

Observaciones de las Inestabilidades KH en la Troposfera, usando un Radar de Alta Resolución

Fernando Villanueva¹, Ronald F. Woodman¹ y Otto Castillo¹
¹Radio Observatorio de Jicamarca, Apartado 13-0207, Lima 13, Perú

Introducción

El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ), cuenta con el radar SOUSY de alta resolución, el cual fue donado al Instituto Geofísico del Perú, por el Instituto Max Plank, de Alemania a mediados del 2001.

La antena del radar, está constituida por un arreglo cuadrado de 65 m de lado, conformada por 256 antenas Yagi, ubicada cerca del cuarto Sur de la antena principal de Jicamarca (figura 1). Su ubicación permitirá realizar experimentos, que requieran, por ejemplo, una línea de base larga Norte-Sur, y que es usada particularmente para estudios de sensibilidad de aspecto de irregularidades en la ionosfera (figura 2).

Los resultados que se presentan en el presente poster corresponden a observaciones de la troposfera, y han sido obtenidos con la antena en posición vertical, utilizando en el transmisor la etapa previa driver, esto equivale a una potencia de 20 Kw, con codificación del pulso del transmisor de 64 baudios, y ancho de código de 250 ns (resolución de 18.75m). La figura 3 nos muestra la respuesta del sistema, transmisor-receptor.



Figura 1: Vista de las antenas que se tienen en el ROJ, la mayor es la antena principal del Observatorio y la que le sigue en tamaño es la del sistema SOUSY.



Figura 2: Detalle de la forma como están colocados los dipolos de la antena SOUSY, opción de apunte a 15° de la vertical, a ser usada próximamente para el estudio de la ionosfera.

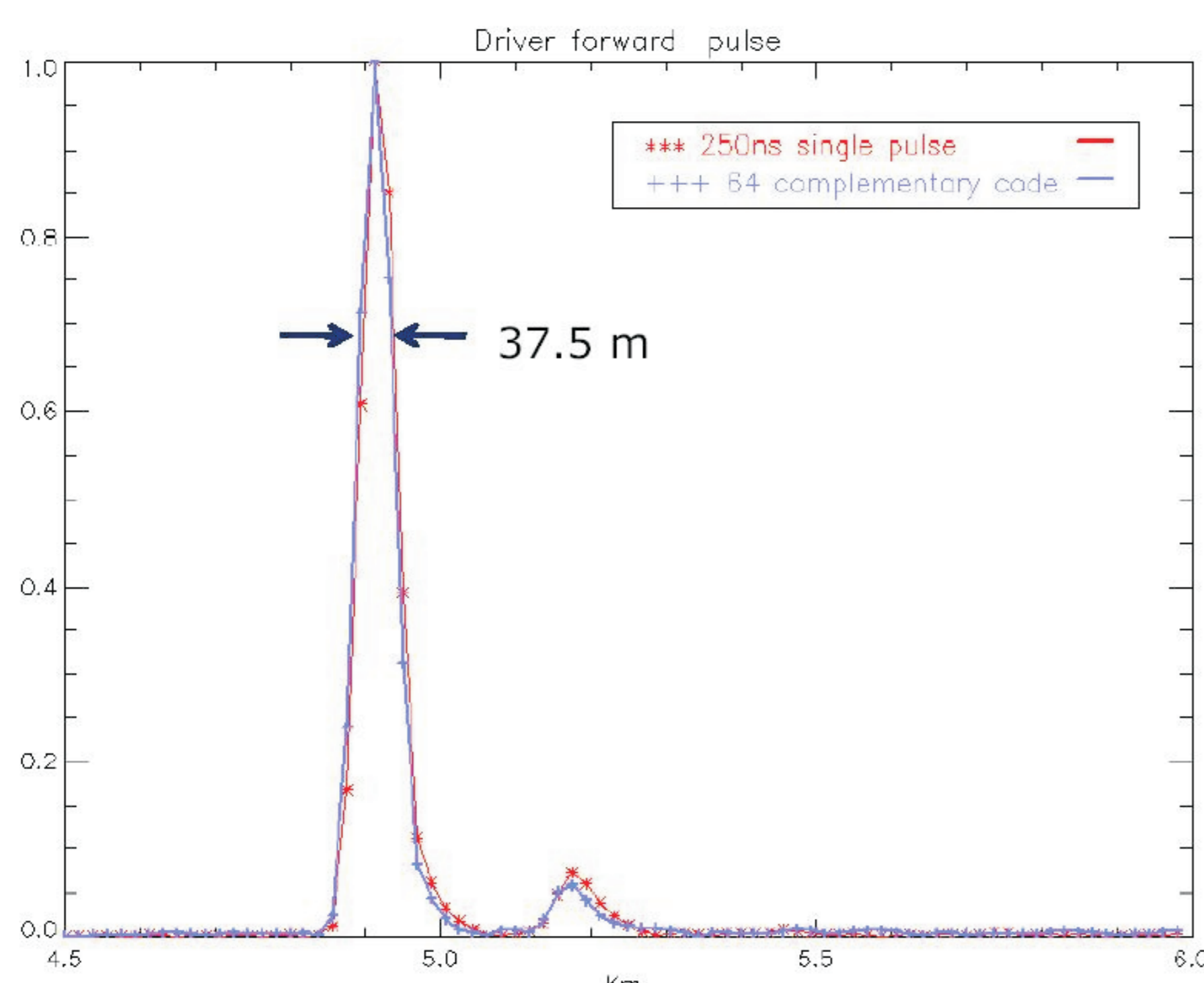


Figura 3: Señal compleja entregada por el receptor digital del radar SOUSY, resultado de haber emitido un pulso codificado con una extensión de 64 baudios, por el driver del transmisor.

Datos

Una de las ventajas que ofrece un radar de alta resolución es poder realizar estudios de vientos troposféricos y mesosféricos. La figura 4 muestra ecos del radar del día 4 de diciembre 2006, desde los 4.5 Km hasta los 22 Km, con una resolución de 18.75 m.

La figura 5 muestra porciones amplificadas de la figura 4, lo que fue realizado para analizar con detalle información de los ecos, como son potencia, velocidad vertical y ancho espectral. Notar la similitud de lo observado con lo predicho (Figura 8) por un modelo numérico corrido recientemente por David C. Frits y colegas (Colorado Research Associates, USA), en una supercomputadora

Además en la figura 6, vemos ecos de torbellinos, ubicados entre 9 y 10 Km.

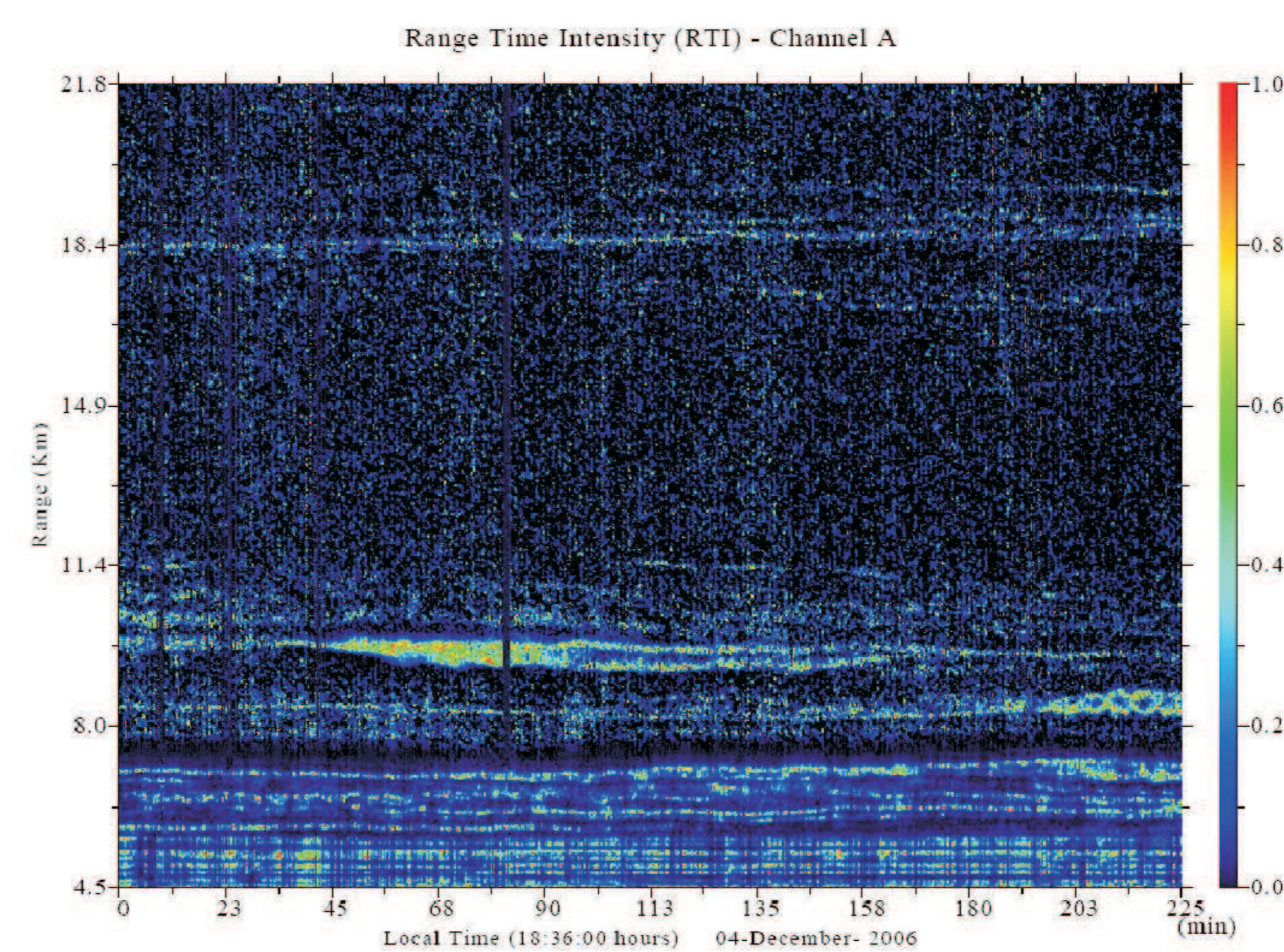


Figura 4: Datos del 4 de Diciembre del 2004, donde podemos observar en la parte inferior derecha, la formación de turbulencias, como resultado de la inestabilidad de KH.

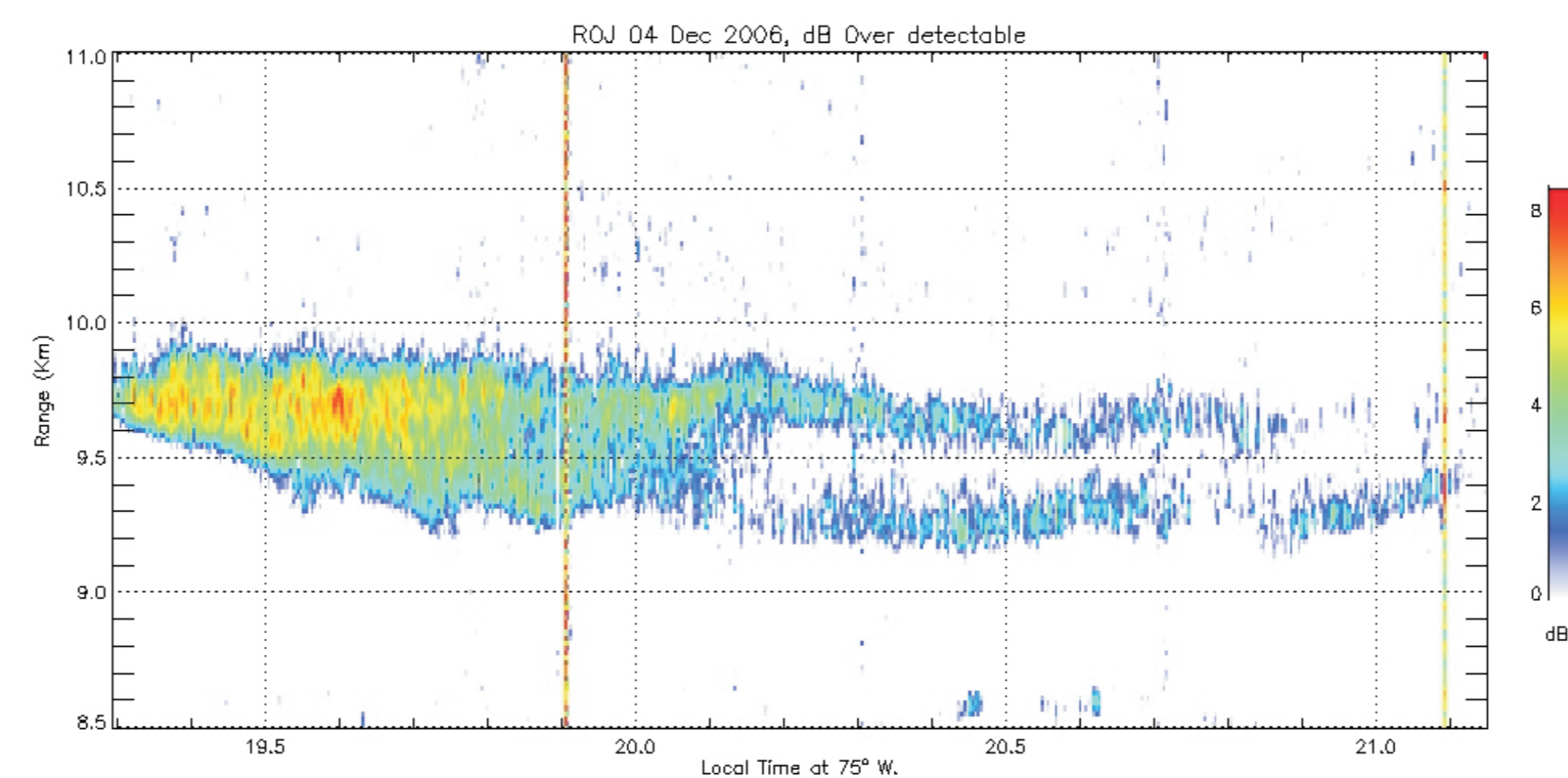
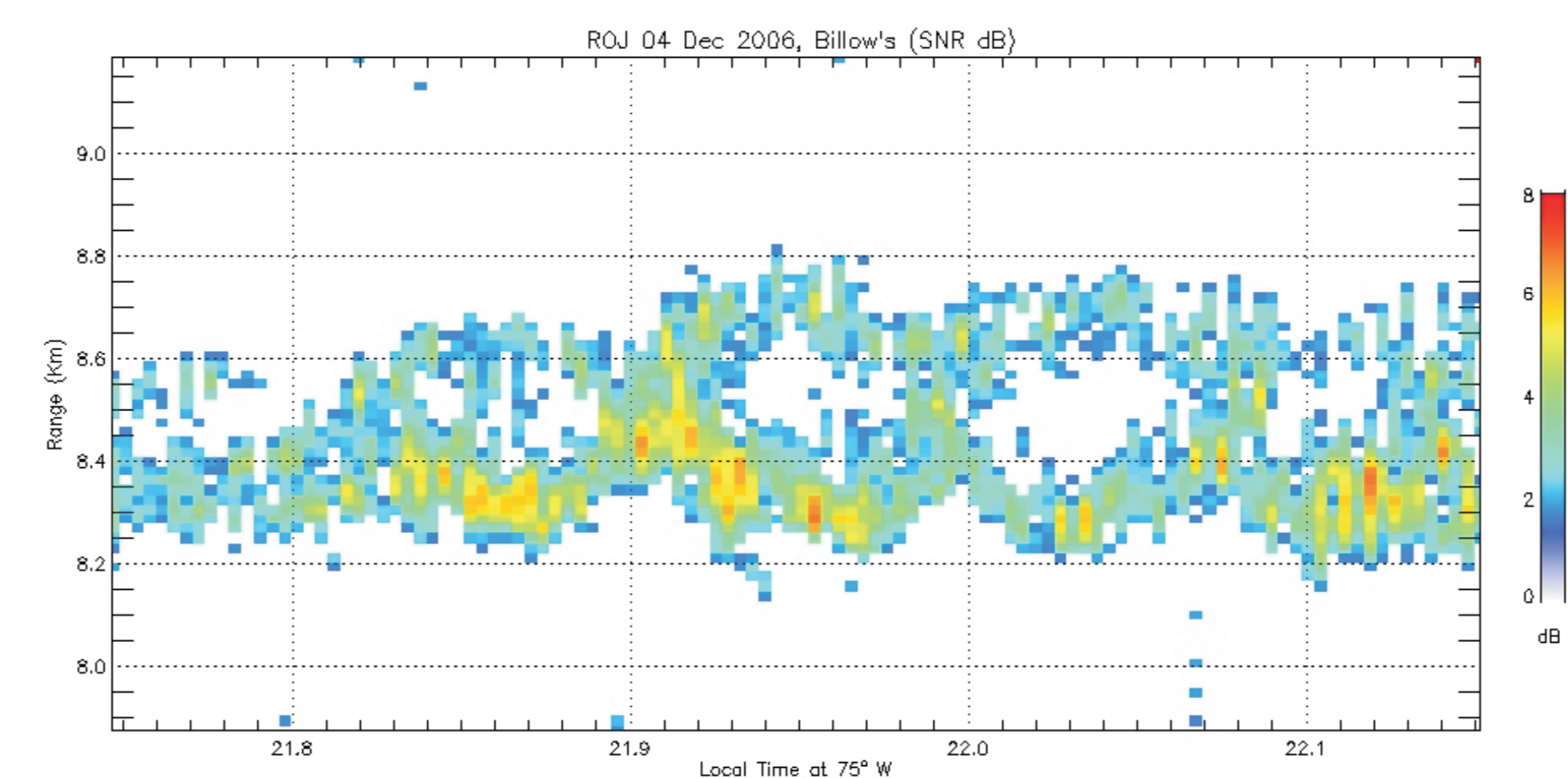


Figura 5: Dos ampliaciones obtenidas de los datos de la figura 4.

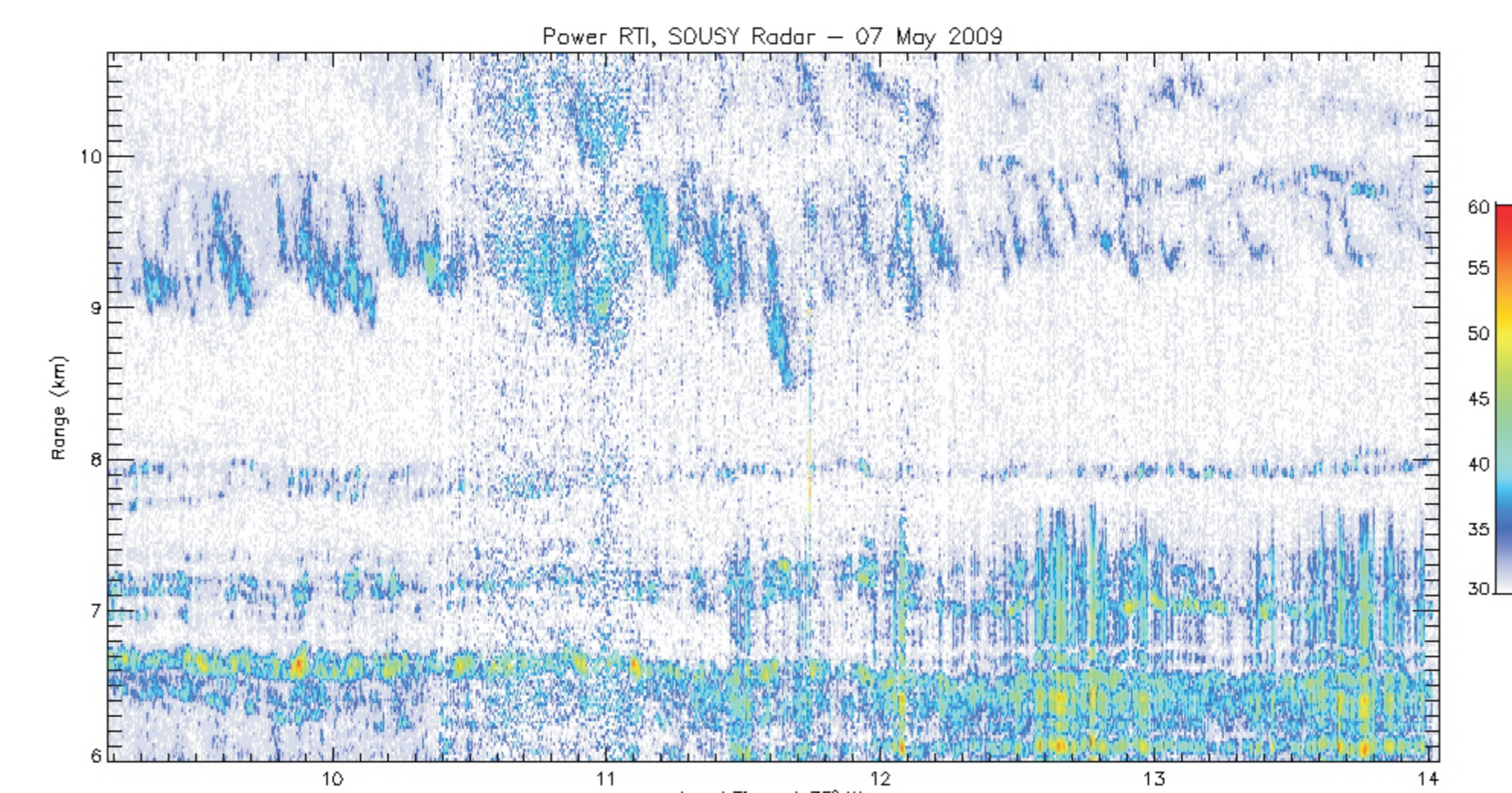


Figura 6: Turbulencia detectada por el sistema SOUSY, el día 7 de Mayo del 2009 entre 9 y 10 Km sobre el ROJ.

Teoría

La figura 7, presenta las condiciones para la generación de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz (KH). Allí se observan dos capas adyacentes de la troposfera, la inferior presenta ondas inestables y la turbulencia subsecuente, la superior una estructura más suave y estable. Finalmente, a consecuencia de ello en la frontera entre capas se produce una cizalladura vertical del viento, que completa las condiciones de la inestabilidad.

Respecto a este tema, no hay una teoría analítica del fenómeno, lo mas cercano a una teoría son las simulaciones numéricas como las mostradas en la figura 8 y las expectativas fenomenológicas como el bosquejo mostrada en la figura 9.

904 JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES VOLUME 27

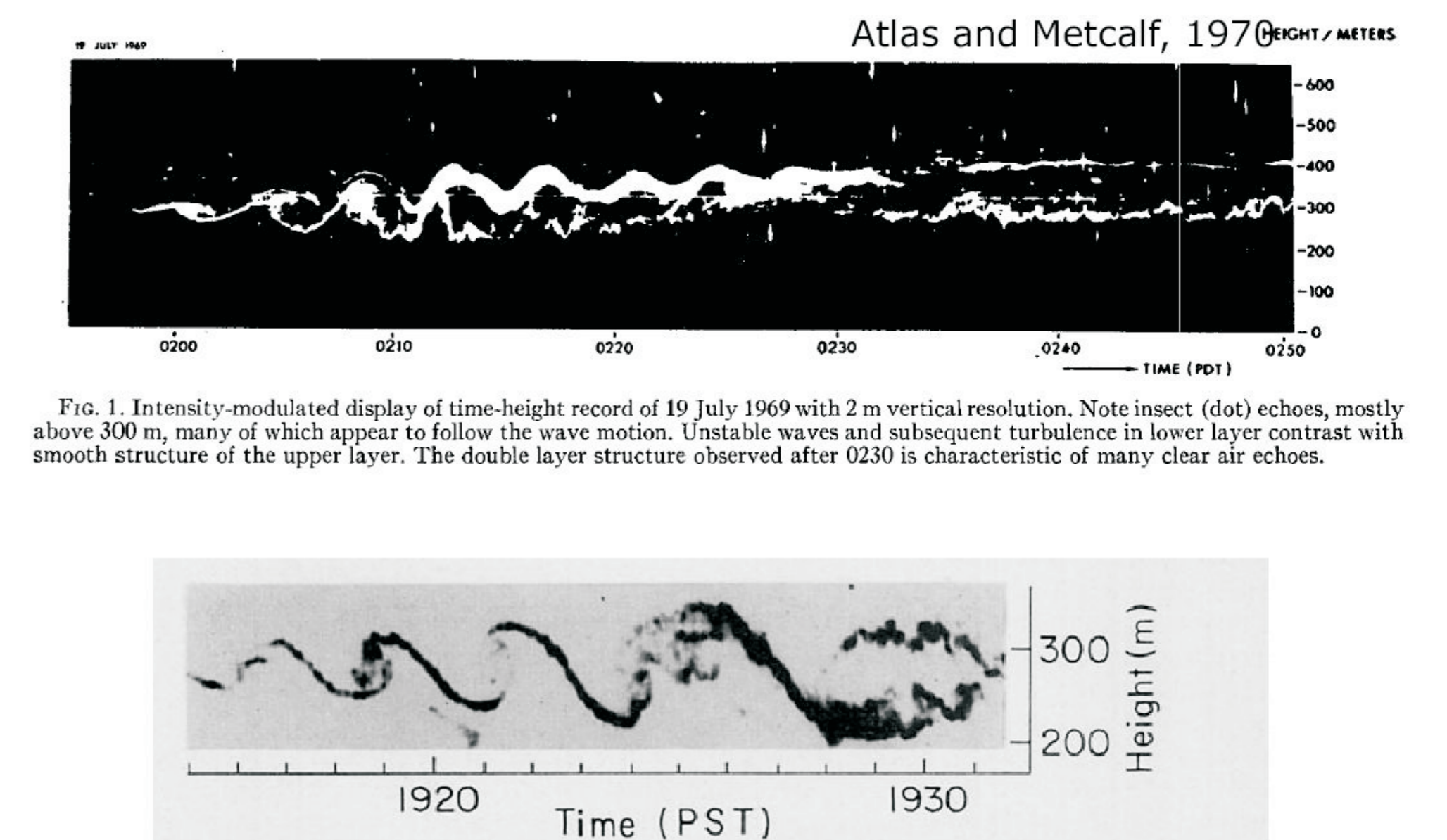


Fig. 1. Intensity-modulated display of time-height record of 19 July 1969 with 2 m vertical resolution. Note inset (dot) echoes, mostly above 300 m, many of which appear to follow the wave motion. Unstable waves and subsequent turbulence in lower layer contrast with smooth structure of the upper layer. The double layer structure observed after 0230 is characteristic of many clear air echoes.

Metcalf, 1975
 Figura 7: Muestra la generación de la inestabilidad KH.

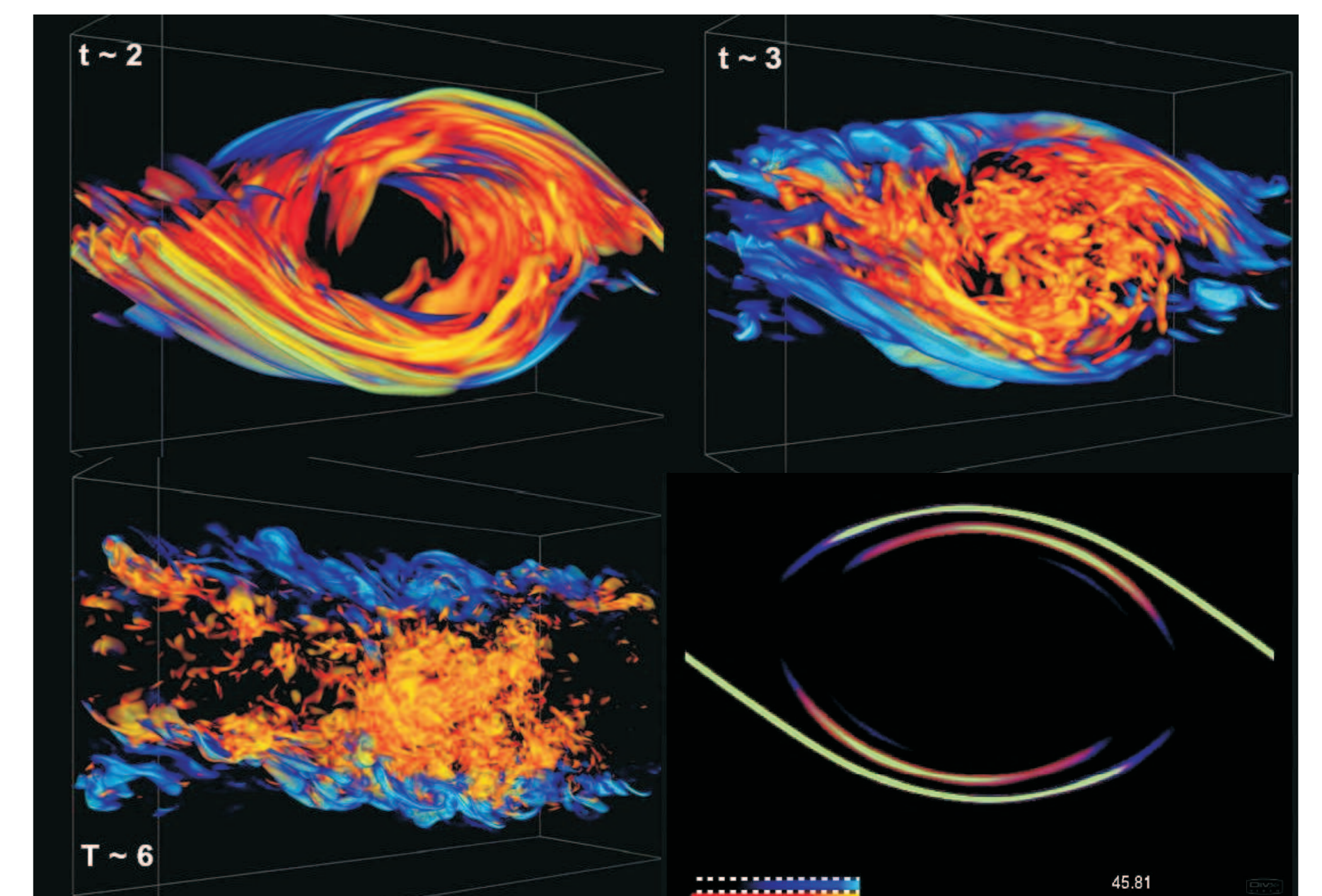


Figura 8: Gráficos de simulación numérica realizada por el Dr. Frits y su grupo, utilizando una super computadora. En los gráficos, T~2, T~3 y T~6, azul corresponde a disipación térmica χ , y Rojo corresponde a disipación viscosa ϵ .

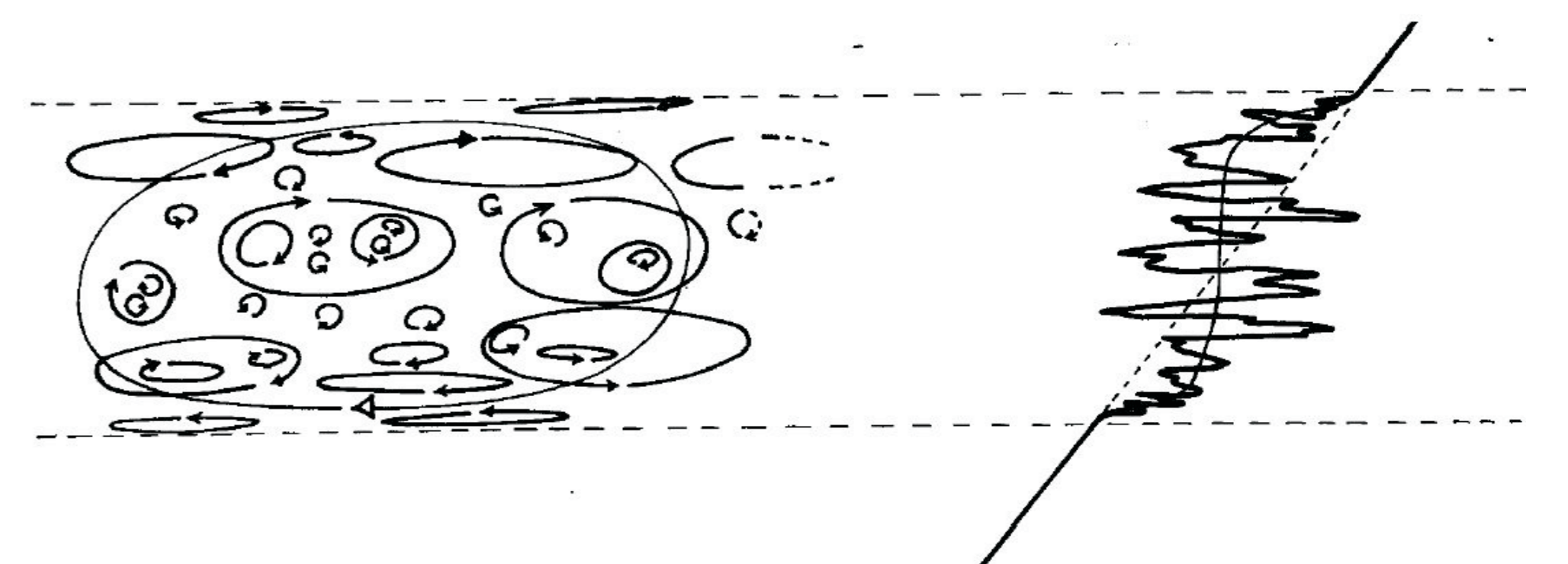


Fig. 4. Schematic diagram of an anisotropic turbulent model proposed in the text. The left figure shows schematically the "shape" of the eddies throughout the volume. Note that the eddies at the edges have been purposely elongated in the horizontal dimension. The horizontal dimensions at the edges are driven by the larger central eddies, while the small vertical dimensions are confined by the steep stable gradients in potential temperature. The right-hand diagram in the figure shows the mean and disturbed profile of potential temperature.

Woodman and Chu, 1989
 Figura 9: Bosquejo para explicar la formación de torbellinos en la troposfera.

Conclusiones

- Se ha comprobado que el radar SOUSY tiene suficiente resolución para la observación de la estructura interna y la dinámica de capas de la troposfera y estratosfera, al igual que la manifestación de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz.
- Su alta resolución permite establecer comparaciones entre los modelos numéricos y el comportamiento que se observa en la realidad.
- Las observaciones de alta resolución son importantes para evaluar las capacidades y limitaciones encontradas con el uso de radares de baja resolución, para medir las velocidades troposféricas.