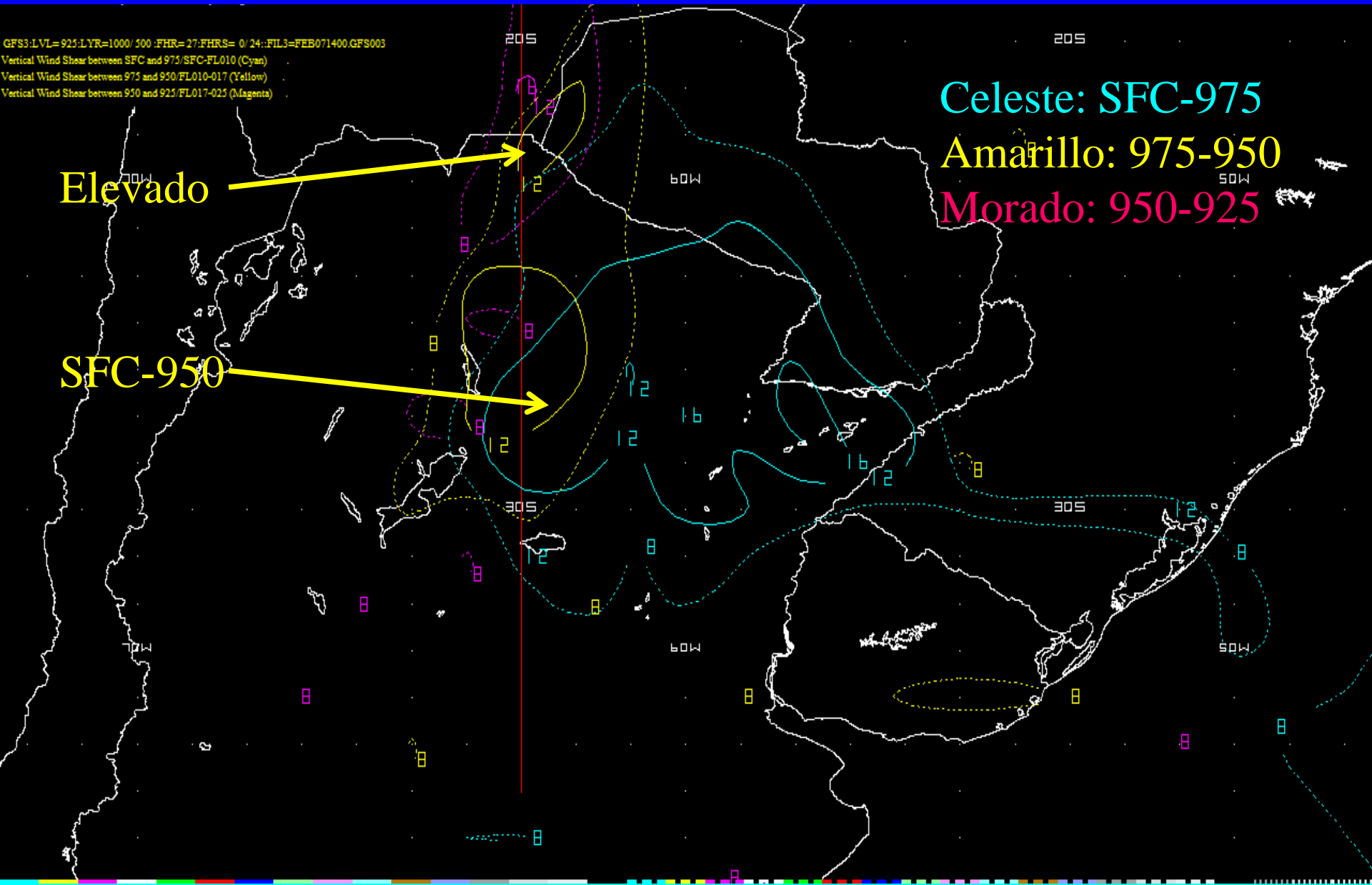
Elevado

SFC-950

Celeste: SFC-975

Amarillo: 975-950

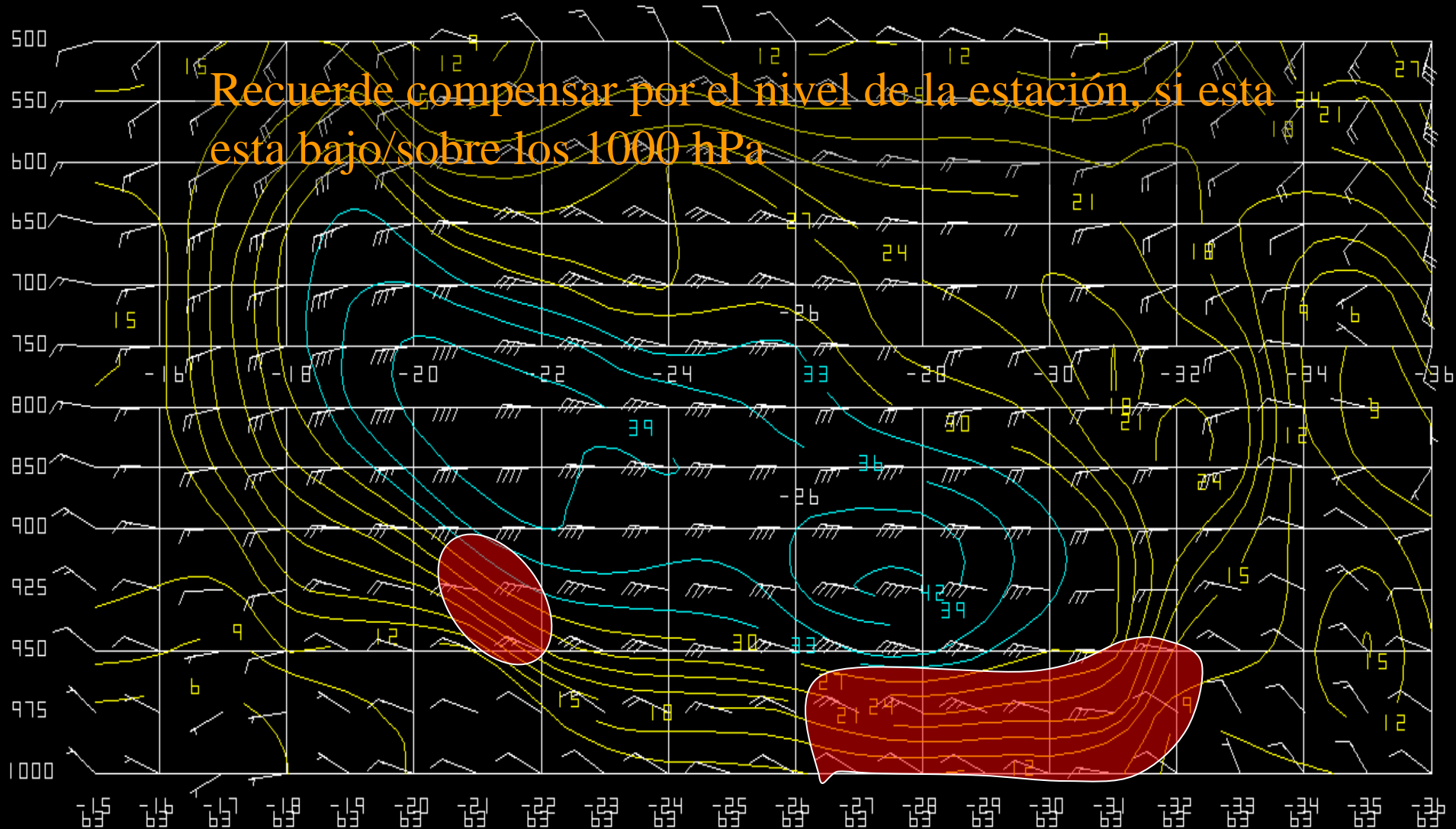
Morado: 950-925



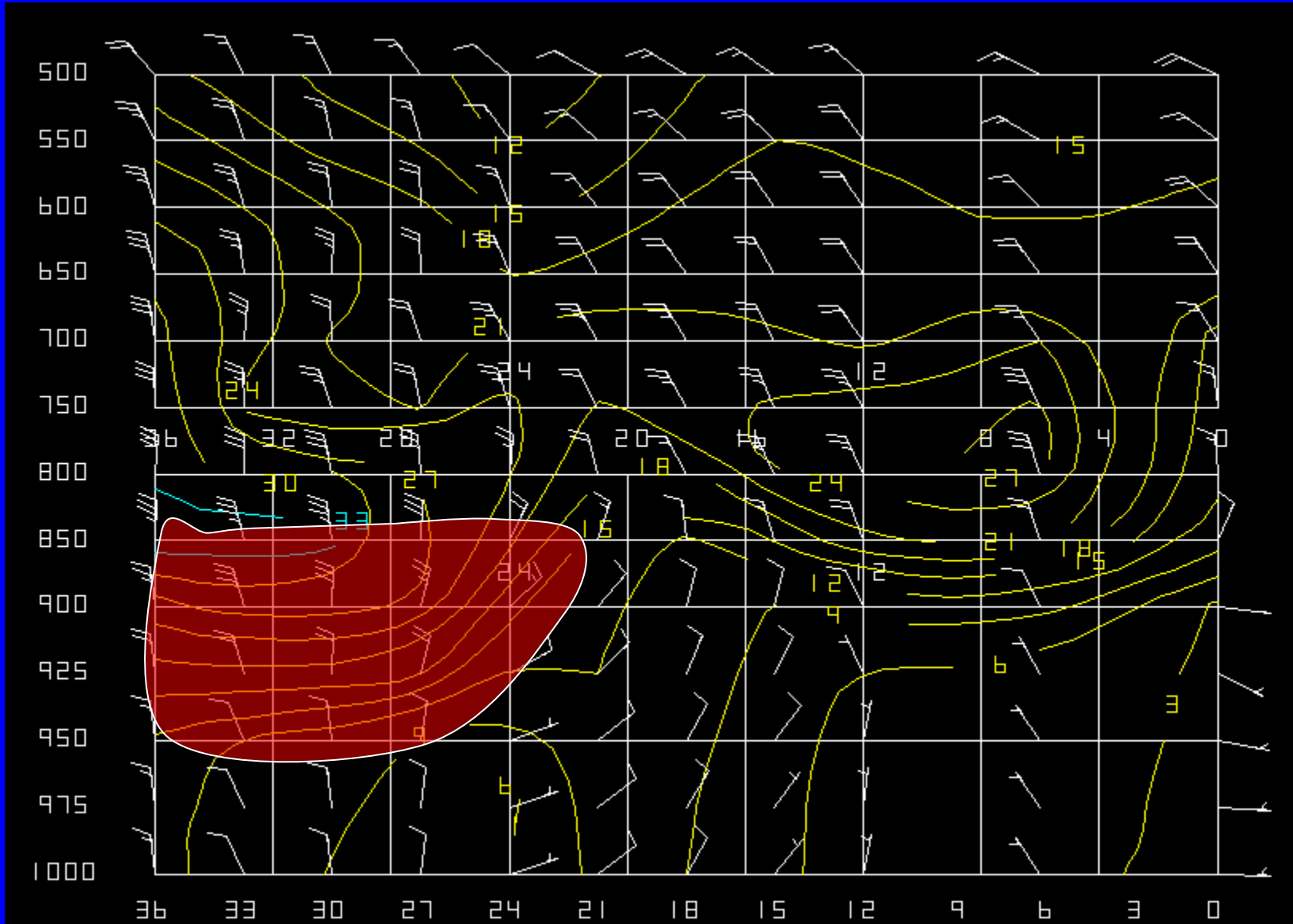
LLWS

GFS3:Lat/Lon 15S/ 63W=> 36S/ 63W:FHR= 27:FHRS= 0/ 24::FIL3=FEB071400.GFS003
2014/ 2/ 7/ 0-XREL BKNT CLR4&WSPK LT32 CIN3&WSPK CIN3&ANIM

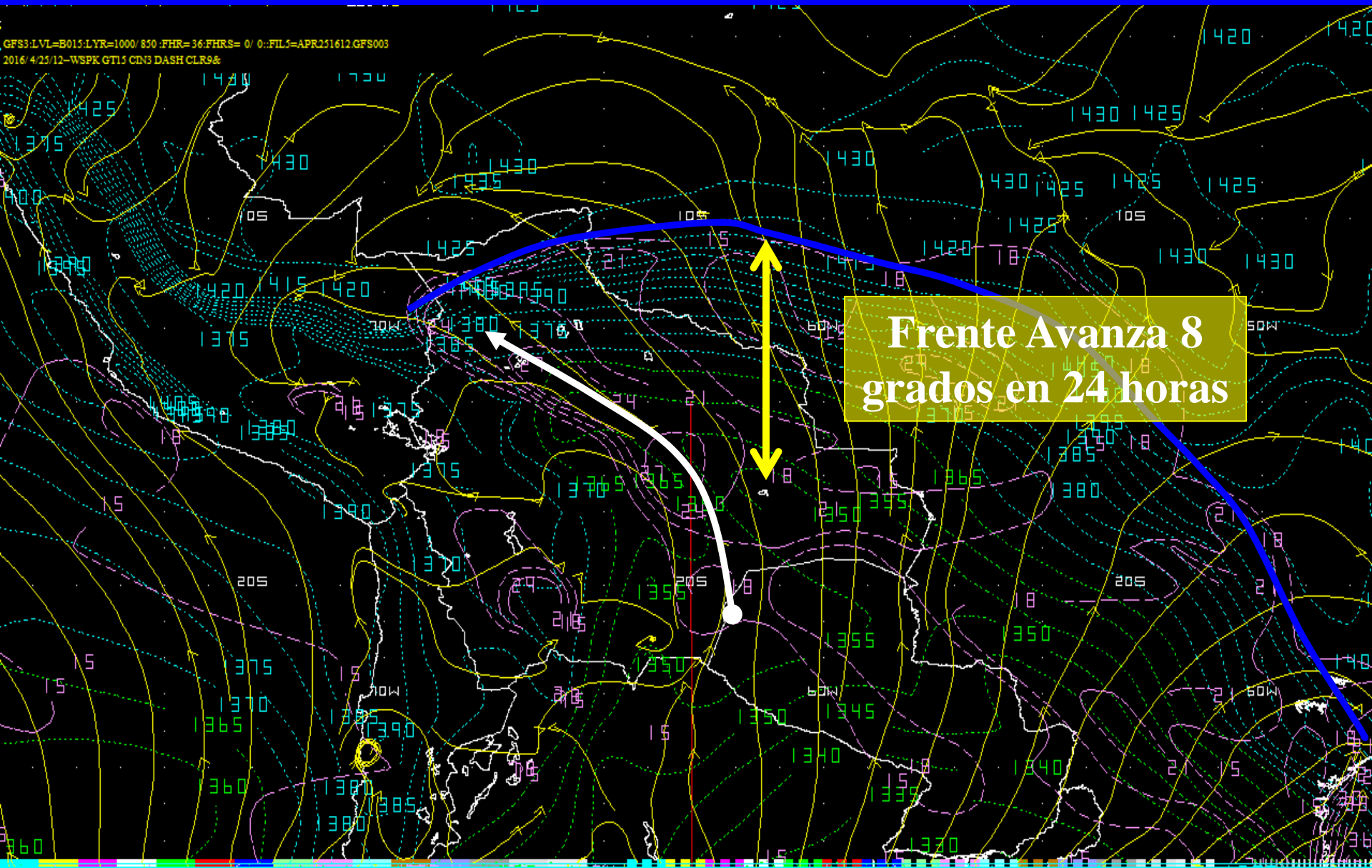
Recuerde compensar por el nivel de la estación, si esta
esta bajo/sobre los 1000 hPa



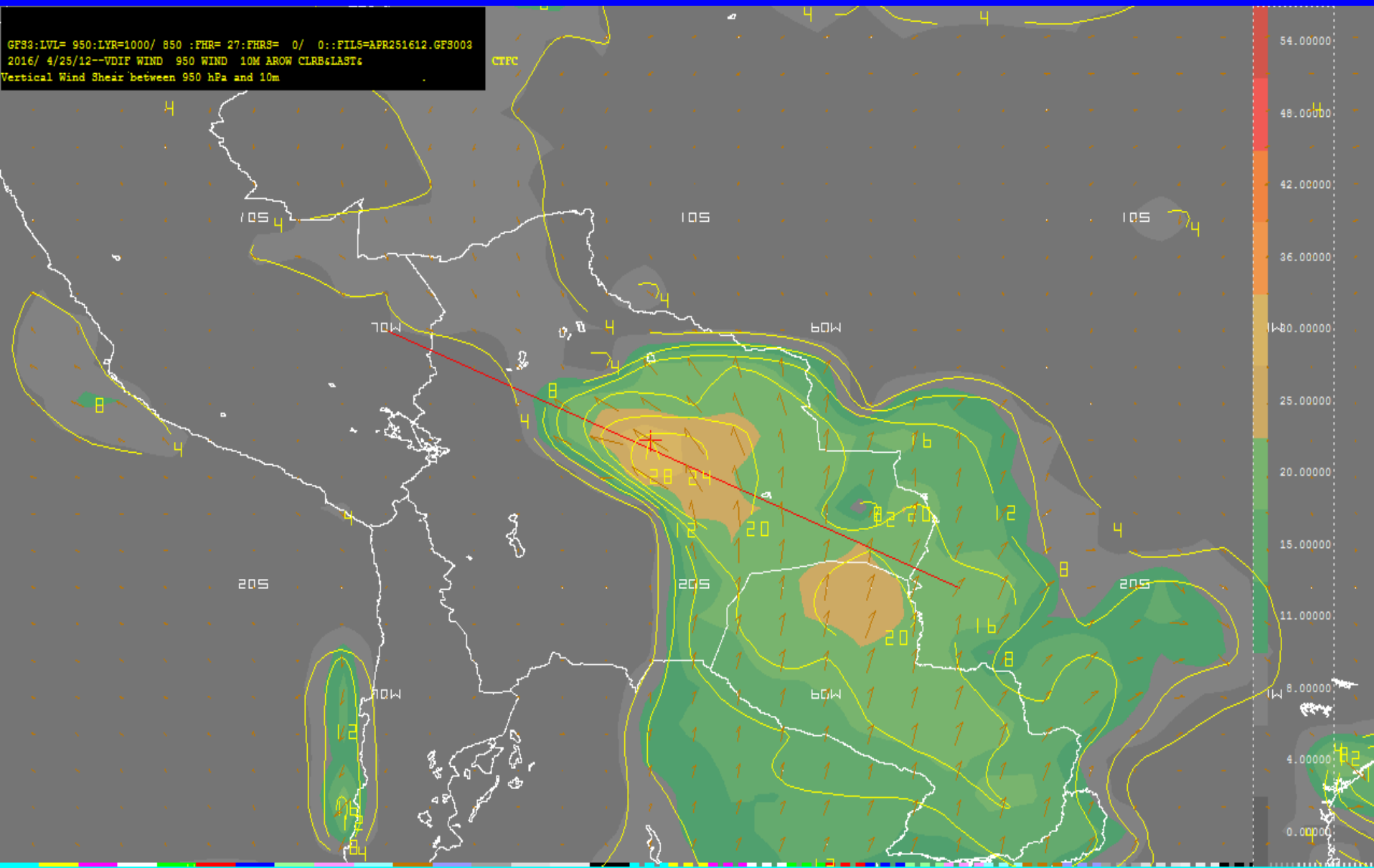
LLWS: Trazo Temporal



Cizalla con Frente/Jet del Sur



Cortante entre 10m – 950 (LLWS.)

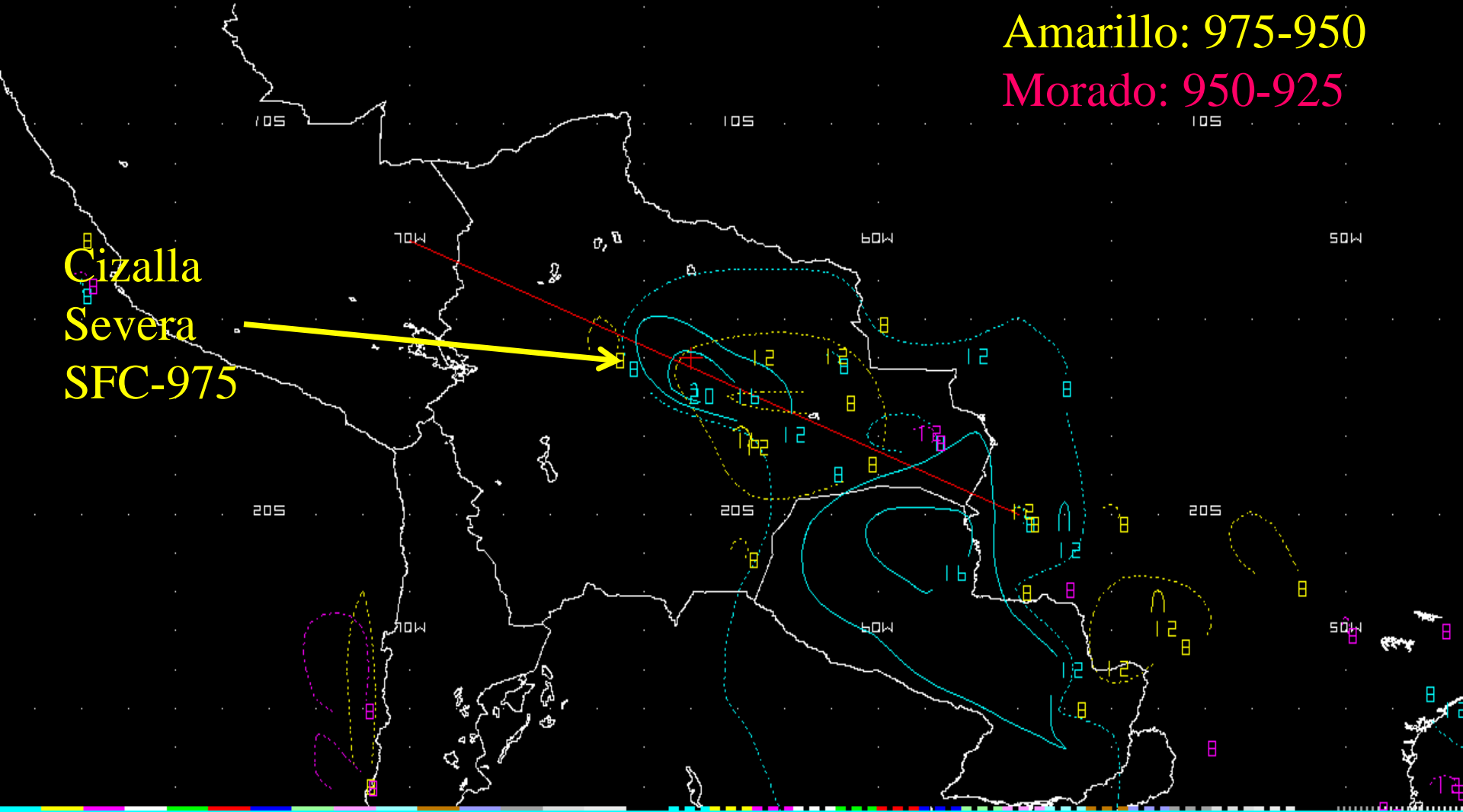


Cortante entre Niveles (LWS2.)

GFS3:LVL=925:LVR=1000/850:FHR=27:FHRS=0/0::FIL5=APR251612.GFS003
Vertical Wind Shear between SFC and 975/SFC-FL010 (Cyan)
Vertical Wind Shear between 975 and 950/FL010-017 (Yellow)
Vertical Wind Shear between 950 and 925/FL017-025 (Magenta)

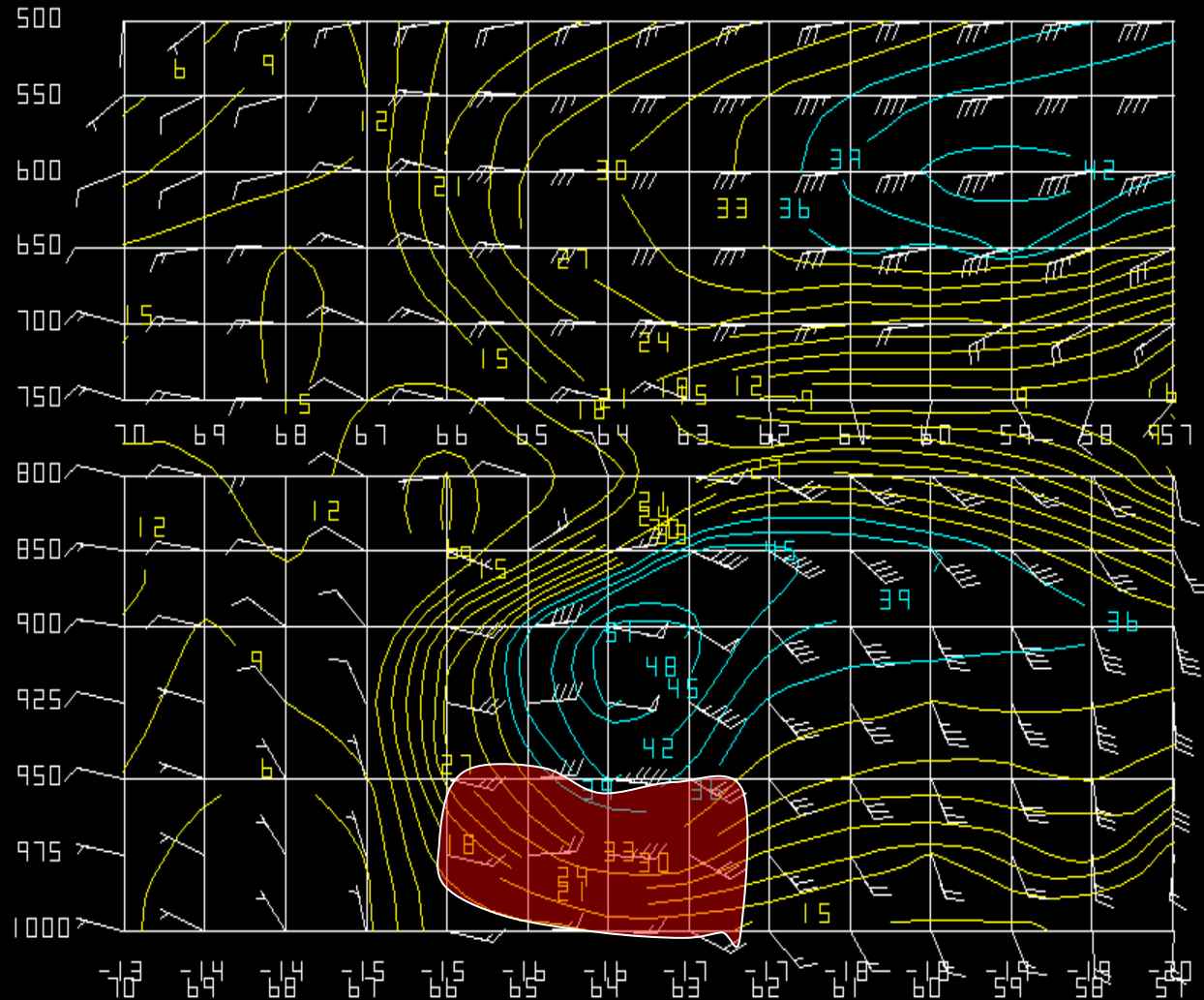
Celeste: SFC-975
Amarillo: 975-950
Morado: 950-925

Cizalla
Severa
SFC-975

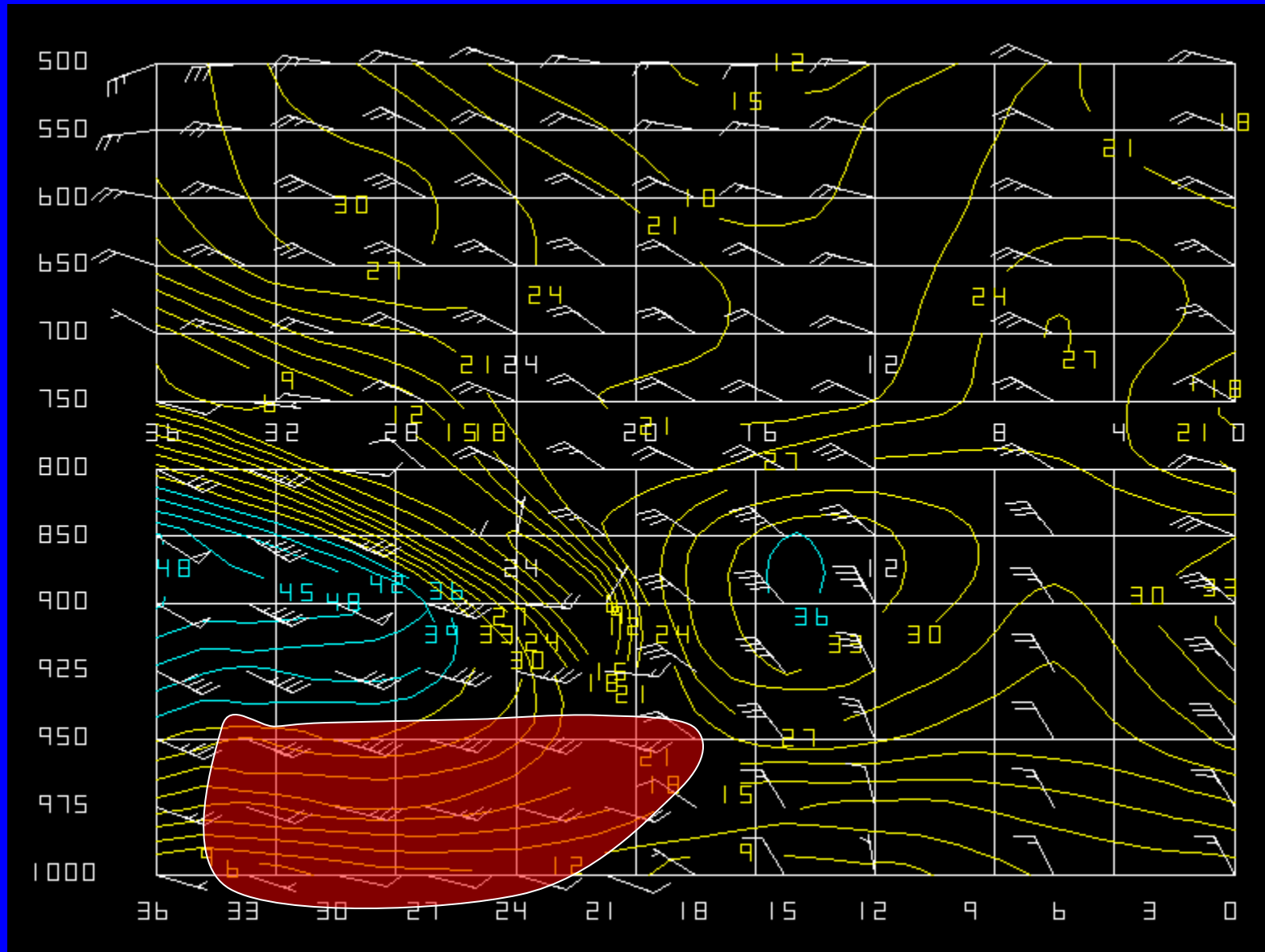


LLWS

GFS3:Lat/Lon 13S/ 70W=> 20S/ 57W :FHR= 27:FHRS= 0/ 0::FIL5=APR251612.GFS003
2016/ 4/25/12--XREL BKNT CLR4&WSPK.LT33 CIN3&WSPK.CIN3&ANIM

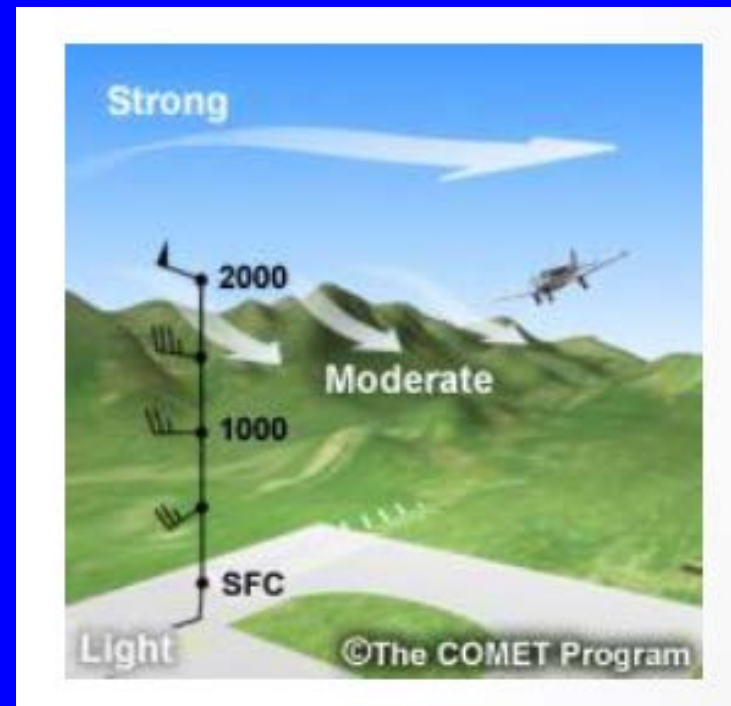


LLWS: Trazo Temporal



Efectos Locales

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

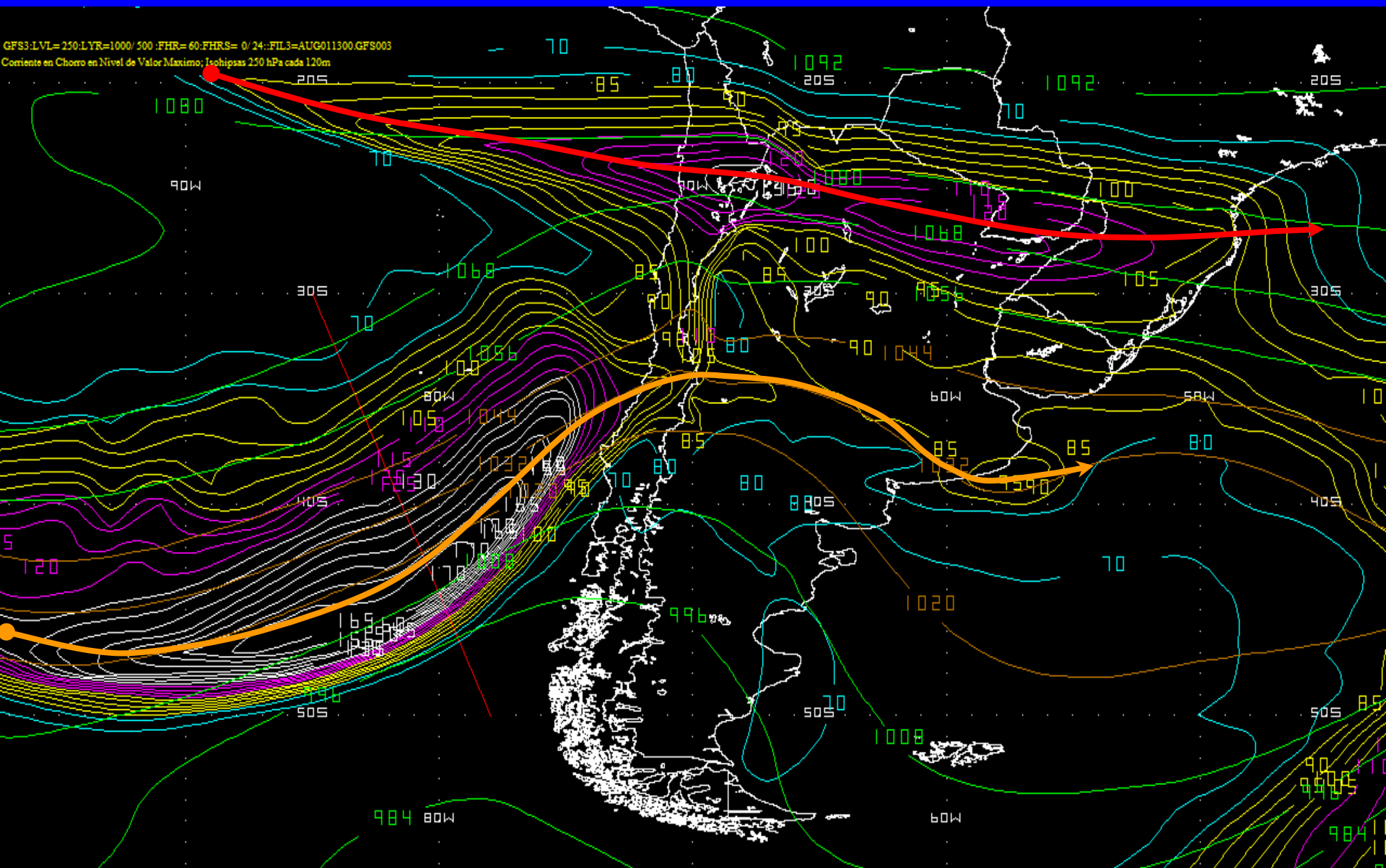


Ejemplo Gradiente Horizontal

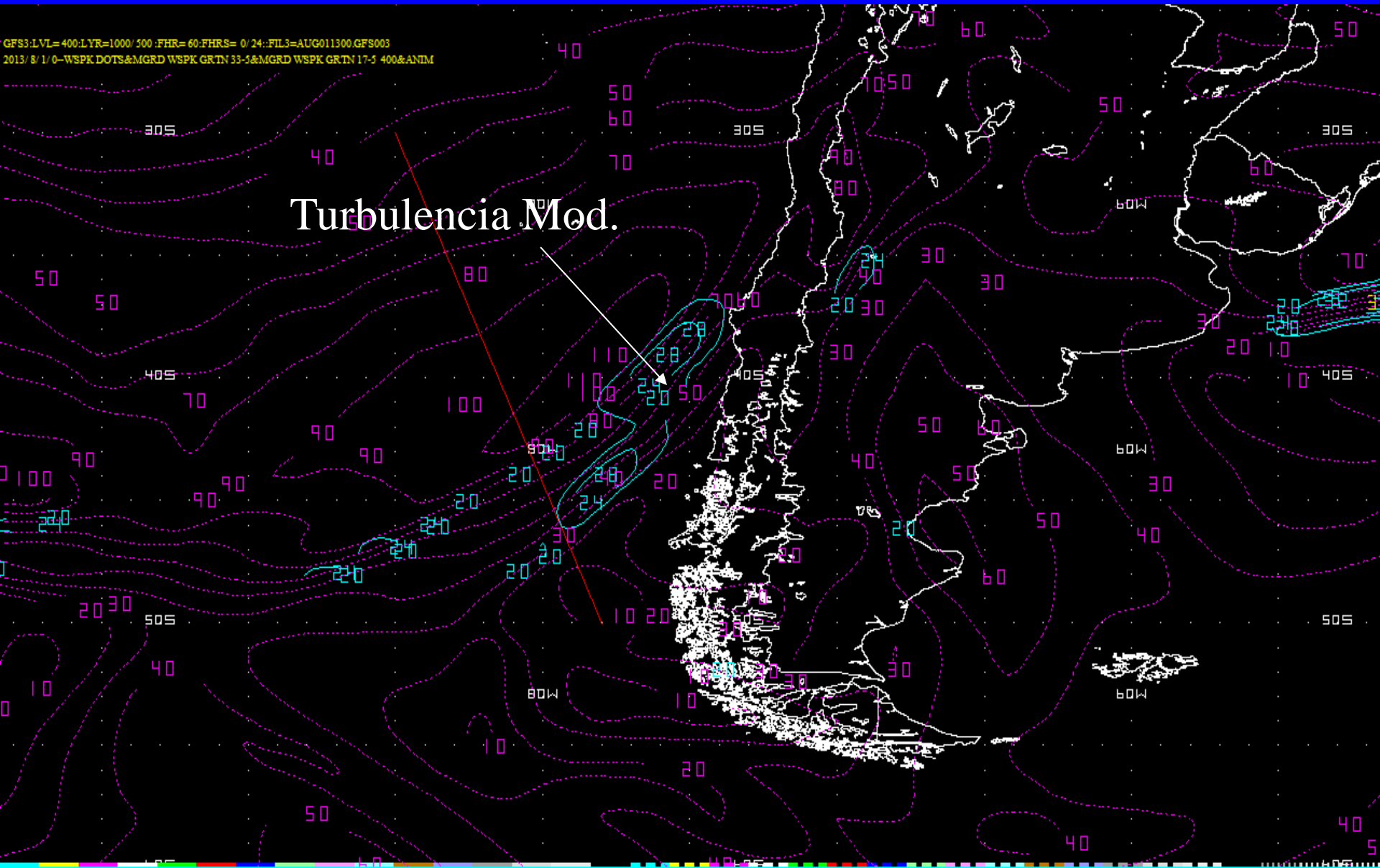
MGRD WSPK 250 F12

Turbulencia con un Jet

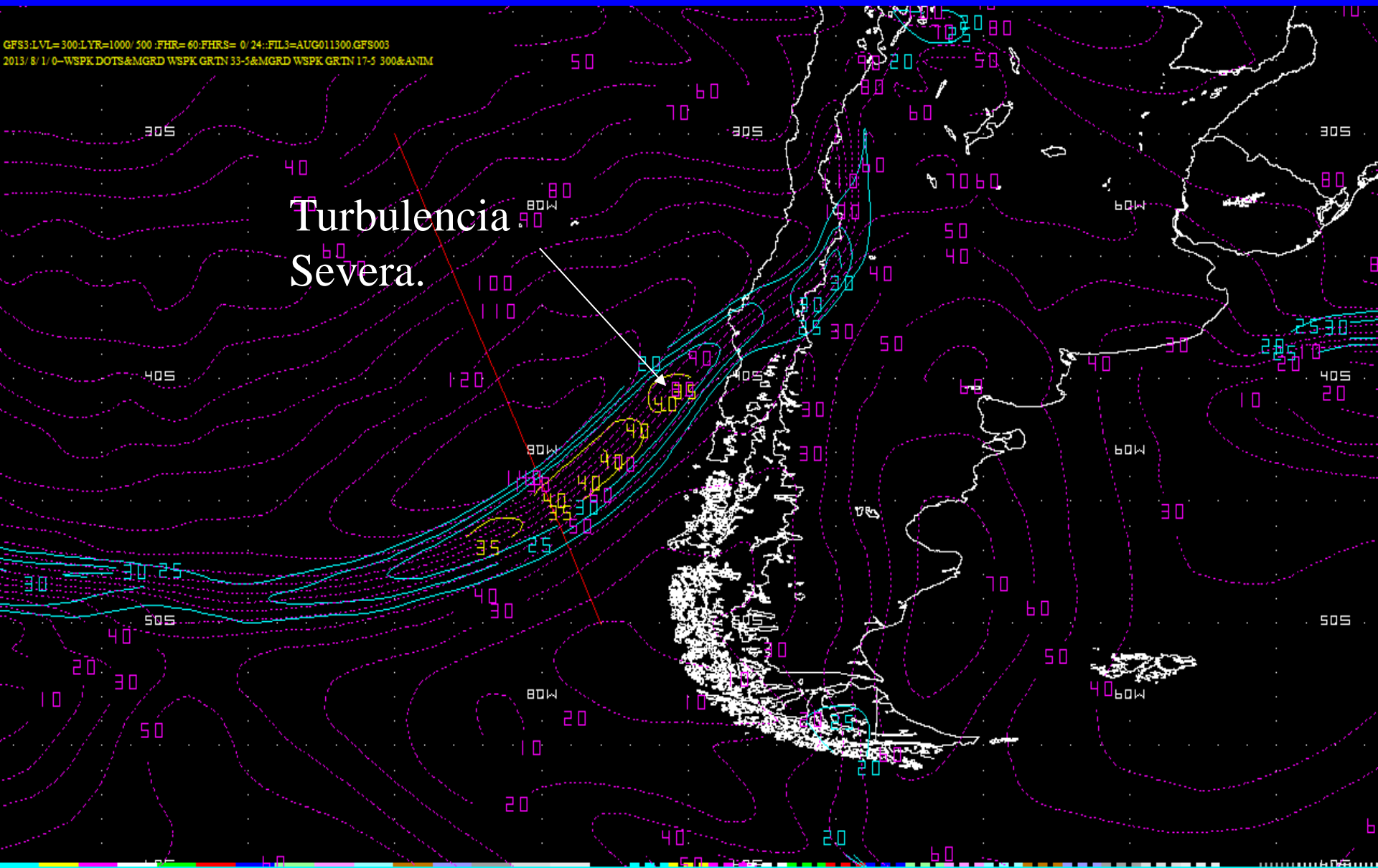
GFS3:LVL=250:LYR=1000/500:FHR=60:FHRS=0/24::FIL3=AUG011300.GFS003
Corriente en Choero en Nivel de Valor Maximo; Isohipsas 250 hPa cada 120m



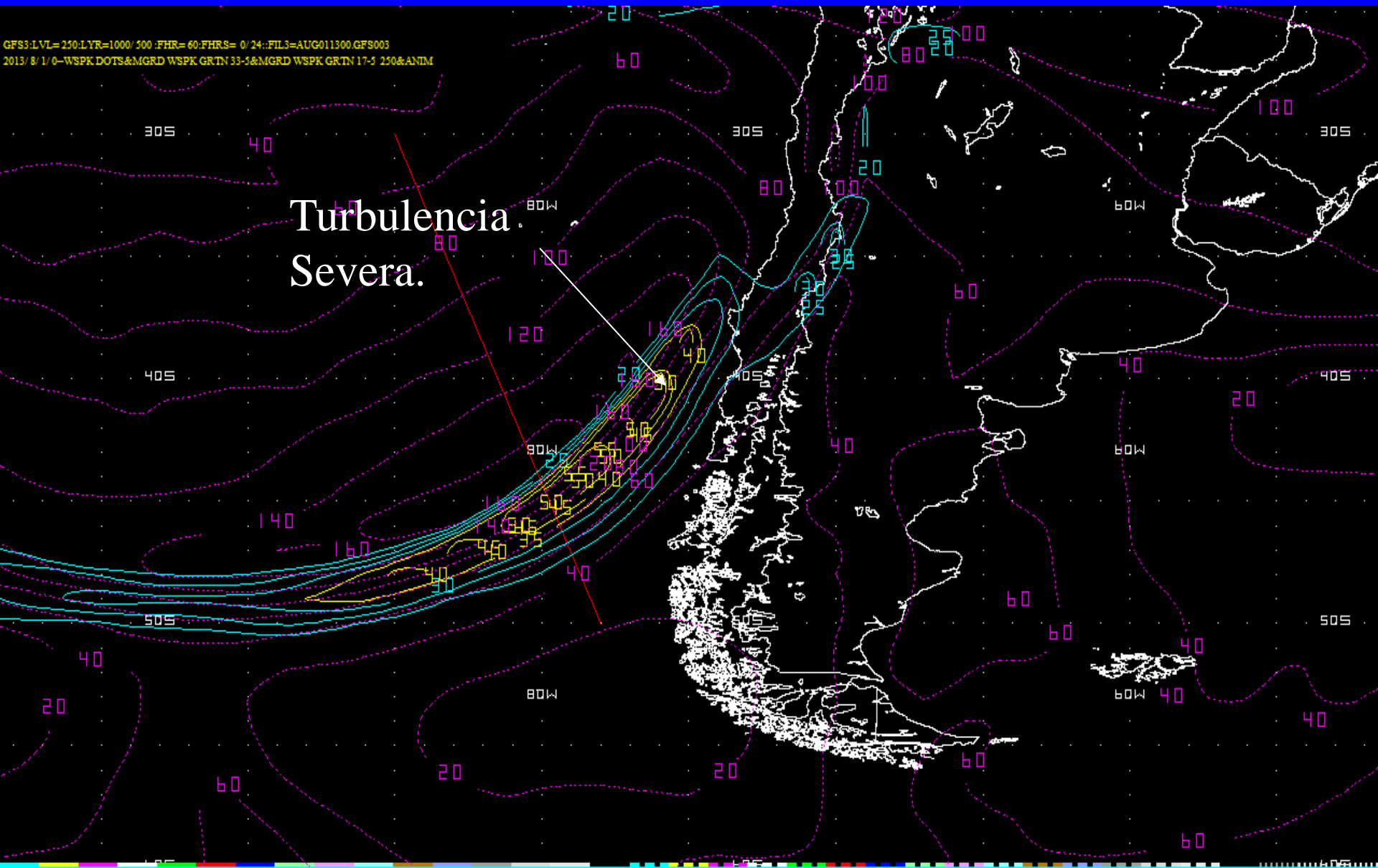
Gradiente Horizontal de Isotacas: 400 hPa



Gradiente Horizontal de Isotacas: 300 hPa



Gradiente Horizontal de Isotacas: 250 hPa



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)

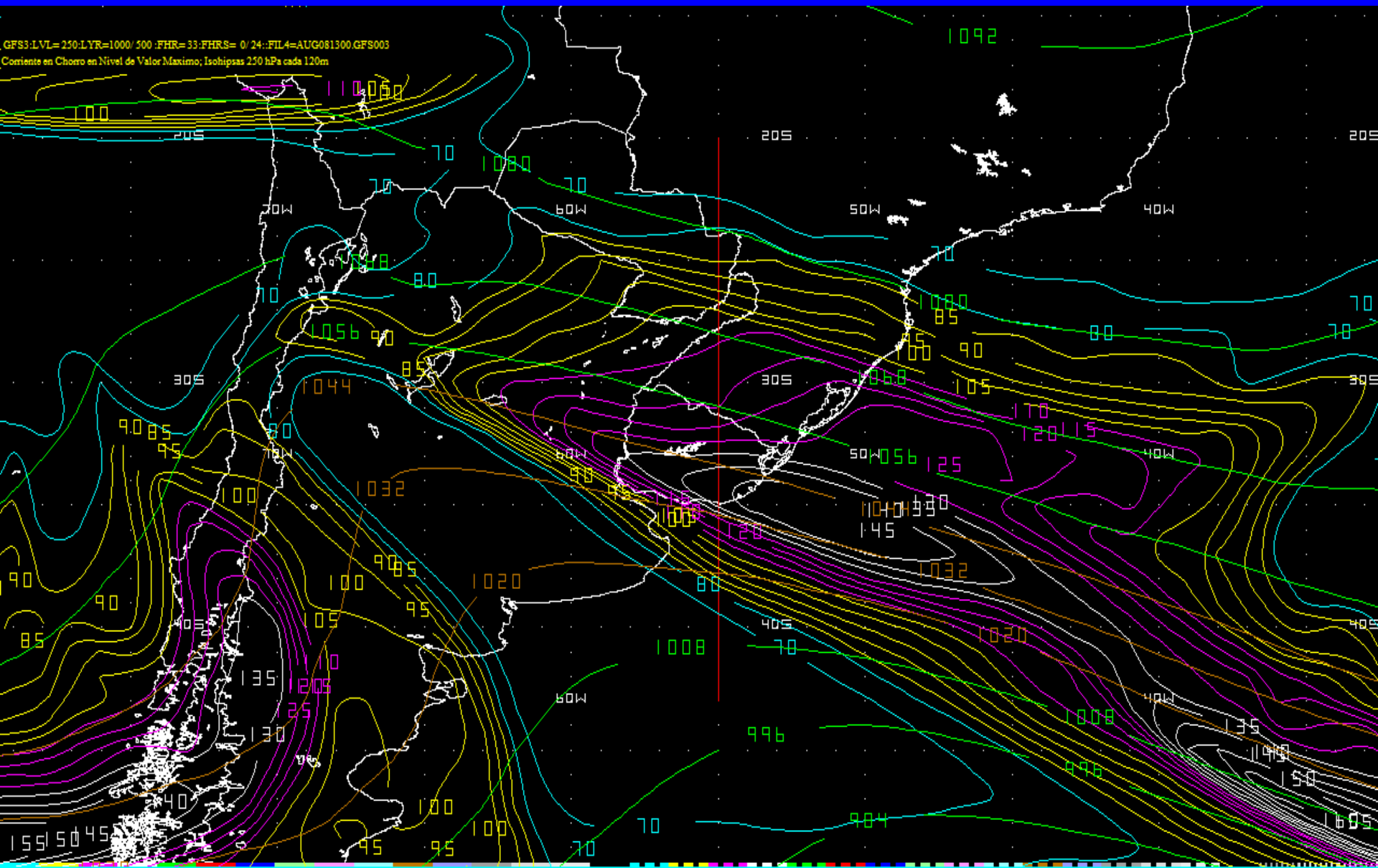
- PCGRIDDS32/Wingridds

- 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

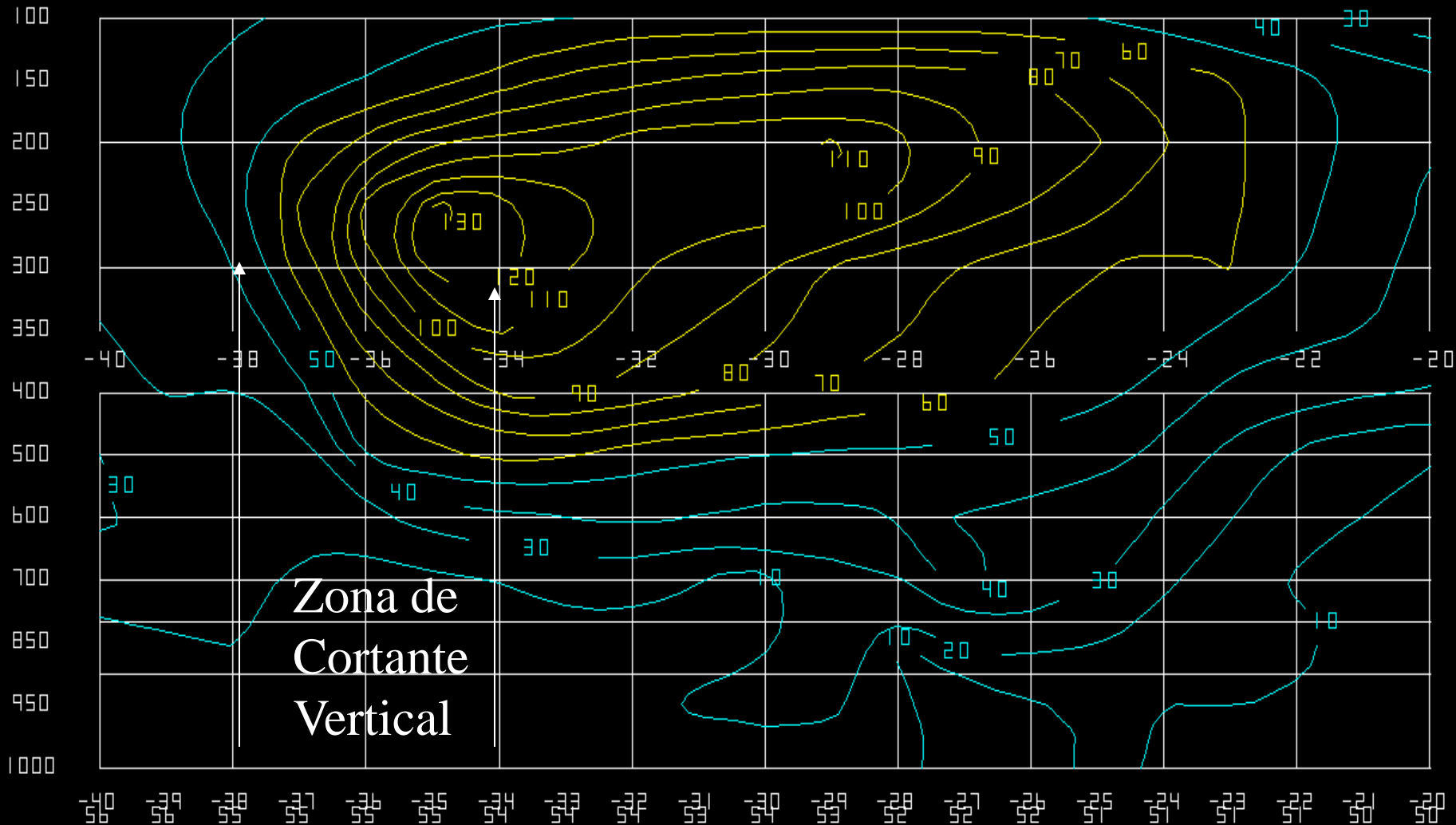
SDVD SDIF WSPK 400 WSPK 500 SDIF HGHT 400 HGHT 500

Corriente en Chorro

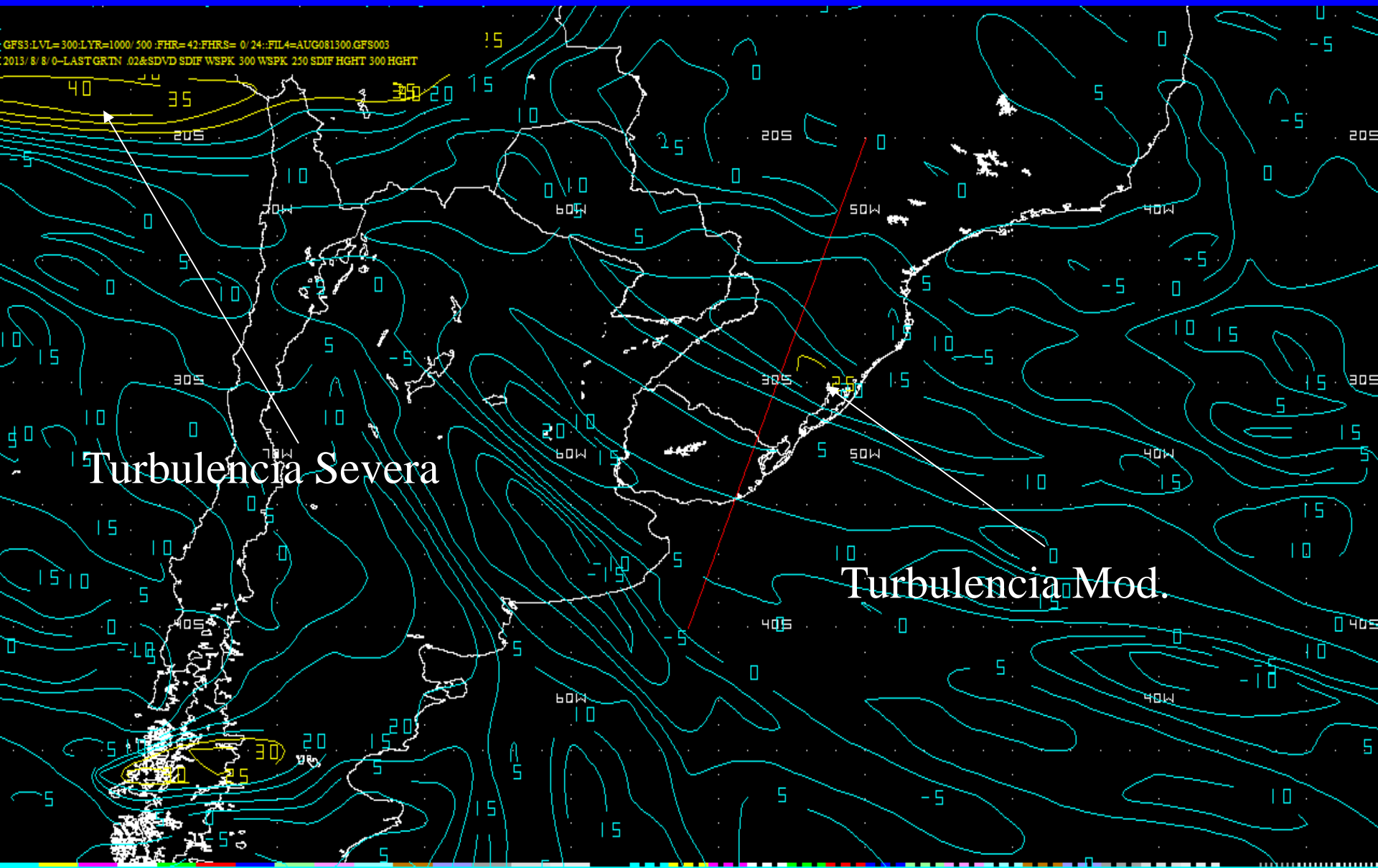


Cortante en la Vertical

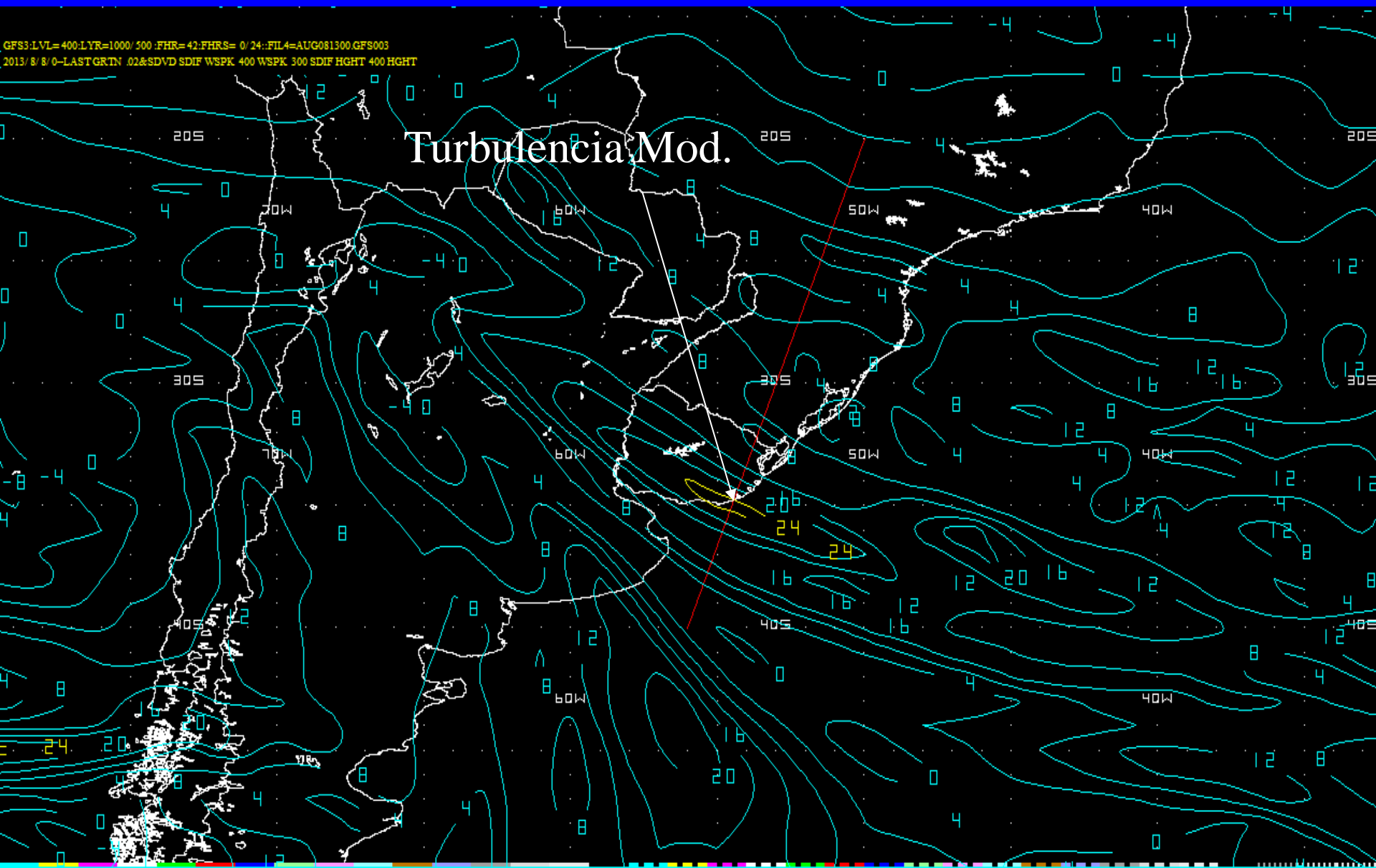
GFS3:Lat/Lon 40S/56W=>20S/50W:FHR=42:FHRS=0/24::FIL4=AUG081300.GFS003
2013/8/8/0-WSPK CI10 GT60&WSPK CI10&ANIM



Cortante Vertical: 300-250 hPa



Cortante Vertical: 400-300 hPa



¿Preguntas?

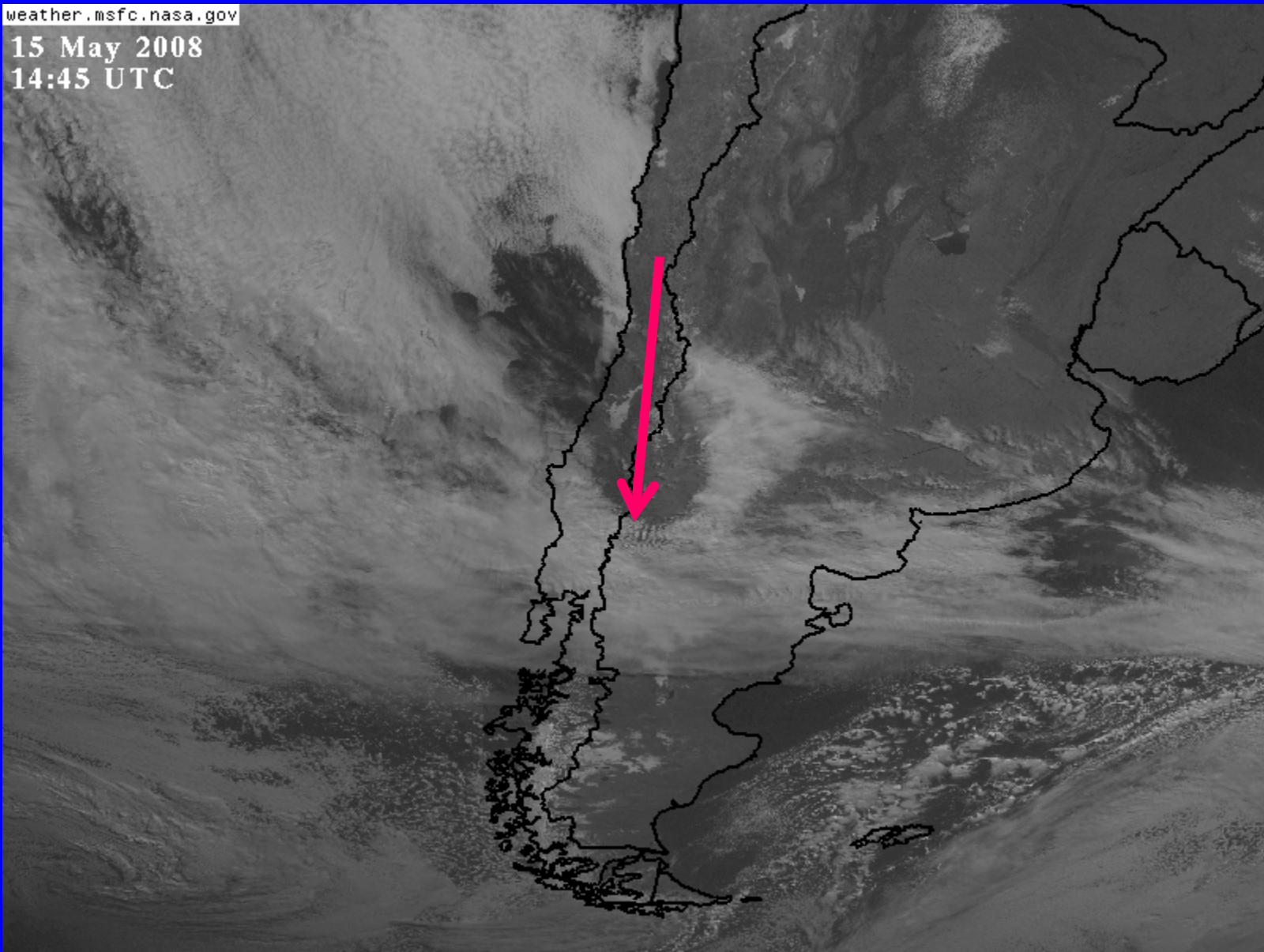
Prueba

- ¿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 significativa?

¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

weather.msfc.nasa.gov

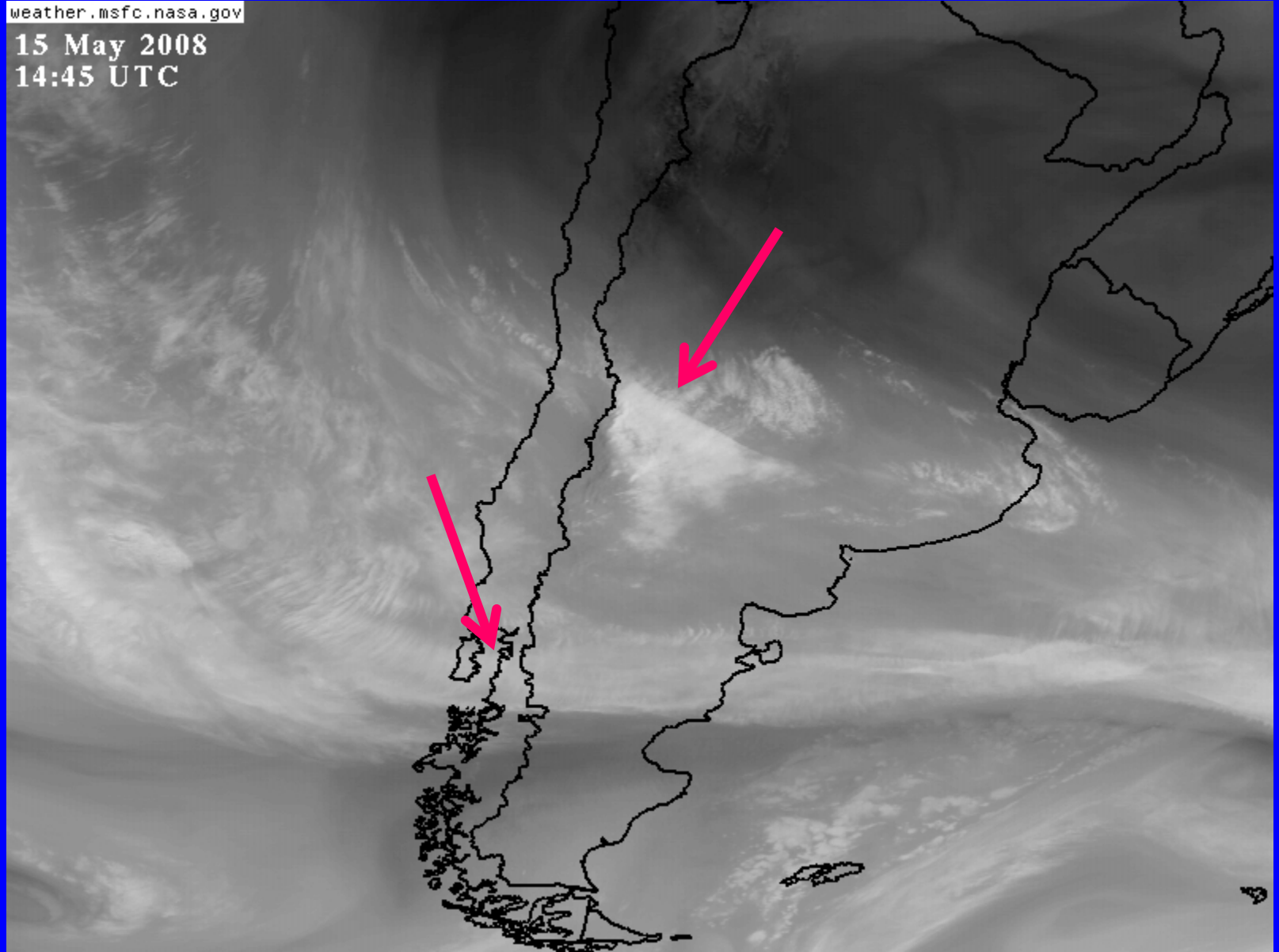
15 May 2008
14:45 UTC



¿En esta imagen, ven áreas de posible turbulencia?

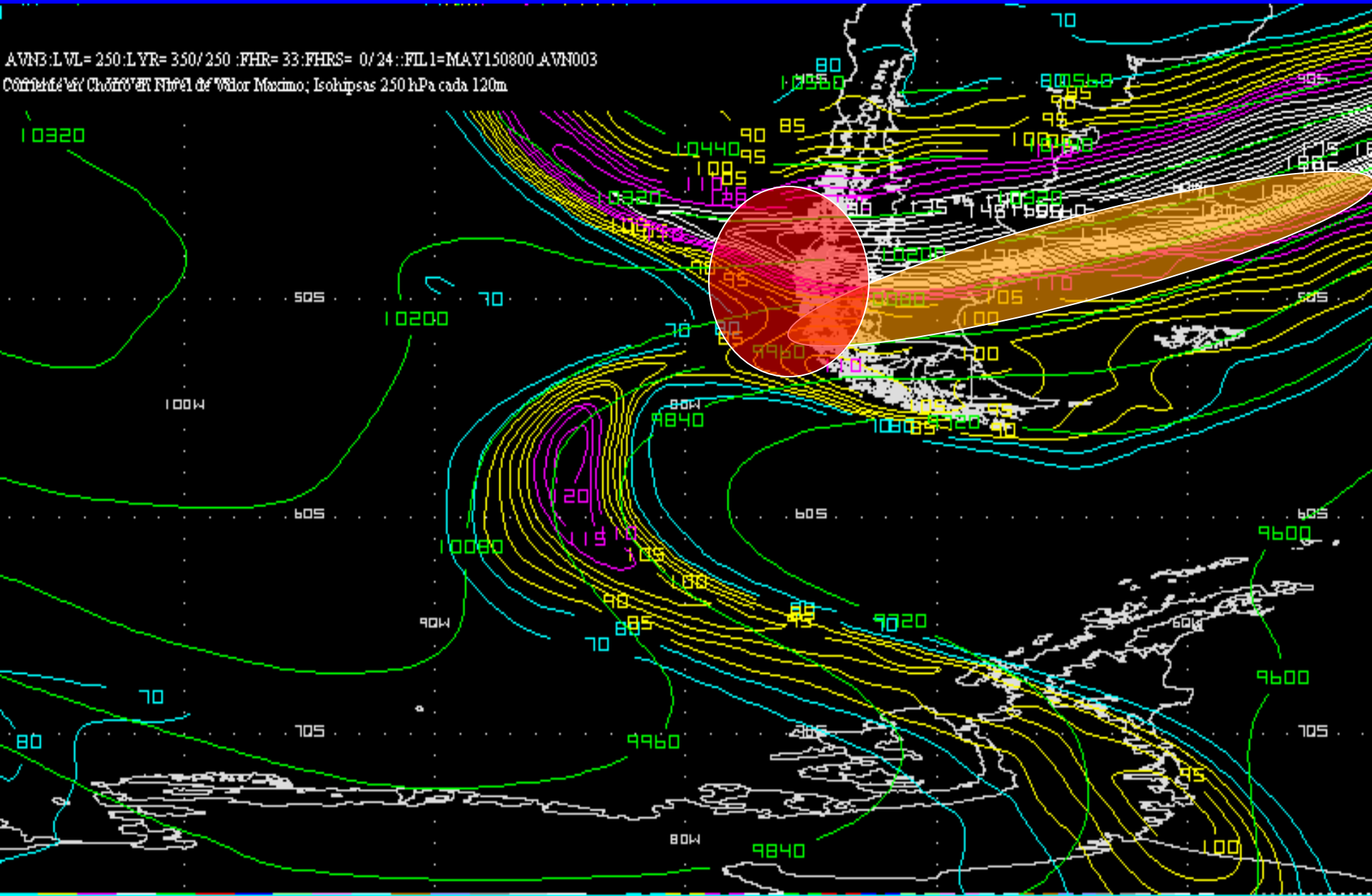
weather.msfc.nasa.gov

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 Vórtice Máximo; Isobars 250 hPa cada 120m

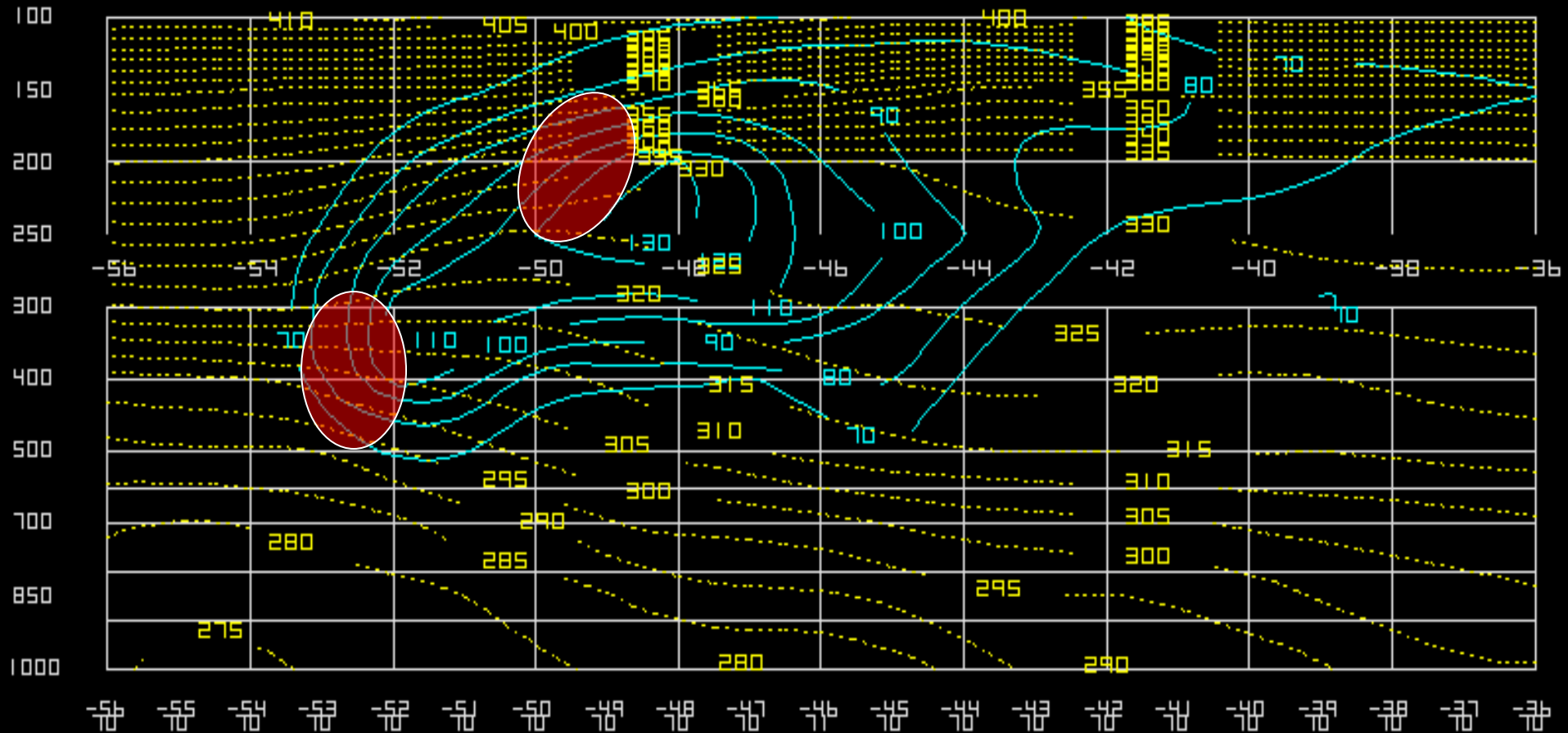


Prueba

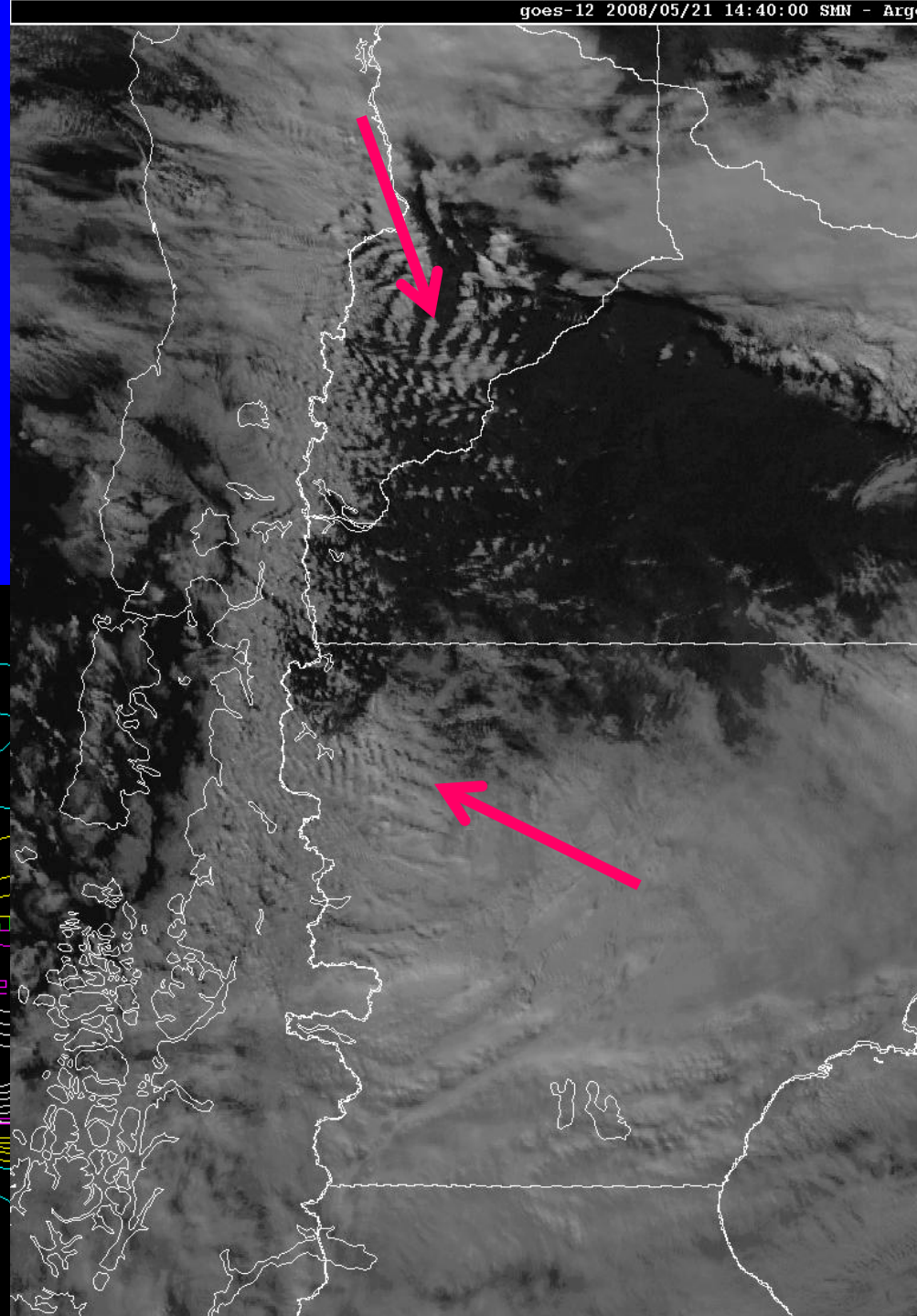
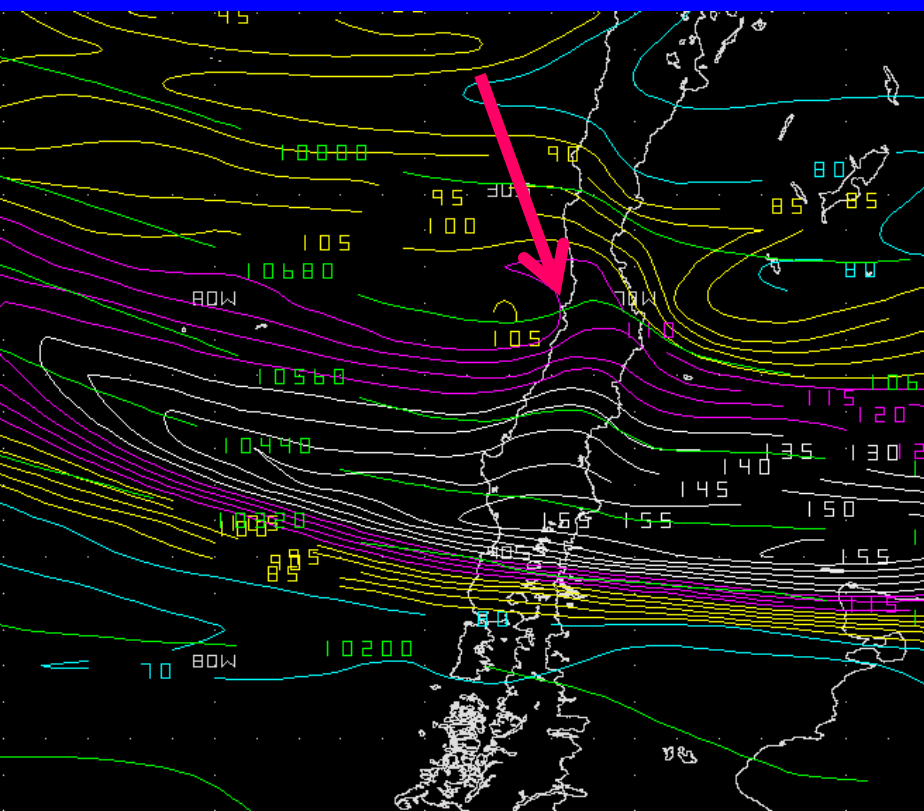
- ¿De qué lado del jet es más probable que se presente turbulencia, del lado frío o del lado cálido?
¿Por qué?
- ¿Por qué es necesario para los pilotos saber si hay riesgo de LLWS?
- ¿Qué función cumple la turbulencia en la atmosfera?

¿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

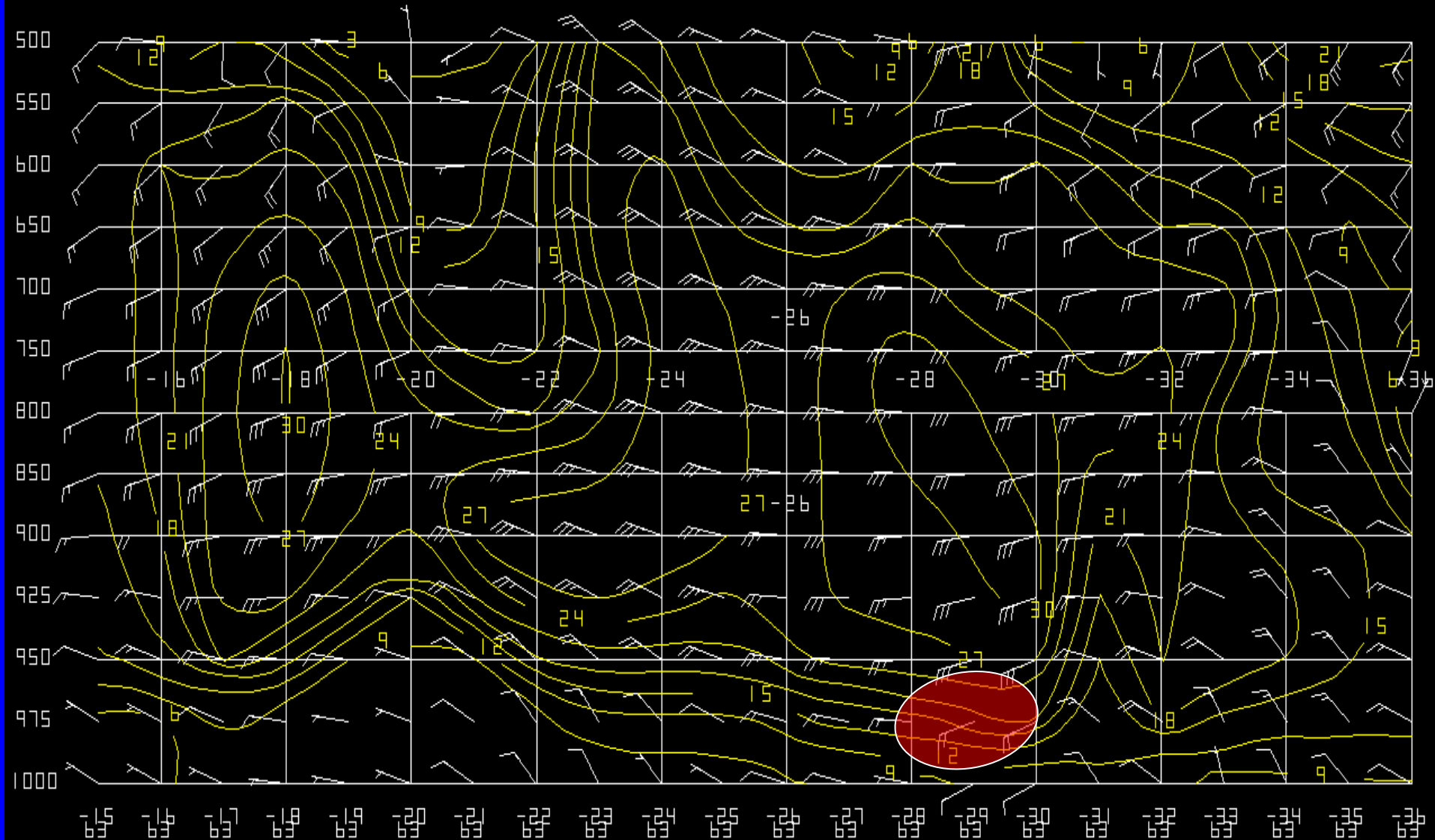


¿En estas
imágenes, ven
áreas de posible
turbulencia?



Identifique Áreas de LLWS

GFS3:Lat/Lon 11S/ 63W=> 36S/ 63W:FHR= 78:FHRS= 0/ 24::FIL1=FEB071400.GFS003
2014/ 2/ 7/ 0-XREL BKNT CLR4&WSPK LSTN 36 CIN3&WSPK CIN6&ANIM

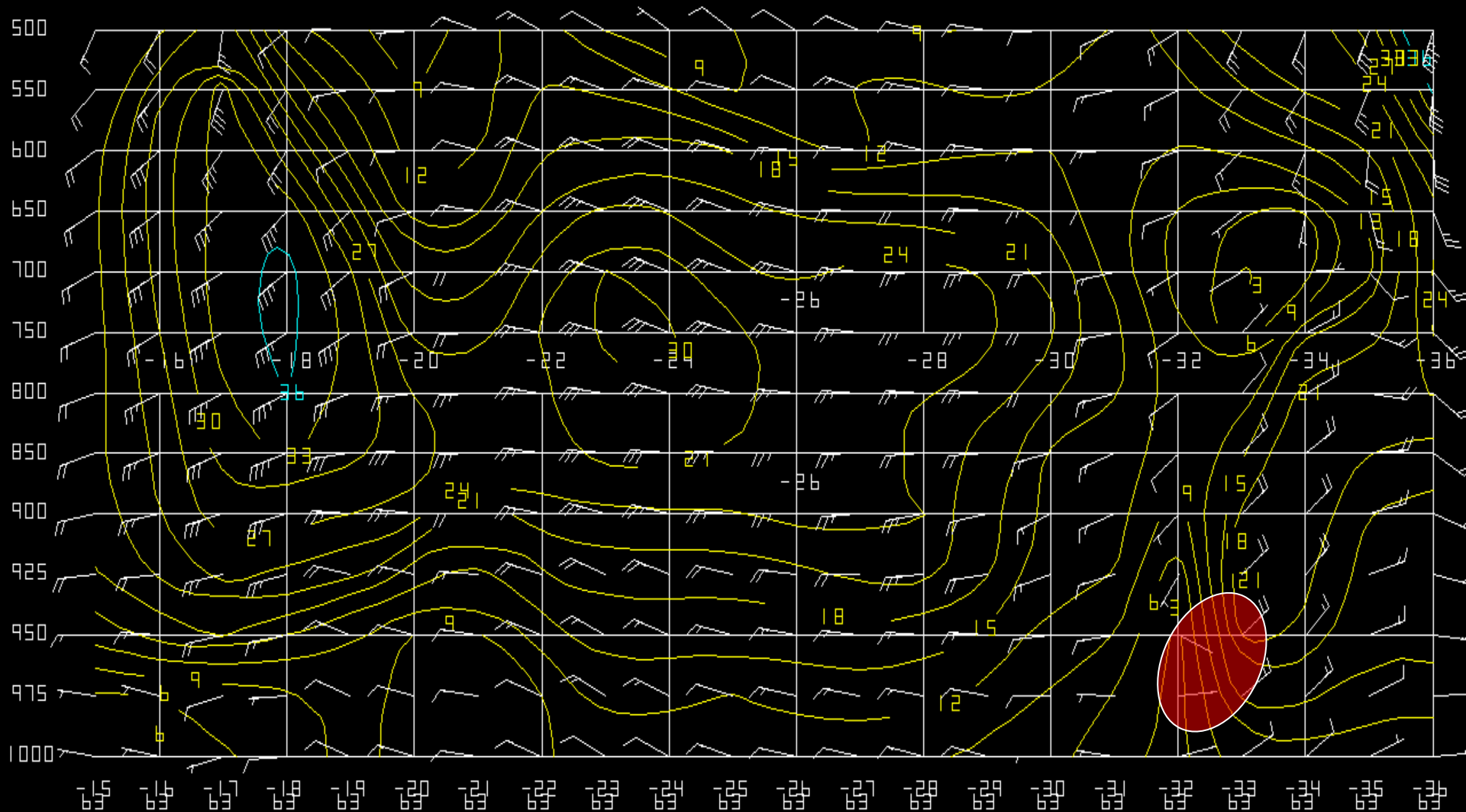


Prueba

- ¿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

