

MEDICIONES DE EFECTOS NO ONDULATORIOS EN LA COLA DEL ESPECTRO DE IRREGULARIDADES DEL VIENTO

M. Pulido* y G. Caranti

Facultad de Matemática Astronomía y Física (FaMAF)- Universidad Nacional De Córdoba - CONICET
Ciudad Universitaria - (5000) - Córdoba - Argentina
e-mail: pulido@roble.fis.uncor.edu

En trabajos previos se ha propuesto que la parte del espectro de irregularidades del viento correspondiente a los grandes números de onda está contaminada por efectos no ondulatorios. En este trabajo se proponen técnicas de cuantificación de estos efectos en perfiles observados mostrando que una importante parte de la energía de la cola espectral es generada por irregularidades no periódicas. Esta interpretación de la cola espectral se contrapone a la dada por las teorías de saturación las cuales suponen una amplitud de onda constante, para todos los números de ondas de la cola. Teniendo una más alta correspondencia con un campo de ondas dado por un tren de ondas de gravedad con corte (gravity shear waves) que terminan con un decaimiento oscilatorio.

Early works have shown that the larger vertical wavenumber of the wind irregularities spectrum is contaminated by non wavelike effects. This work proposes techniques to quantify these effects in actual profiles. We show that an important part of energy of the spectrum tail is generated by non periodic irregularities. This interpretation is not represented by saturation theories because these use constant wave amplitude, in the whole range of wavenumbers identified with the tail. A wave field produced by a gravity shear waves train terminating with an oscillating decay is closer to the observed effects.

I. INTRODUCCIÓN

El espectro de potencias del número de onda vertical, de las perturbaciones del viento, muestra comportamientos similares, independientemente de la posición geográfica, estación del año, y altura donde se realicen las mediciones.

Cuando se analizan números de onda mayores a un número de onda característico, se obtienen pendientes del orden de -3. Este efecto en la literatura es mencionado como espectro "universal" (primero observado por VanZandt en 1982⁽¹⁾).

Actualmente existen numerosas teorías que tratan de explicar este comportamiento que suelen ser agrupadas en tres categorías, modelos de saturación (Dewan y Good, 1986⁽²⁾), desparramamiento Doppler (Hines, 1991⁽³⁾) y difusivas (Weinstock, 1990⁽⁴⁾). A pesar de que éstas predicen los espectros observados, el campo de ondas que estas teorías utilizan como hipótesis no ha sido corroborado con perfiles reales.

Recientemente, Pulido y Caranti (1998)⁽⁵⁾ han demostrado que la energía contenida en los grandes números de onda no necesariamente proviene de un campo de ondas de amplitud y longitud de onda constante, sino que puede provenir de irregularidades no periódicas.

Por otro lado, Chimonas (1997)⁽⁶⁾, obtuvo los mismos comportamientos (pendientes y cambios con la altura) observados en los espectros, con un tren de ondas de gravedad que termina abruptamente. Como fue demostrado en Pulido y Caranti (1998)⁽⁵⁾ la energía contenida en los altos números de onda de este modelo se

debe a la terminación abrupta de las ondas, en la condición de Hodges, estas discontinuidades, generan un efecto de "pérdida interno" que dan cuenta del espectro obtenido.

El objetivo de este trabajo es cuantificar la energía de contaminación en los altos números de onda (usamos el término de contaminación para subrayar que esta energía no proviene de ondas en el perfil).

II. EFECTO DE PÉRDIDA INTERNO

Cuando se realiza la transformada de Fourier de un perfil de perturbaciones, las discontinuidades en los extremos del intervalo de muestreo producen un efecto de pérdida de pequeños a grandes números de onda, que "contamina" el espectro de potencias con amplitudes que varían con el número de onda, con una pendiente espectral de -2. Este efecto se reduce mediante la aplicación de ventanas al perfil original (Press et al., 1989)⁽⁷⁾.

Pulido y Caranti (1998)⁽⁵⁾, demostraron que la cola de un tren de ondas de gravedad con corte ("gravity shear waves") que terminan abruptamente en la condición de Hodges, es generada por pérdida interna en los lugares donde se encuentran las discontinuidades. Este efecto se encuentra en el interior del intervalo de muestreo en perfiles verticales observados. Éstos tienen irregularidades no periódicas que pueden ser interpretadas como discontinuidades.

Si el perfil vertical de una componente de la velocidad horizontal, $u(z)$, se conoce en el intervalo $[0, L]$, los coeficientes de Fourier del modo n -ésimo están definidos como

* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

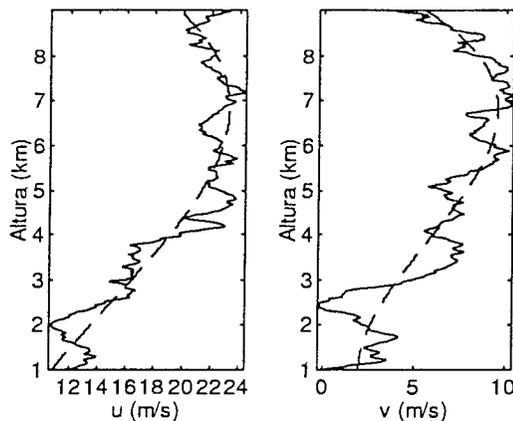


Fig. 1. Perfiles de viento (línea continua) y viento medio dado por ajuste cúbico (línea a trazos). Izq. Corresponde a u y der. A v.

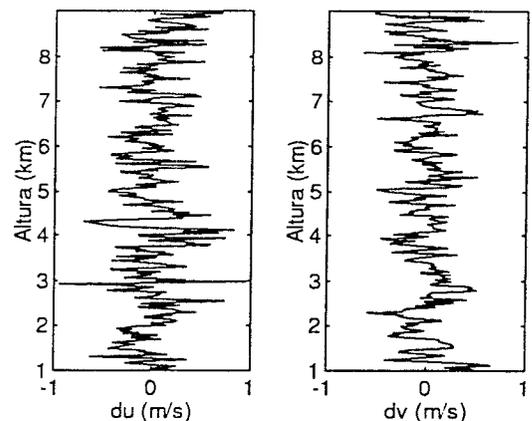


Fig. 2. Diferencias sucesivas para las perturbaciones mostradas en fig. 1. Izq. u, der. v.

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{L}} \int_0^L u(z) \exp(-i2\pi n \frac{z}{L}) dz \quad (2.1)$$

Suponiendo que $u(z)$ tiene discontinuidades de cualquier orden en las alturas z_j con $j=0, \dots, N$; e integrando por partes en los intervalitos $[z_j, z_{j+1}]$ donde la función es analítica, se obtiene el siguiente desarrollo en potencias inversas del número de onda,

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{s=0}^{\infty} \frac{u^{(s)}(z)}{(ik)^{s+1}} \exp(-ikz) \Big|_{z_j^-}^{z_{j+1}^+} \quad (2.2)$$

donde k es el número de onda vertical, $k = 2\pi \frac{n}{L}$, y $u^{(s)}(z_j^-)$ y $u^{(s)}(z_{j+1}^+)$ son los límites de la derivada s -ésima de la función por la izquierda y derecha de la discontinuidad, respectivamente. La expresión (2.2) vale para los números de onda mayores al de corte (impuesto por la condición de Hodges) (Pulido y Caranti, 1998⁽⁵⁾). El término s -ésimo de (2.2) se puede expresar en función de sus discontinuidades por,

$$C_n^s = \frac{1}{\sqrt{L}(ik)^{s+1}} \sum_{j=1}^{N-1} \Delta_j^s u \exp(ikz_j) \quad (2.3)$$

Note que discontinuidades en la función generan amplitudes espectrales con pendientes de -2, mientras discontinuidades en la derivada tendrán pendientes espectrales de -4. En este análisis deben ser incluidos los extremos, con el extremo inferior unido al superior.

III. RESULTADOS

Para el análisis de las observaciones se utilizaron datos de mediciones realizadas en Cabo Kennedy, Estados Unidos, mediante la técnica de JIMSPHERE (balones seguidos por radar). El tratamiento numérico realizado a los datos consiste en, si un dato tiene diferencias de velocidad con sus puntos vecinos que superen 1.5 m/s, se reemplaza por una interpolación lineal. Dado que las mediciones fueron realizadas a intervalos de tiempo constante, 5 s, siendo la velocidad media del balón 5 m/s; se realizó un equiespaciado en altura con una rutina de spline cúbico, con intervalo entre puntos de 25 m, mas detalles sobre el procesamiento son encontrados en Pulido et al. 1997⁽⁹⁾ y referencias que se encuentran en él.

En la Fig. 1 se muestra un perfil de perturbaciones observado en el rango de alturas de 1 a 9 km; se trabajó solo con alturas troposféricas donde la frecuencia de Brunt Vaisala es aproximadamente constante. Mayores alturas no pudieron ser analizadas ya que es conocido que las características del campo de ondas y por lo tanto del espectro cambian en la tropopausa debido a los cambios en la frecuencia de Brunt Vaisala (Allen y Vincent, 1995⁽¹⁰⁾).

Si se calculan las diferencias entre puntos sucesivos para el perfil de la velocidad, se observa que hay predominio de saltos no periódicos (ver Fig. 2), éstos afectarán a la parte del espectro de grandes números de onda.

	Perfil (1)	Perfil (2)	Media (1)	Media (2)	Media (3)	Media (4)	Venta (1)	Venta (2)
Pendiente	-3.20	-2.94	-3.36	-2.74	-2.97	-3.22	-2.55	-2.35
Ordenada	4.02e-3	4.51e-3	3.42e-3	4.21e-3	4.51e-3	3.42e-3	1.04e-1	7.66e-2

Tabla 1: Los ajustes lineales corresponden a: Perfil (1) espectro del perfil de fig. 3, Perfil(2) aproximación de Fig. 3, Media (1) media de 20 espectros de Fig. 5, Media (2) aproximación con 10 puntos de discontinuidad, Media (3) con 30 puntos, Media (4) con 60 puntos, Venta (1) espectro con ventana cuadrada de fig. 6, Venta(2) aproximación 20 puntos ventana cuadrada.

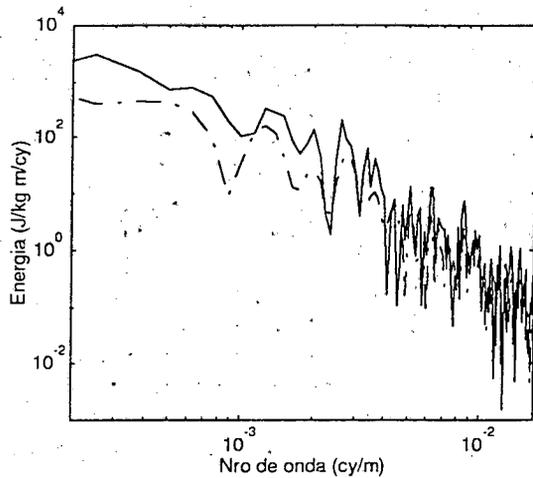


Fig. 3 Espectro de potencias de perturbaciones verticales para el perfil zonal mostrado en fig. 1 (línea continua) Aproximación generada por pérdida interna de primer orden (línea a trazos)

Para ver los efectos producidos por estas irregularidades no periódicas se estableció un umbral de Δu ; saltos mayores a Δu se consideran discontinuidades y por lo tanto generantes de contaminación en los altos números de onda. Para ver el efecto de estas discontinuidades se calcula la función 2.3, teniendo en cuenta solo el primer orden ($s=0$).

Para el perfil de viento zonal de la fig. 1 se tomaron 20 puntos como discontinuos, note de la fig. 2 que los grandes saltos no se corresponden con ondas de alto viento de corte ya que, en general, son puntos aislados. El espectro generado sólo con estas discontinuidades se muestra en la fig. 3, junto con el espectro de potencias (vía transformada de Fourier). Para comparar la energía y pendientes involucradas se ajustó una recta a la cola espectral, los parámetros del ajuste son mostrados en la tabla 1.

La Fig. 4, muestra la media de espectros de potencia de 20 perfiles, y la media de la pérdida interna que las

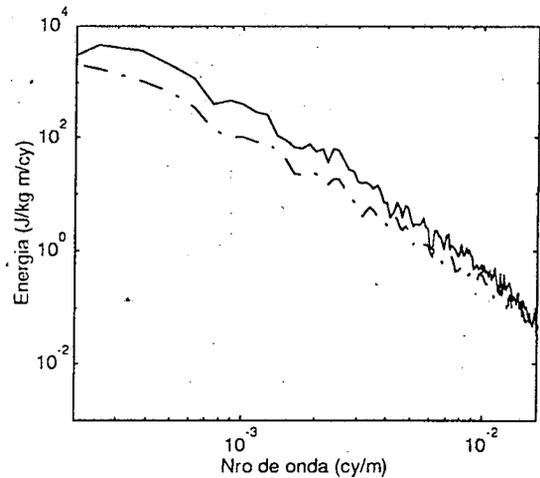


Fig. 4 Media de 20 espectros de potencias de perturbaciones verticales (línea continua) Media de las aproximaciones generadas por pérdida interna de primer orden (línea a trazos)

discontinuidades de estos perfiles generan; los perfiles tienen aplicada la ventana de Bartlett.

En orden a examinar la sensibilidad de los resultados, se cambió el umbral de discontinuidad de manera tal que el número de puntos generadores de pérdida interna sean 10, 30 y 60. Estos espectros se muestran en la fig. 5. En la tabla 1 se dan los resultados del ajuste lineal.

La energía de la cola espectral depende de la ventana aplicada al intervalo de muestreo. En efecto cuando se calcula el espectro de potencias dado por el perfil original, los efectos de la discontinuidad en los extremos dominan la forma espectral en la cola, mostrando pendientes y desfases relacionados con la discontinuidad. Se comparan tres ventanas: la ventana cuadrada (datos originales), de Welch (función cuadrática) y de Bartlett. Los resultados para la ventana de Welch son bastante similares a la ventana de Bartlett. En la fig. 6 se comparan la ventana de Welch con la ventana cuadrada.

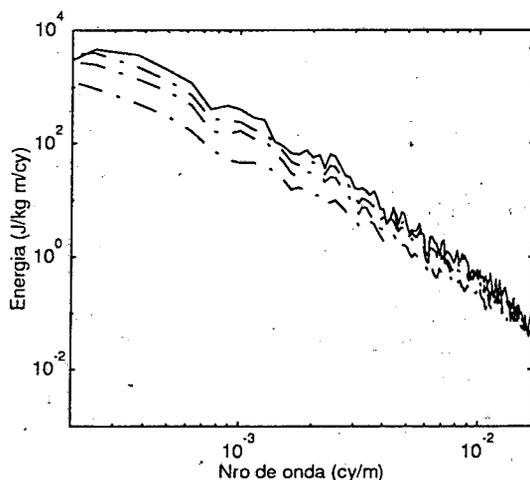


Fig. 5 Comparación de la media de 20 espectros de potencia (continua), con los espectros generados con pérdida interna, teniendo en cuenta 10, 30 y 60 puntos (a trazos).

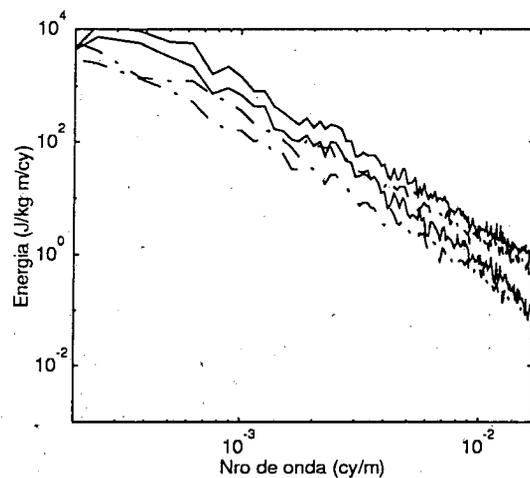


Fig. 6 Comparación de la media de 20 espectros de potencia con ventana cuadrada (continua de mayor E) y de Welch (continua), con los espectros generados con pérdida interna, para las mismas ventanas (a trazos).

Las diferencias sistemáticas en las medias espectrales en la cola (ver Fig. 4) no son observadas en cada perfil donde existen modos para los cuales la pérdida interna se aproxima bastante bien al espectro sin embargo, donde los puntos de discontinuidad tienen interferencia destructiva se manifiestan diferencias (ver Fig. 3). Dado que las alturas de discontinuidad varían en los distintos perfiles, esto da lugar a diferencias sistemáticas en los espectros medios.

Sin embargo se puede notar que las diferencias disminuyen a medida que el número de onda aumenta, como es esperado para la aproximación utilizada (2.2).

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado nueva evidencia de una reciente línea de interpretación del espectro "universal" (Pulido et al., 1997⁽⁹⁾, Chimonas 1997⁽⁸⁾, Pulido y Caranti 1998⁽⁷⁾) en la cual los altos números de onda no son interpretados como ondas de gravedad sino como una consecuencia de las técnicas espectrales.

En la literatura han sido ampliamente aceptadas las teorías de saturación, con la única evidencia de que éstas permiten predecir algunos comportamientos de los espectros observados (e.g. cambios de la amplitud con la altura). Sin embargo no existe ningún tipo de evidencia de que las amplitudes en altos números de onda correspondan a ondas de gravedad. Para aclarar esta cuestión ha sido analizada la forma en que el perfil contribuye a la cola espectral. Los resultados indican que la energía en los altos números de ondas proviene de regiones muy localizadas. De ser asociadas estas irregularidades localizadas dentro de un contexto de saturación, los límites de saturación deberían ser muy superiores a los predichos por Dewan y Good (1986). Estas evidencias se corresponden mejor con una representación de un campo de ondas compuesto por un tren de ondas que decaen en las cercanías de sus puntos críticos. La región de decaimiento es la que produce los altos números de onda en el espectro.

Este análisis de observaciones muestra que para interpretar fenómenos de pequeña escala es necesario mejorar la precisión y resolución con que se obtienen los datos de la media atmósfera. Nótese que las discontinuidades de la Fig. 2 pueden provenir de errores en la medición. Mas aún, el mínimo error que se puede asignar a las mediciones (0.1 m/s) tiene grandes efectos sobre el espectro, entre un 30 a 40% de la pérdida interna es generado por la falta de precisión de los datos.

Los resultados del análisis de Fourier no deben ser interpretados independientemente del análisis en el espacio real. Por otro lado técnicas de análisis como las ondeletas, las cuales permiten una visión más localizada del campo de ondas; y por lo tanto nos permiten estudiar las energías en la región de decaimiento; pueden ser útiles a la hora de profundizar el conocimiento de la pequeña escala en la atmósfera media.

Referencias

- 1 - VanZandt, T. E, Geophys. Res. Lett., **9**, 575-578 (1982).
- 2 - Dewan, E. M. and Good R. E., J. Geophys. Res., **91**, 2742-2748 (1986)
- 3 - Hines, C. O., J. Atmos. Sci., **48**, 1360-1379 (1991).
- 4 - Weinstock, J., J. Atmos. Sci., **47**, 2211-2225 (1990).
- 5 - Press W., Teukolsky S., Vetterling W. and Flannery, 1992, Numerical Recipes in Fortran, the art of the scientific computing, 2nd ed. Cambridge University Press.
- 7 - Pulido M. and Caranti G., submitted to J. Atmos. Sci. (1998)
- 8 - Chimonas G, J. Atmos. Sci., **54**, 2115-2128 (1997).
- 9 - Pulido M., Lamfi M, Scavuzzo M, Caranti G., Aceptado en Anales AFA (1997a).
- 10 - Allen S. J. and Vincent R. A., J. Geophys. Res., **100**, 1327-1350 (1995).
- 11 - Pulido M., Lamfi M, Scavuzzo M, Caranti G., Aceptado en Anales AFA (1997b).

CEILAP
CITEFA - CONICET
ZUFRIATEGUI Y VARELA
1603 VILLA MARTELLI
REPUBLICA ARGENTINA