

Informe de Avance: 31 de Mayo 2018

Resumen: Se muestran los resultados finales para los dos casos de validación del modelo meso-microescala WRF-LES a alta resolución. La validación se lleva a cabo simulando viento en terreno plano en un caso real, como lo es el caso de Høvsøre en Dinamarca. Los datos se comparan con aquellos obtenidos por Peña (2013) para dos casos distintos. Se detalla también la metodología en el pos-proceso de datos y la obtención de las variables turbulentas. Los resultados obtenidos por el modelo muestran una buena correlación entre lo modelado y lo medido en terreno.

1. Aspectos generales de las simulaciones

Todas las simulaciones se realizaron utilizando WRF V3.8.1. Para alcanzar la alta resolución de las simulaciones se utilizó la técnica de dominios anidados de una vía. Estos dominios fueron ubicados uno dentro de otro de manera telescópica, siendo la malla mas pequeña ($dx \approx 25$ m) ubicada de tal manera que está centrada en el punto de obtención de datos (mástil meteorológico). Los tiempos totales de simulación constan de 14 horas, en donde se proyecta una ventana temporal inicial de 6-8 horas para el spinup del modelo y entonces las siguientes 6-8 horas corresponden a la solución del modelo. La ventana temporal de solución se calcula de tal manera que calce con los casos expuestos por la investigación de Peña et al. en el año 2013.

La alta resolución del modelo se logra a través de dos aspectos, el primero es la simulación en una escala lo suficientemente fina como para entrar en el rango donde tiene sentido simular el comportamiento turbulento del viento a través de un modelo Large Eddy Simulation, y el segundo es, alimentando al modelo con bases de datos estáticas (orografía y uso de suelo) de alta resolución y que no son las bases de datos que vienen por defecto dentro de WRF. El trabajo acerca de como se incorporaron estas bases de datos al modelo queda expuesto en otro informe anterior.

Una observación importante es el salto que ocurre en el mallado de los dominios d04 y d05. Anteriormente la razón telescópica siempre fue de 3 (recomendada), sin embargo en estas dos mallas en particular se prefiere usar 5 para así hacer un bypass de la zona gris de turbulencia (*terra incognita*) y no tener mayores problemas con los modelos de capa límite.

A continuación se presentan las tablas 1 y 2 que contienen la información relevante para la reproducción de los experimentos.

Tabla 1: Días de simulación y aspectos generales.

Parámetro	Caso 2	Caso 5
Fecha	2010-06-09	2010-09-08
Hora Inicio	00:00:00	06:00:00
Hora Término	14:00:00	20:00:00
Elmentos Vert.	105	105
Elmentos Horiz.	46	46
Modelo LES	Smag.	1.5TKE

2. Metodología para obtención de resultados

Una vez finalizado de correr el modelo numérico, se tienen resultados cada 10 minutos de todas las variables físicas en cada punto de la malla. Por lo tanto es necesario generar una metodología que permita ver de mejor manera de información y que sea comparable con el resto de los datos que se encuentran en la literatura.

La técnica que se prefiere para estos casos, es la realización de **promedio móviles horarios** para las variables de interés y en el punto de control especificado. Es decir, se toman los outputs del modelo correspondiente a una ventana de tiempo de 60 minutos y se promedian, luego este promedio se va a desplazar temporalmente por

Tabla 2: Parámetros físicos de simulación para ambos casos.

Dominio	d01	d02	d03	d04	d05	d06	d07
Resolución [m]	30000	10000	3333.3	1111.1	222.22	74.074	24.691
Orografía	GMTED2010	GMTED2010	GMTED2010	ASTER	ASTER	ASTER	ASTER
Uso de Suelo	USGS	USGS	USGS	CLC12	CLC12	CLC12	CLC12
Micro-físicas	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5	WSM5
Cúmulos	Grell	Grell	—	—	—	—	—
Capa Superficial	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5	MM5
PBL	YSU	YSU	YSU	YSU	—	—	—
Modelo LES	No	No	No	No	Si	Si	Si
Modelo de Suelo	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.	Dif.
Rad. Onda Larga	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM
Rad. Onda Corta	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia	Dudhia

cada archivo hasta barrer todos los resultados. De esta manera se puede obtener información mas suave acerca del comportamiento del viento, sin perder sentido físico y comparable con lo resultados de Peña.

3. Obtención de Variables Turbulentas

Para extraer las variables de segundo orden que contiene el modelo, es necesario realizar algunos cálculos sobre las variables turbulentas.

De manera preliminar, los esfuerzos (cinemáticos) de submalla quedan expresados en el modelo WRF de la forma:

$$\tau_{ij} = K_{v,h} S_{ij} = - \left(R_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} e \right) \quad (3.1)$$

Donde e es la energía cinética turbulenta de submalla:

$$e = \frac{1}{2} (\overline{u_i u_i} - \overline{u_i} \overline{u_i}) \quad (3.2)$$

Y el tensor R_{ij} característico de LES es:

$$R_{ij} = \overline{u_i u_j} - \overline{u_i} \overline{u_j} \quad (3.3)$$

Sin entrar en mayor detalles del modelo numérico, diremos que:

$$K_{v,h} = C_s^2 l_{h,v}^2 \max \left[0, (S^2 - \text{Pr}^{-1} N^2)^{1/2} \right] \quad (3.4)$$

Para el modelo clásico de Smagorinsky, o:

$$K_{v,h} = C_k l_{h,v} \sqrt{e} \quad (3.5)$$

Para el modelo 1.5tke de Deardorf. S_{ij} es el tensor clásico de tasa de deformación.

Finalmente se despejan las variables desconocidas en función de aquellas conocidas y se obtiene:

$$\begin{aligned} \overline{u_1 u_1} &= -K_h S_{11} + \overline{u_1} \overline{u_1} + \frac{2}{3} e & \overline{u_i u_2} &= -K_h S_{12} + \overline{u_1} \overline{u_2} \\ \overline{u_2 u_2} &= -K_h S_{22} + \overline{u_2} \overline{u_2} + \frac{2}{3} e & \overline{u_1 u_3} &= -K_v S_{13} + \overline{u_1} \overline{u_3} \\ \overline{u_3 u_3} &= -K_v S_{33} + \overline{u_3} \overline{u_3} + \frac{2}{3} e & \overline{u_2 u_3} &= -K_v S_{23} + \overline{u_2} \overline{u_3} \end{aligned}$$

e se obtiene directamente del modelo para el caso del modelo tke. Sin embargo para un modelo de Smagorinsky no se puede obtener información acerca de la energía cinética turbulenta de submalla y por lo tanto solo es posible obtener τ_{13}

4. Resultados

A continuación se presentarán los resultados mas importantes. Adjunto a este informe se encuentran los archivos con todos los resultados extraídos de las simulaciones (bastante pesado) y que son igual de importantes que aquellos mostrados acá, sin embargo se prefieren mostrar estos por temas operativos.

Los resultados que se muestran son los siguientes:

- Series de tiempo para la rapidez del viento y ángulo en el punto de control seleccionado para el modelo WRF.
- Series de tiempo para la rapidez del viento y ángulo en el punto de control seleccionado medidos en el mástil meteorológico.
- Promedio horario simulado (en amarillo) correspondiente a los datos mostrados por Peña en el 2013 para el caso respectivo y en el punto de control. Acá se muestran también los valores medidos (puntos azules) de la velocidad según Peña.
- Promedio horario para las variables turbulentas significativas en la ventana de tiempo respectiva para los valores mostrados anteriormente. Recordar que el modelo de Smagorinsky no permite tener información acerca de la energía cinética turbulenta de submalla y por lo tanto tampoco de las autocorrelaciones de velocidad

Por otro lado la hora y fecha respectiva para cada caso según Peña son:

- Caso 2: 9 de Junio de 2010, de 0600 a 0730 (no especifica uso horario)
- Caso 5: 7 de Septiembre de 1330 a 1700. 8 de Septiembre de 1330 a 1650. 9 de Septiembre de 1400 a 1830.

4.1. Resultados Caso 2 (smag)

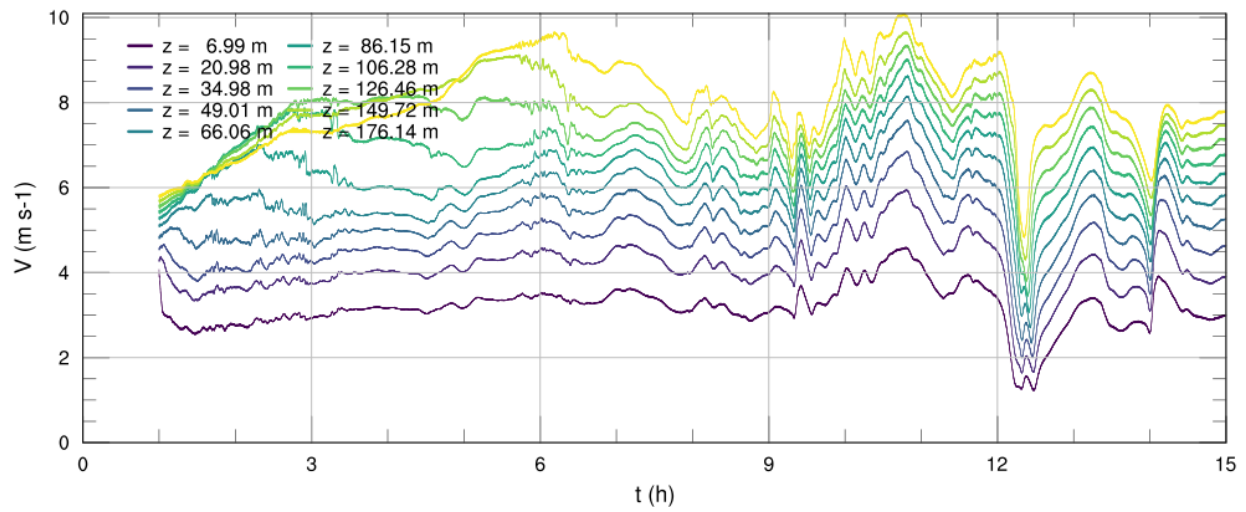


Figura 4.1: Serie de tiempo para ángulo modelo 2010-06-09.

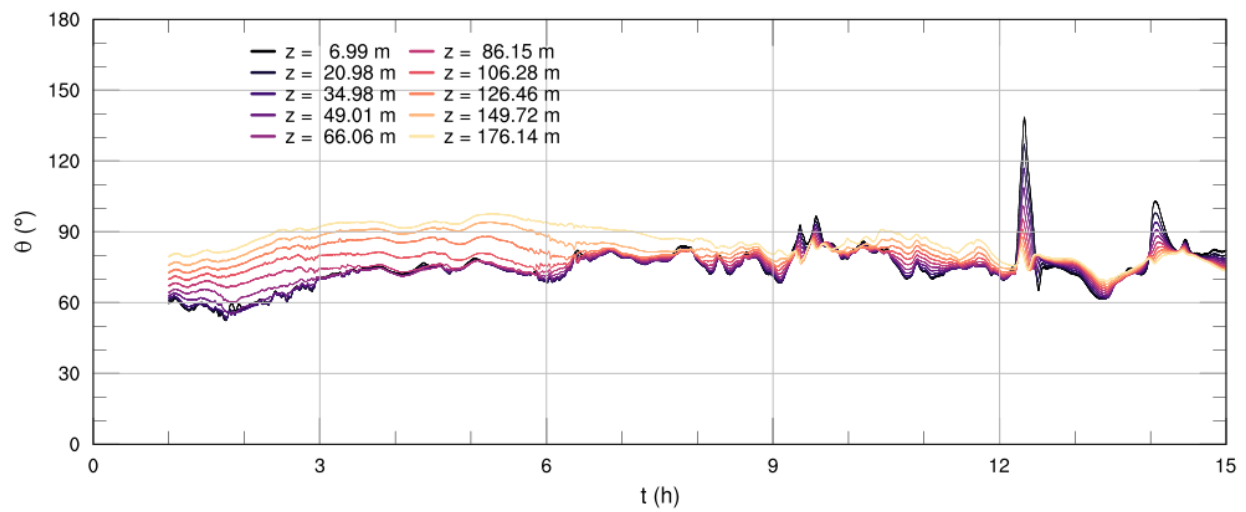


Figura 4.2: Serie de tiempo para velocidad medida 2010-06-09.

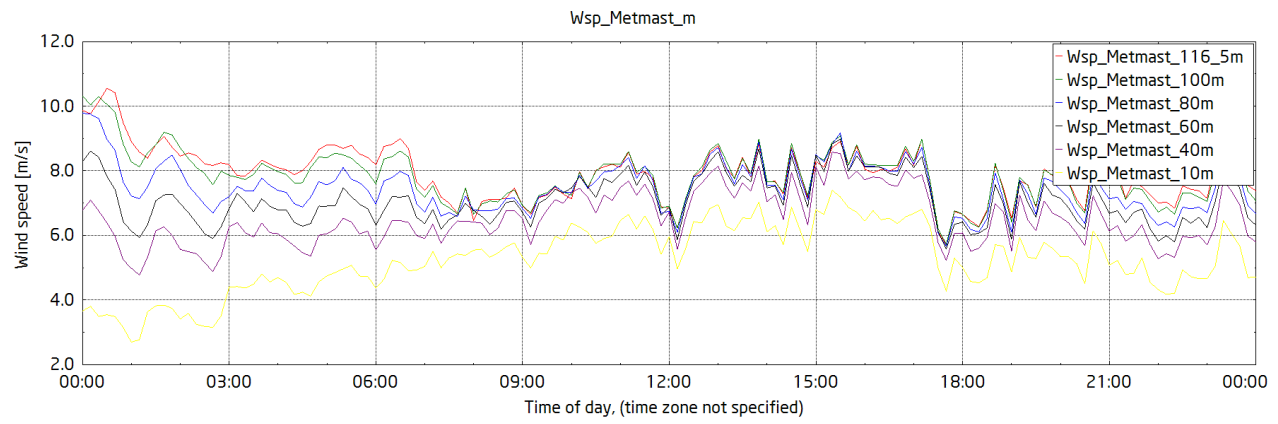


Figura 4.3: Serie de tiempo para velocidad modelo 2010-06-09.

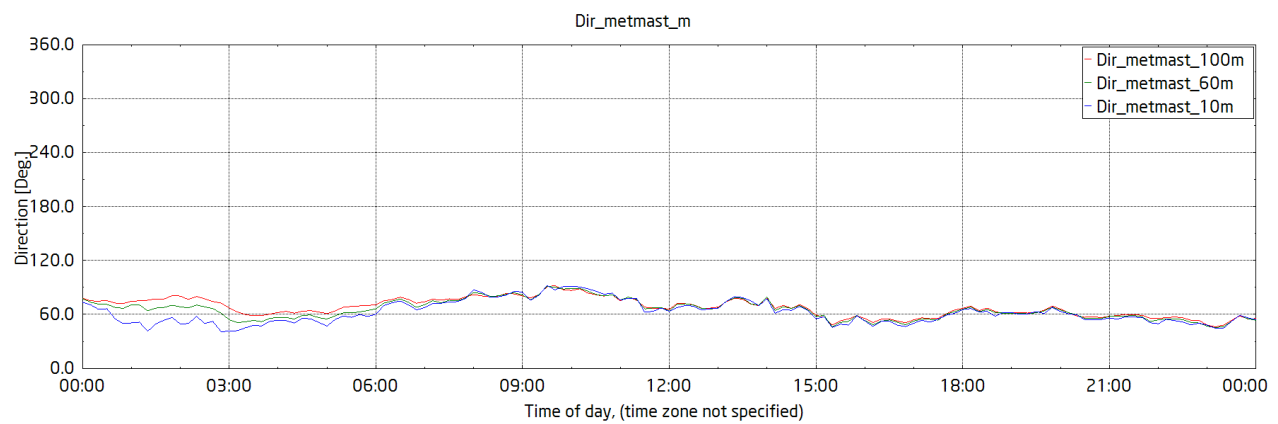


Figura 4.4: Serie de tiempo para ángulo medido 2010-06-09.

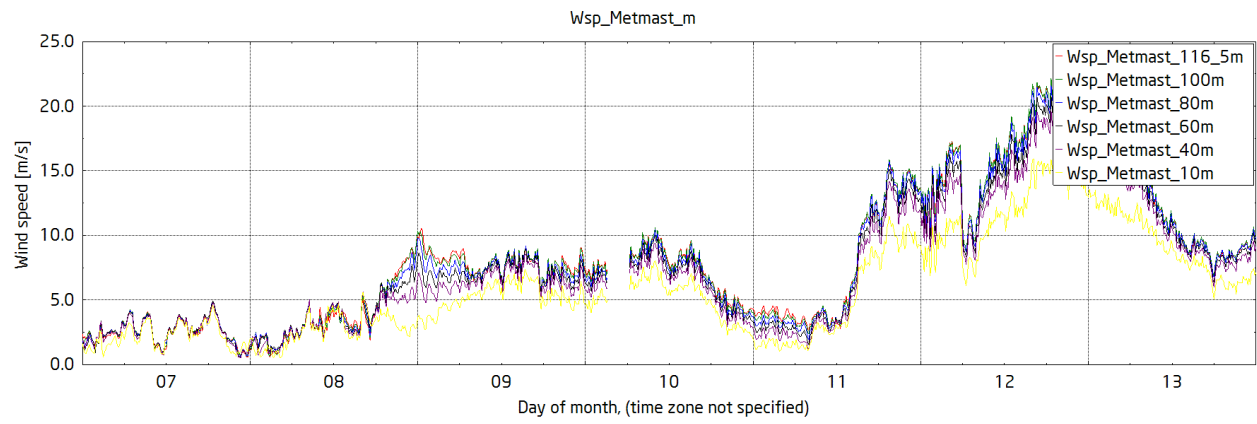


Figura 4.5: Serie de tiempo semanal para velocidad medida.

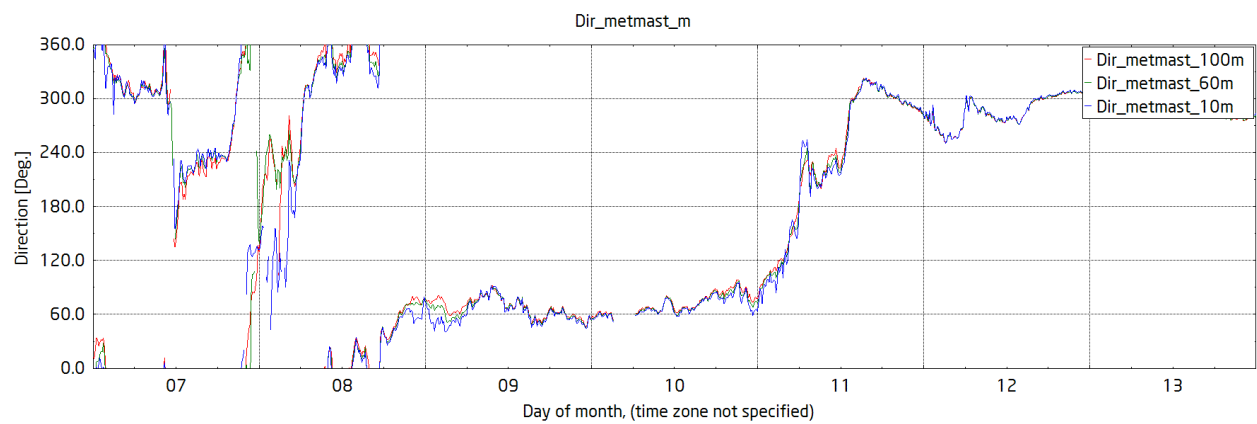
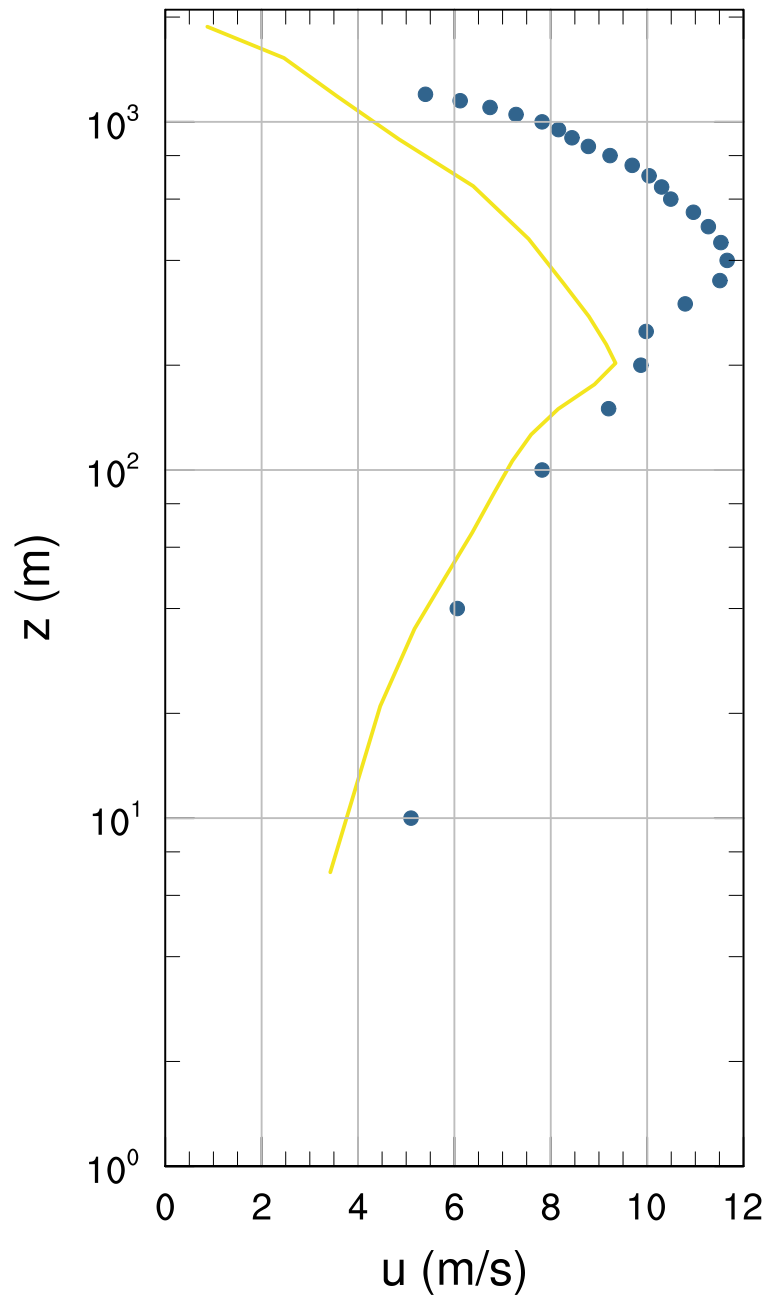


Figura 4.6: Serie de tiempo semanal para ángulo medido.

Mean profile from 05:30 to 06:30



Mean profile from 05:30 to 06:30

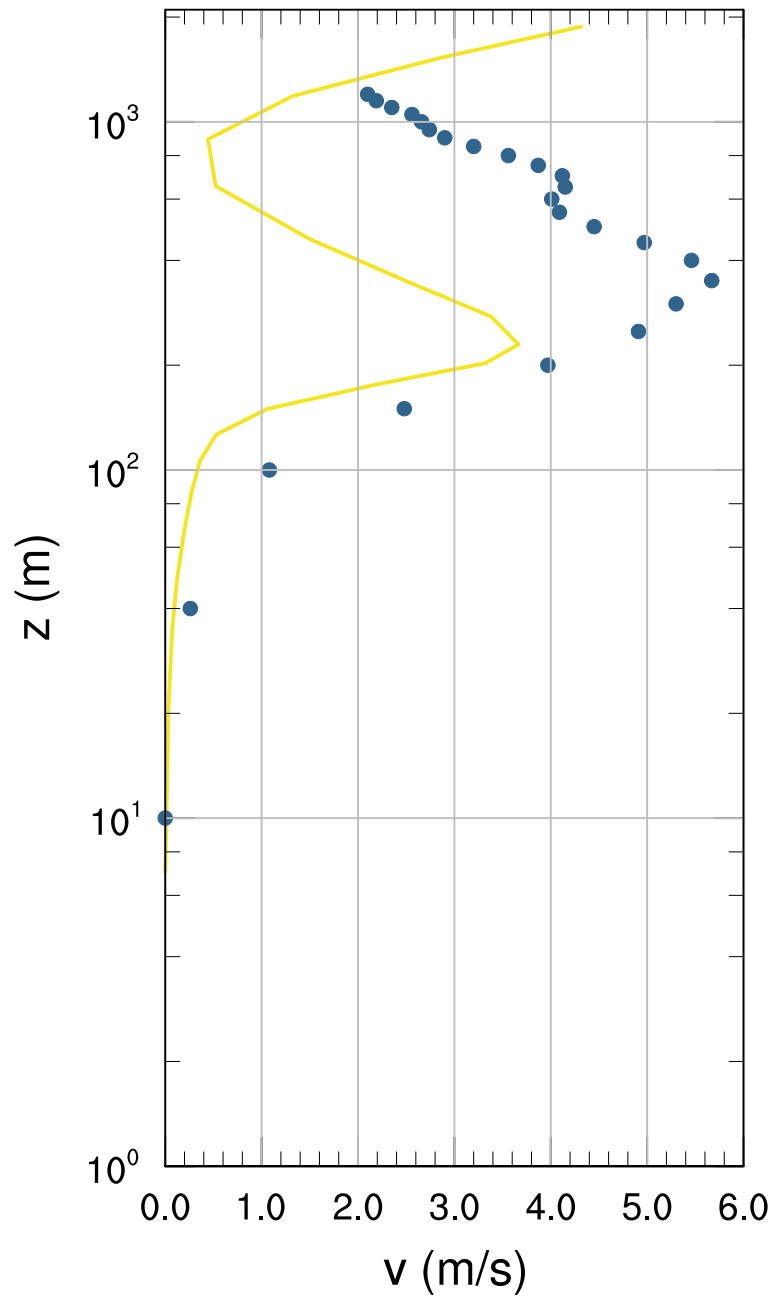
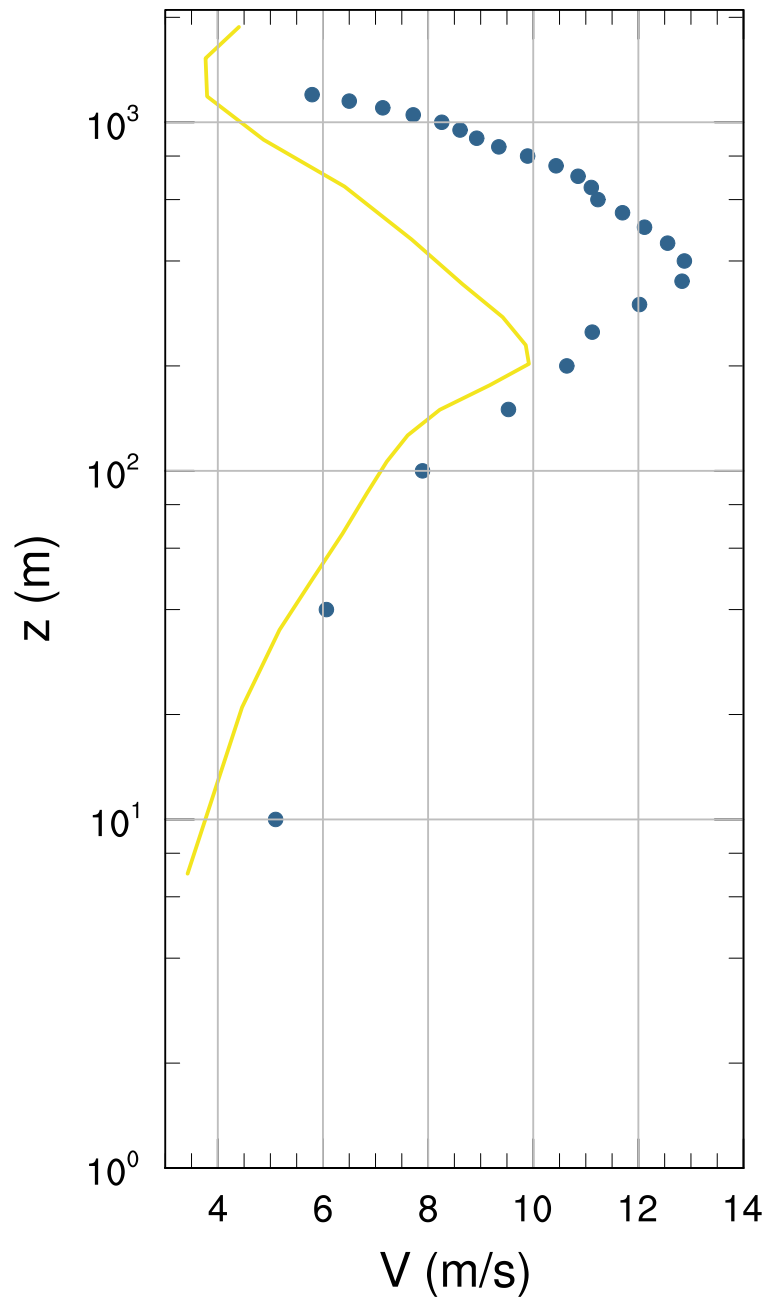


Figura 4.8: Comparación con Peña para v .

Mean profile from 05:30 to 06:30

Figura 4.9: Comparación con Pea para V .

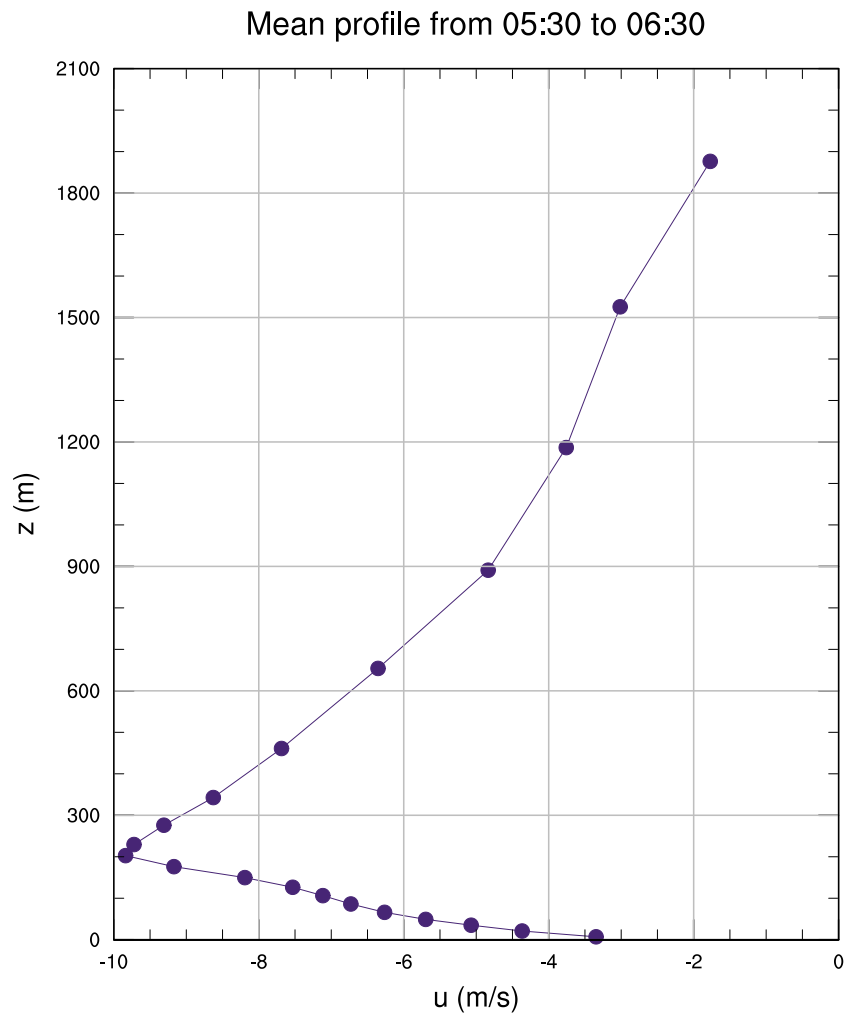


Figura 4.10: Perfil de u .

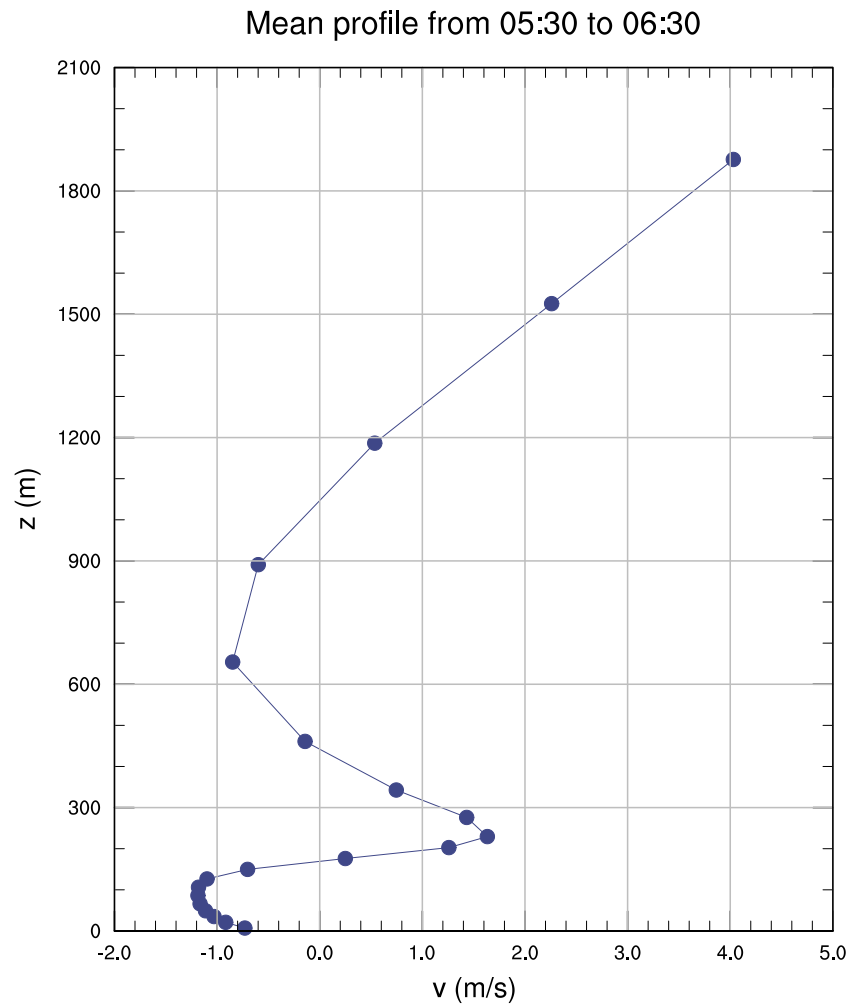


Figura 4.11: Perfil de v .

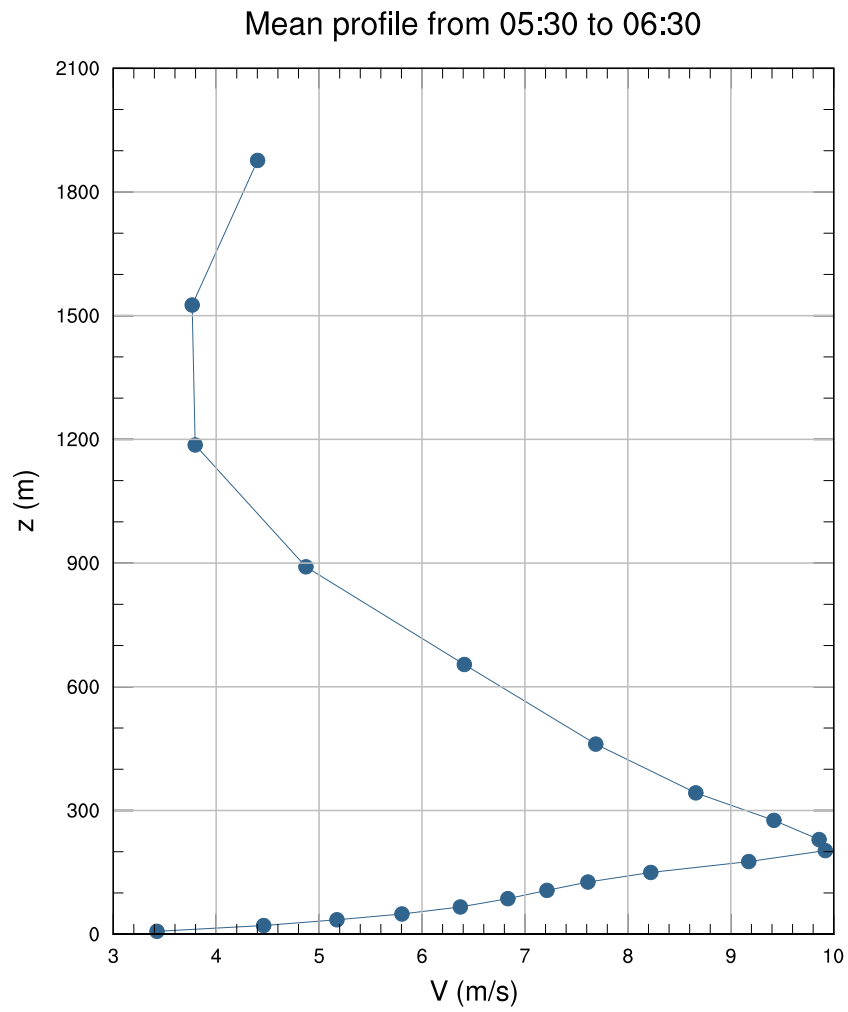


Figura 4.12: Perfil de V .

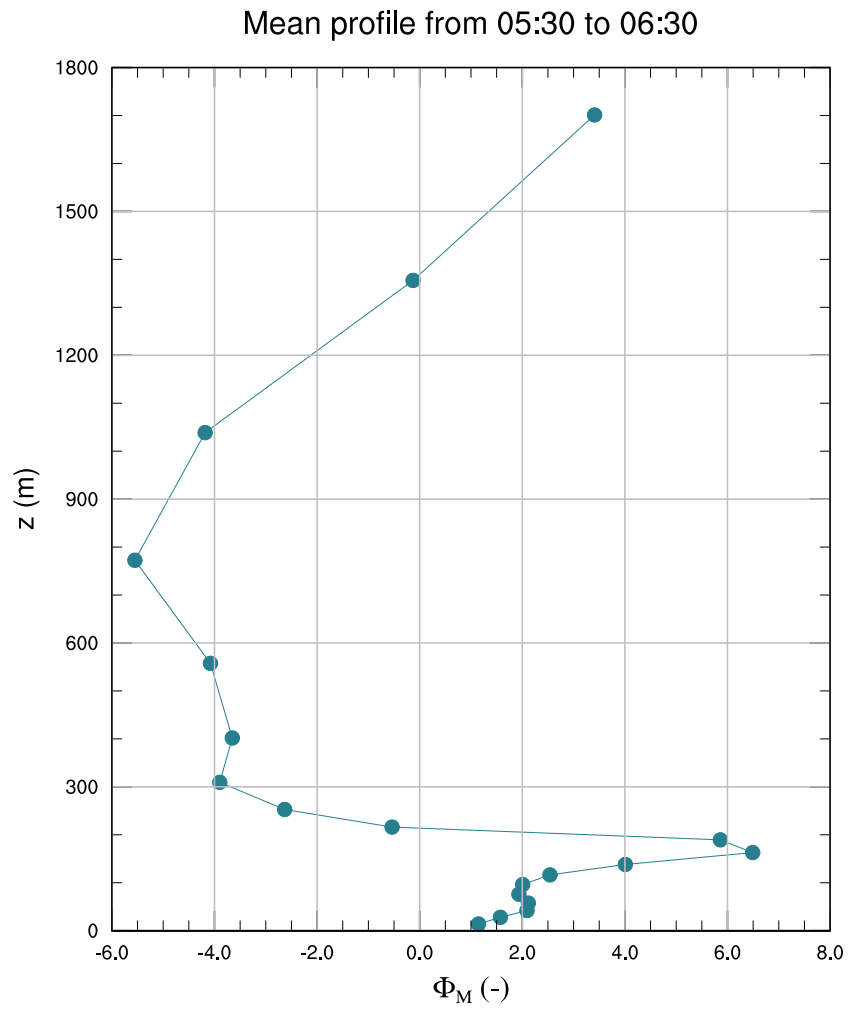


Figura 4.13: Perfil de Φ_M .

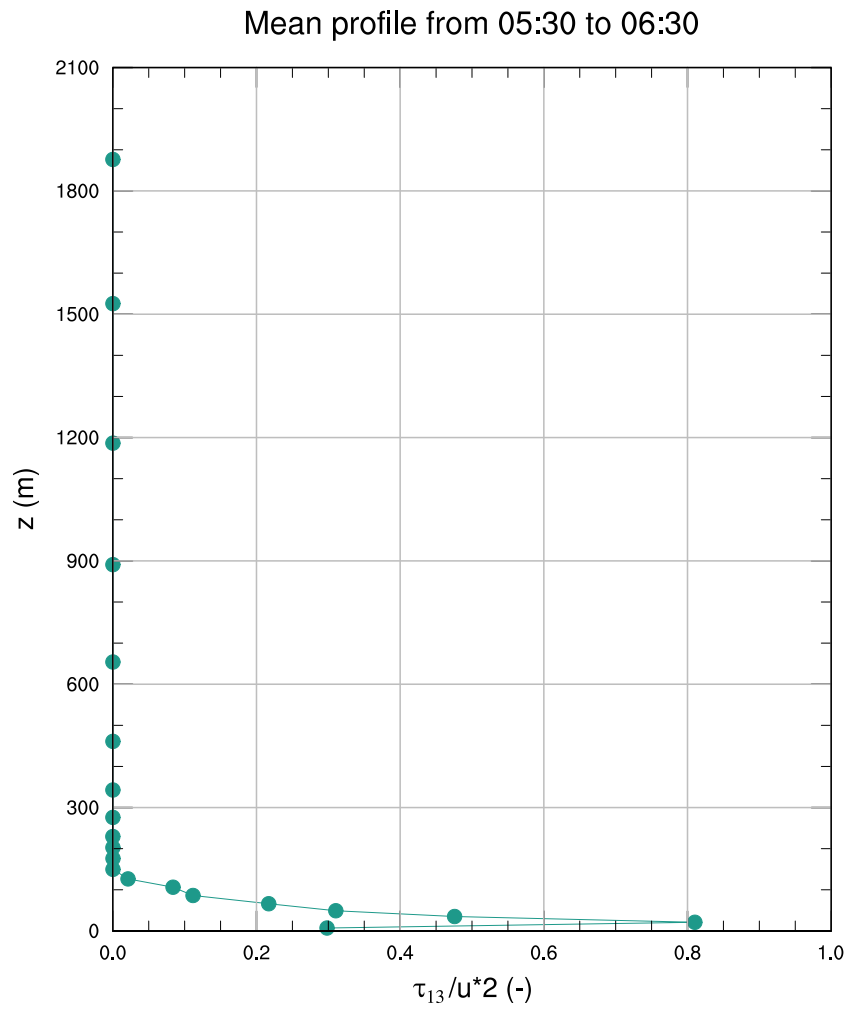


Figura 4.14: Perfil de τ_{13} .

4.2. Resultados Caso 5 (tke)

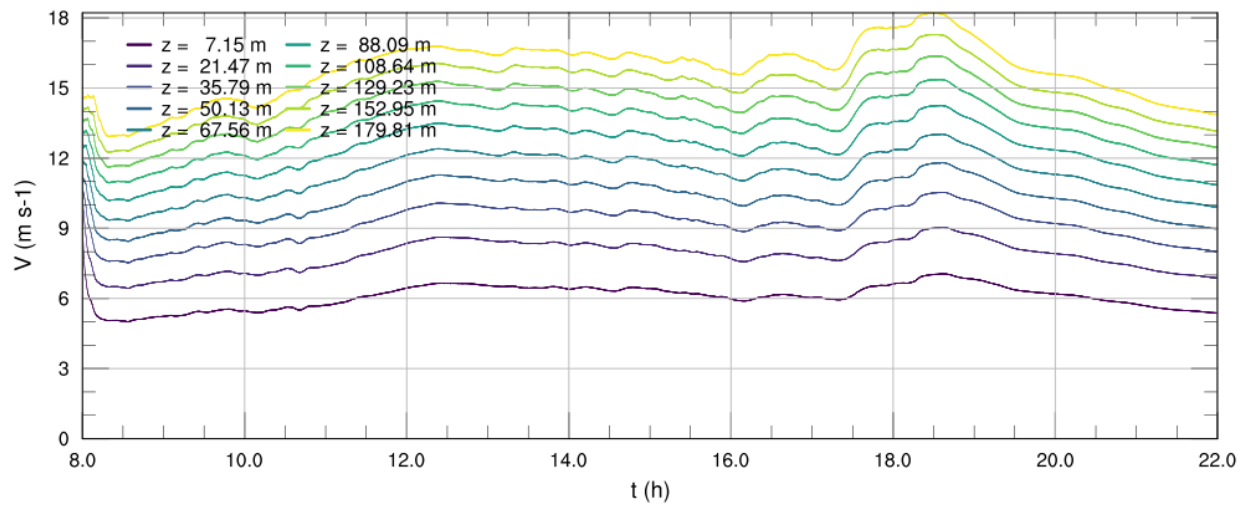


Figura 4.15: Serie de tiempo para ángulo modelo 2010-09-08.

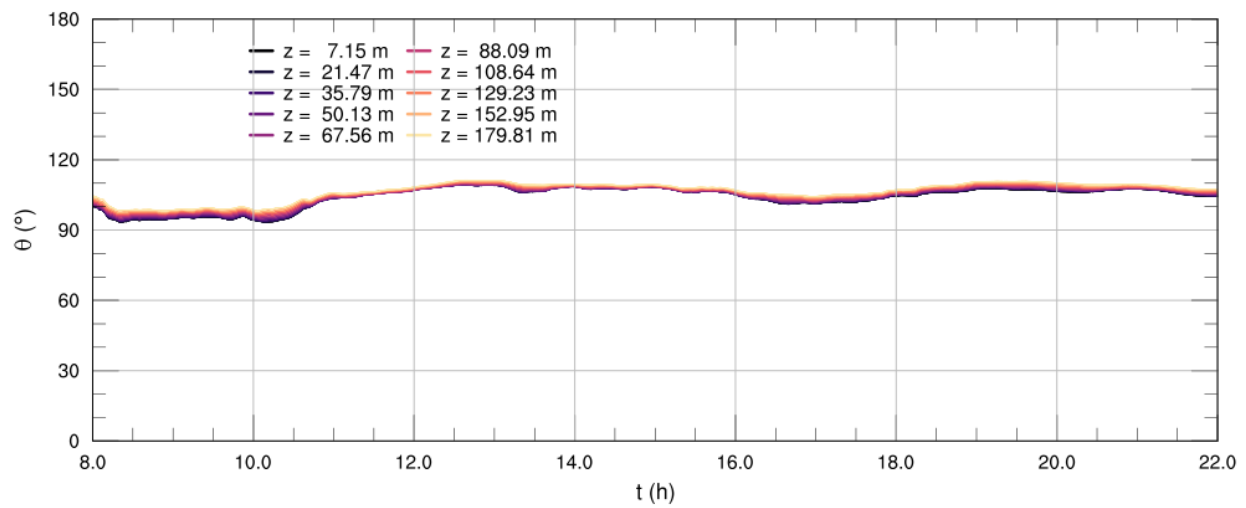


Figura 4.16: Serie de tiempo para velocidad medida 2010-09-08.

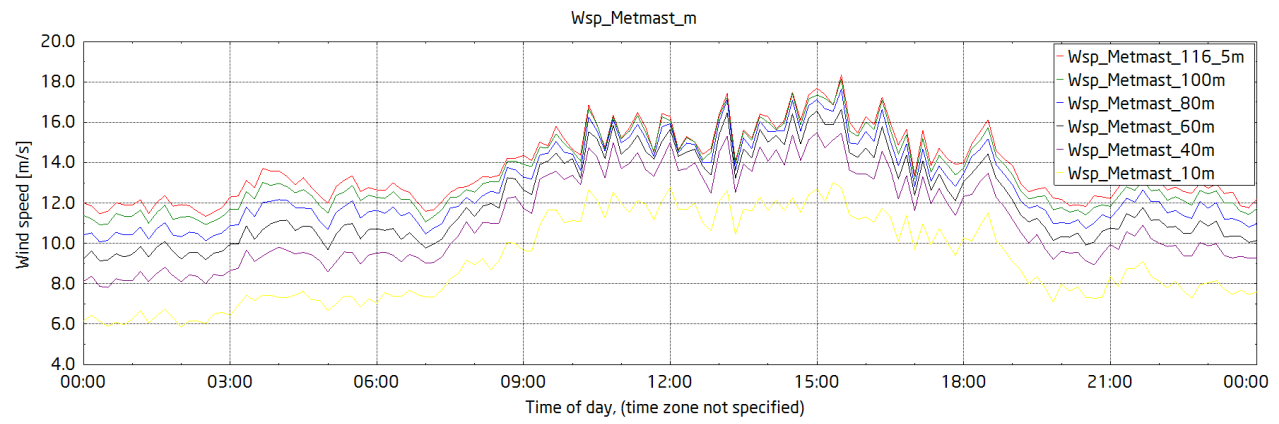


Figura 4.17: Serie de tiempo para velocidad medida 2010-09-08.

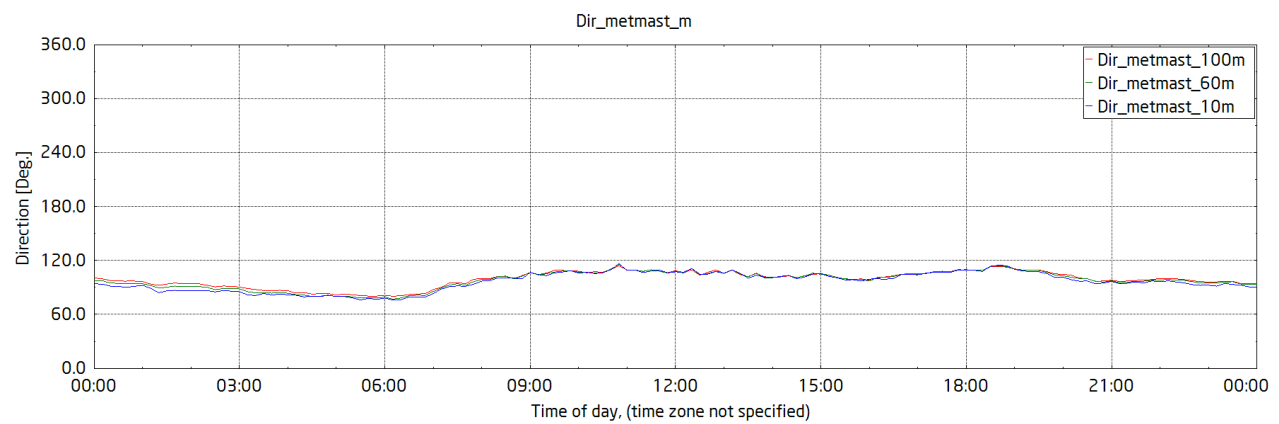


Figura 4.18: Serie de tiempo para ángulo medido 2010-09-08.

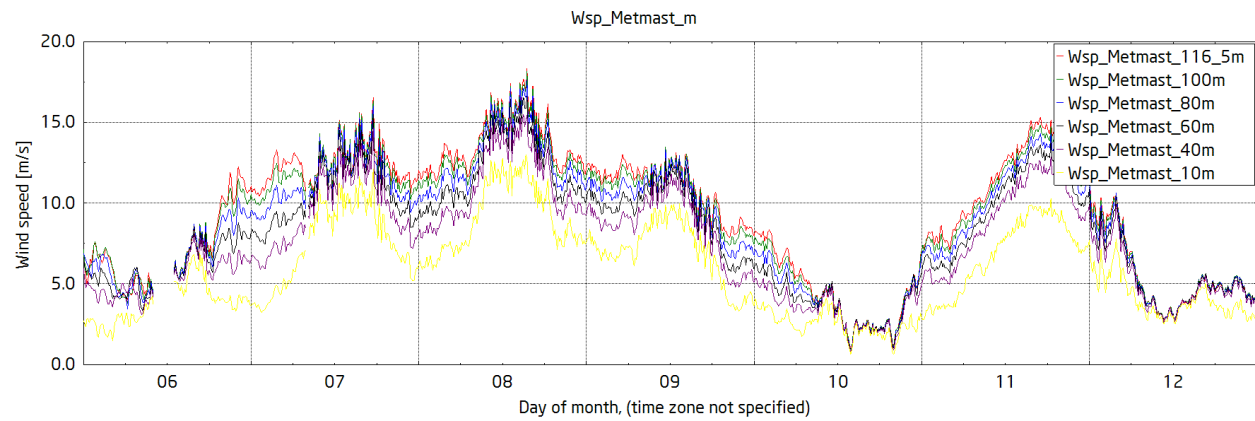


Figura 4.19: Serie de tiempo semanal para velocidad medida.

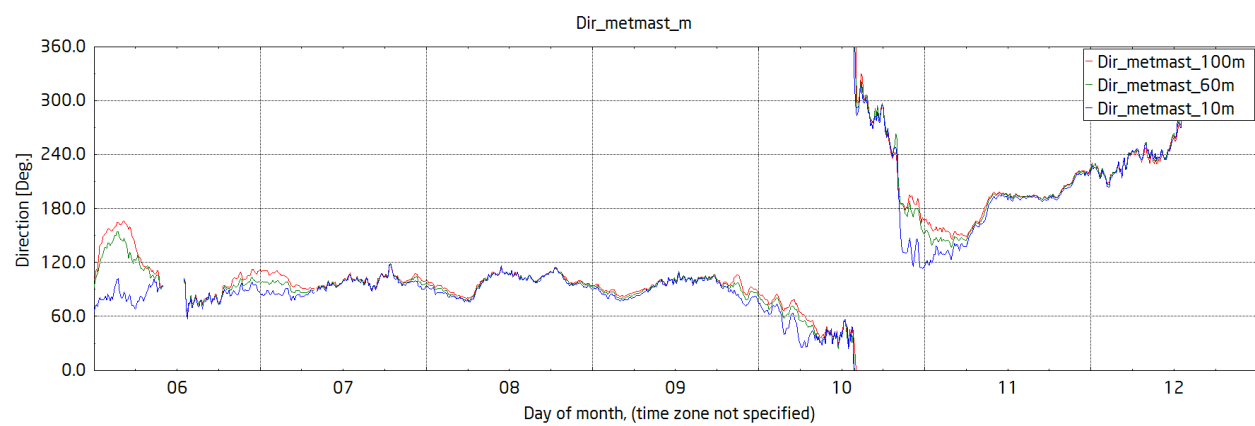
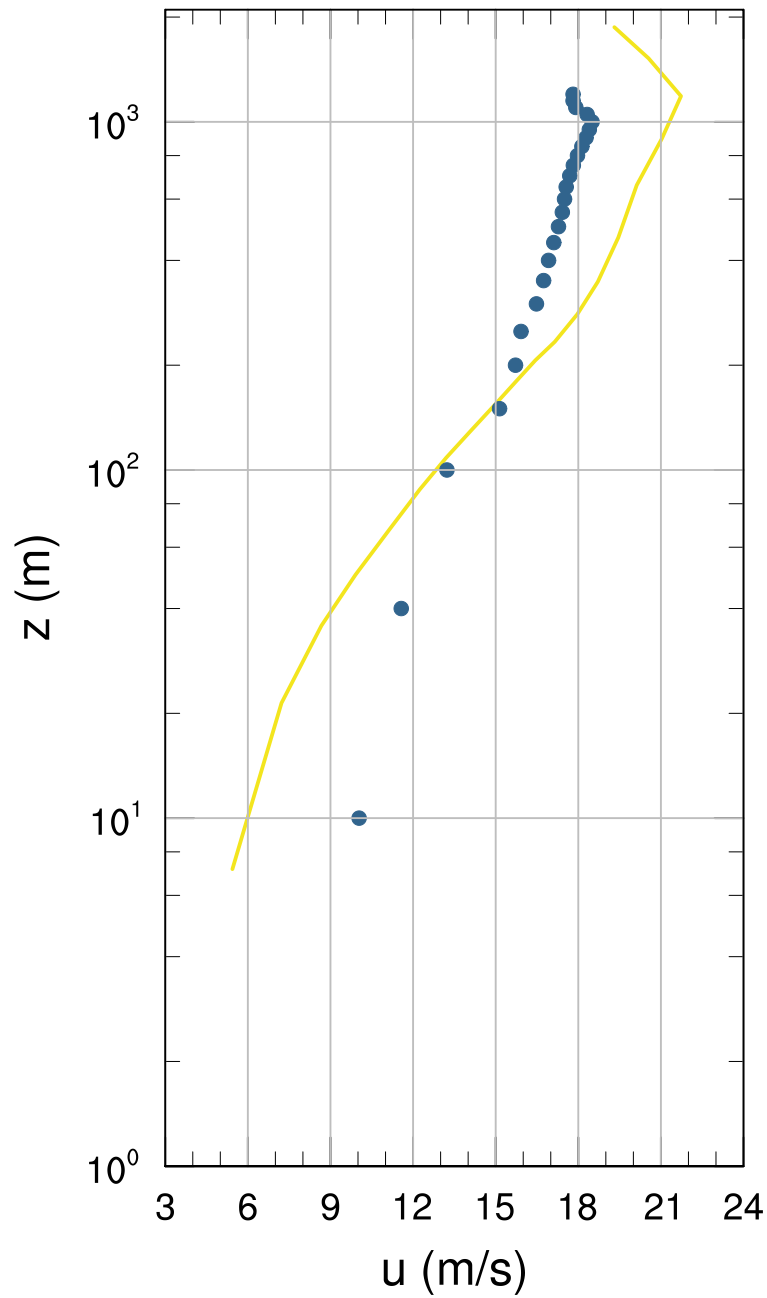


Figura 4.20: Serie de tiempo semanal para ángulo medido.

Mean profile from 13:00 to 14:00

**Figura 4.21:** Comparación con Peña para u .

Mean profile from 13:00 to 14:00

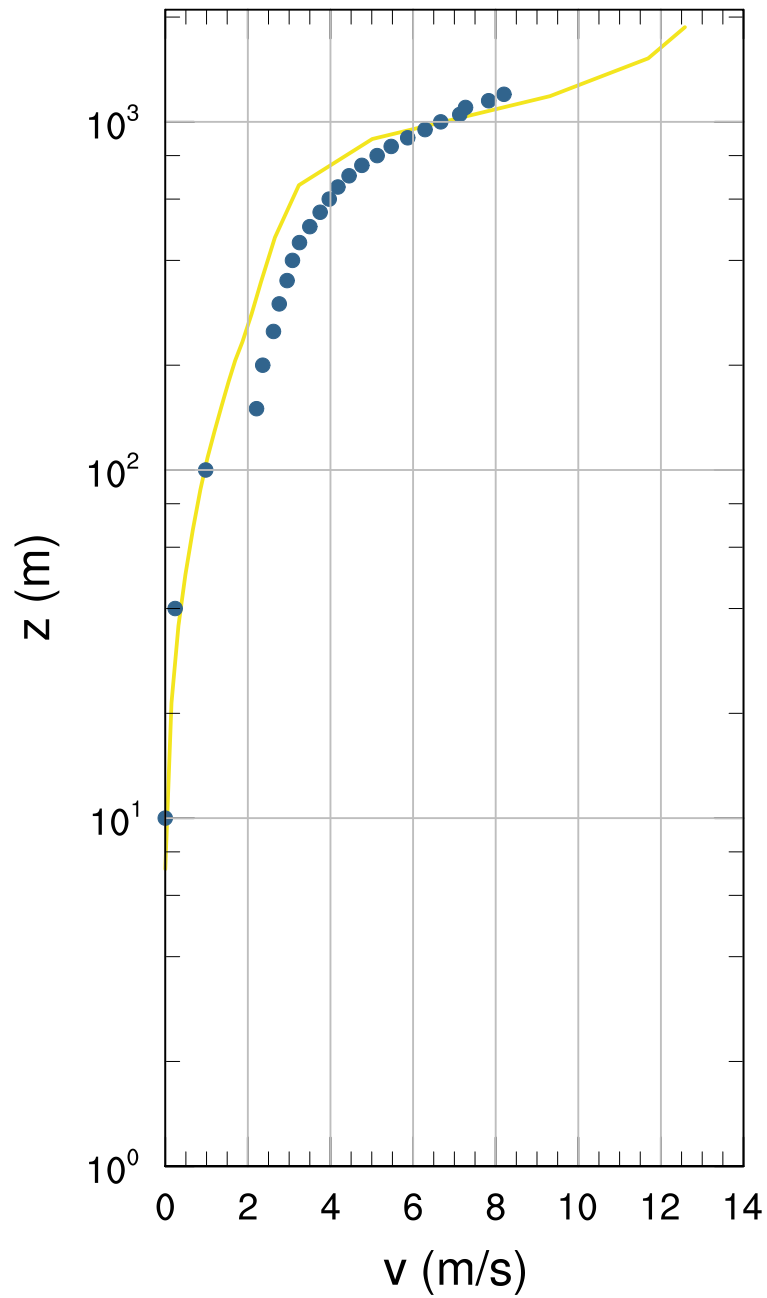
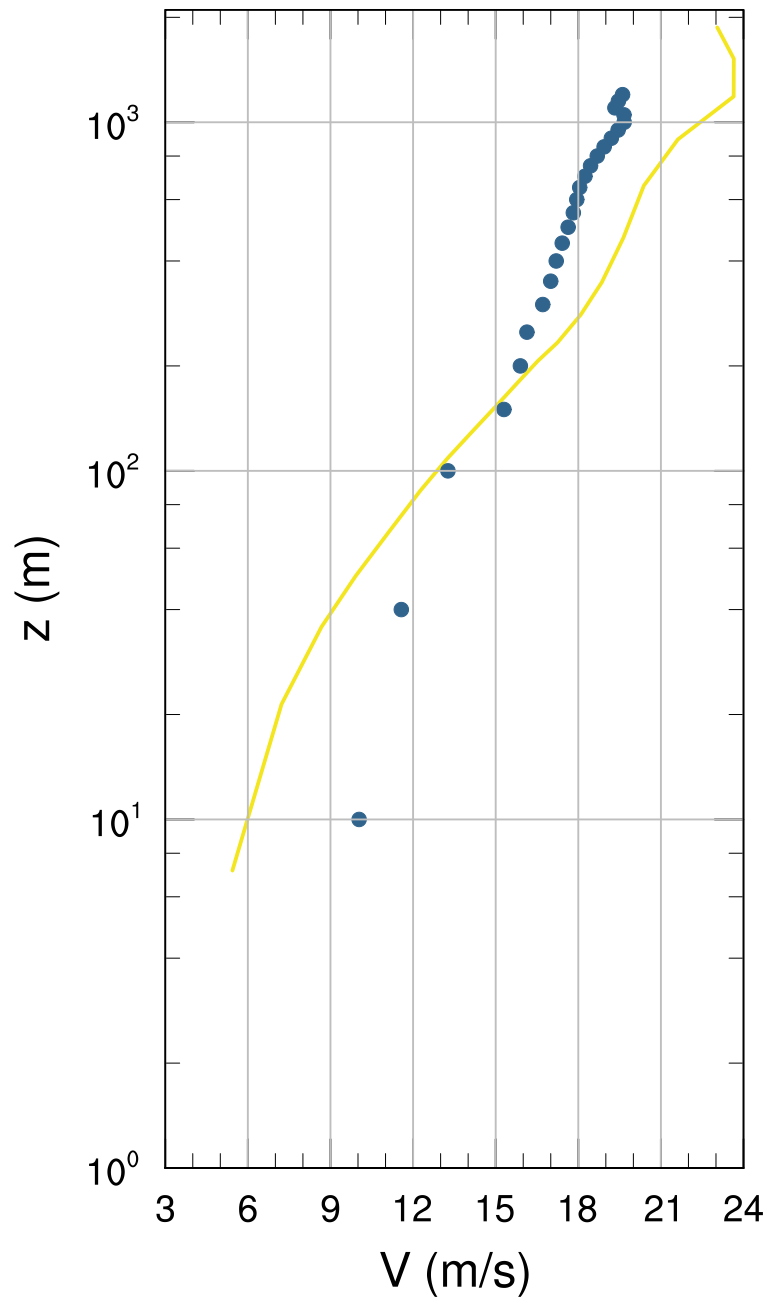


Figura 4.22: Comparación con Peña para v .

Mean profile from 13:00 to 14:00

**Figura 4.23:** Comparación con Peña para V .

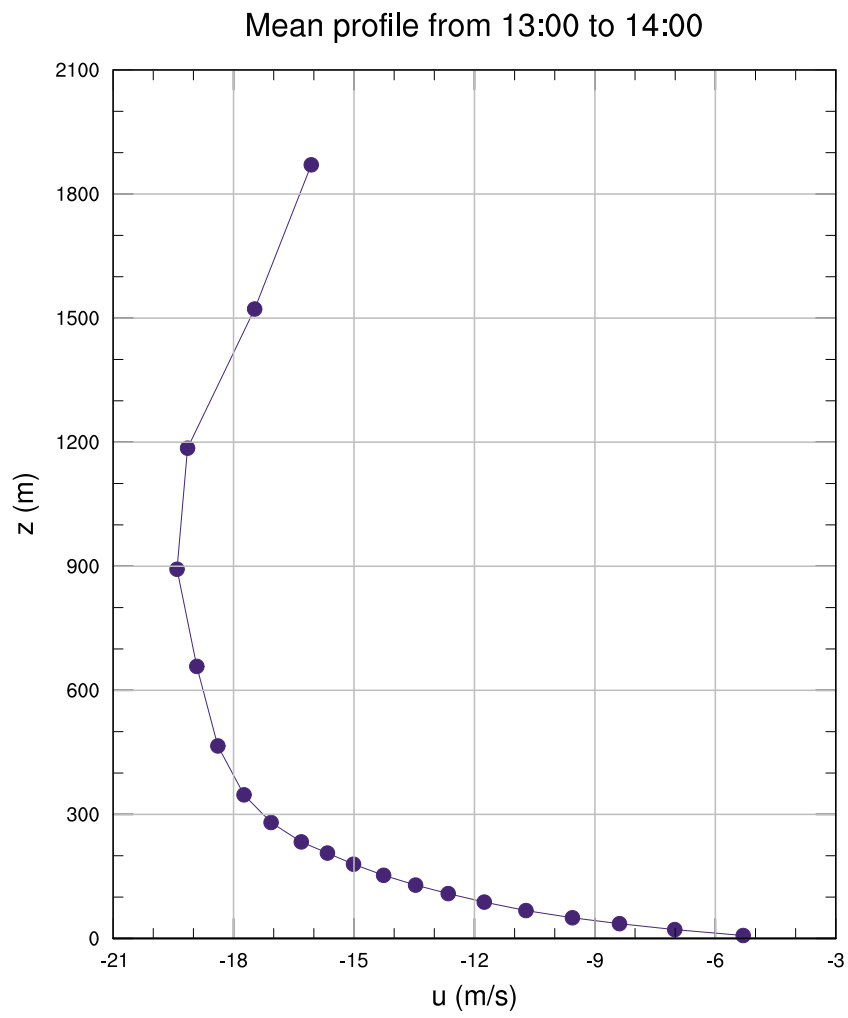


Figura 4.24: Perfil de u .

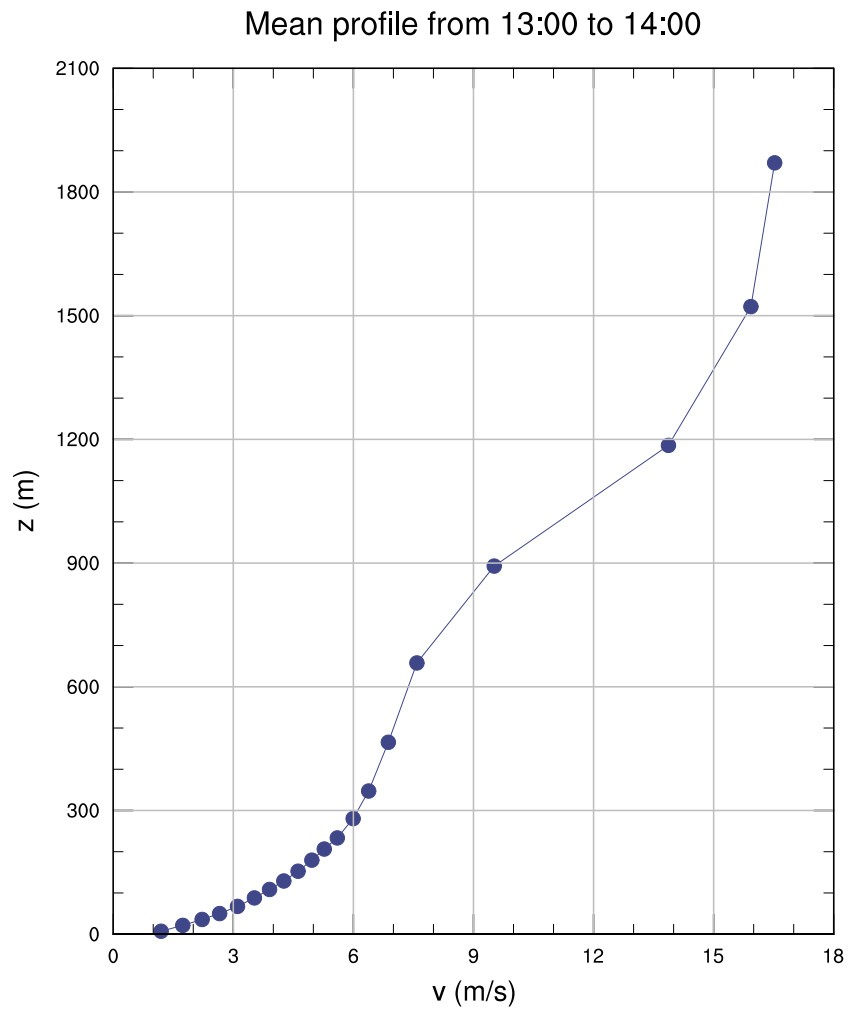


Figura 4.25: Perfil de v .

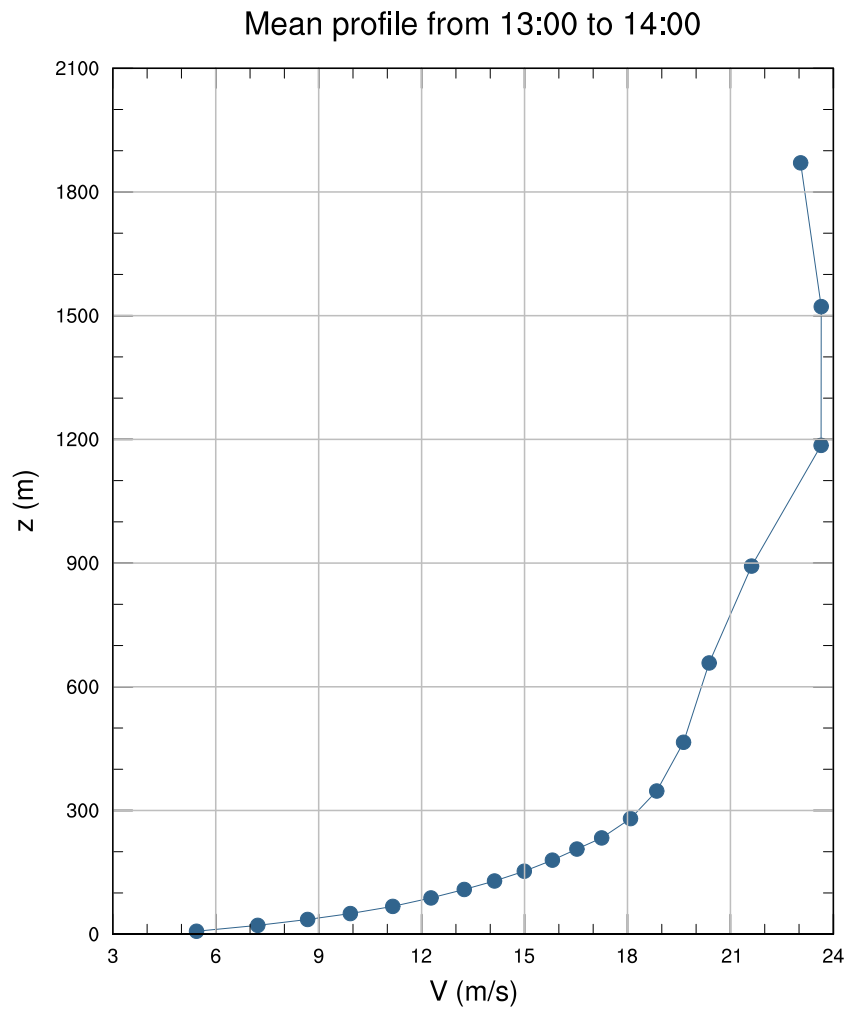


Figura 4.26: Perfil de V .

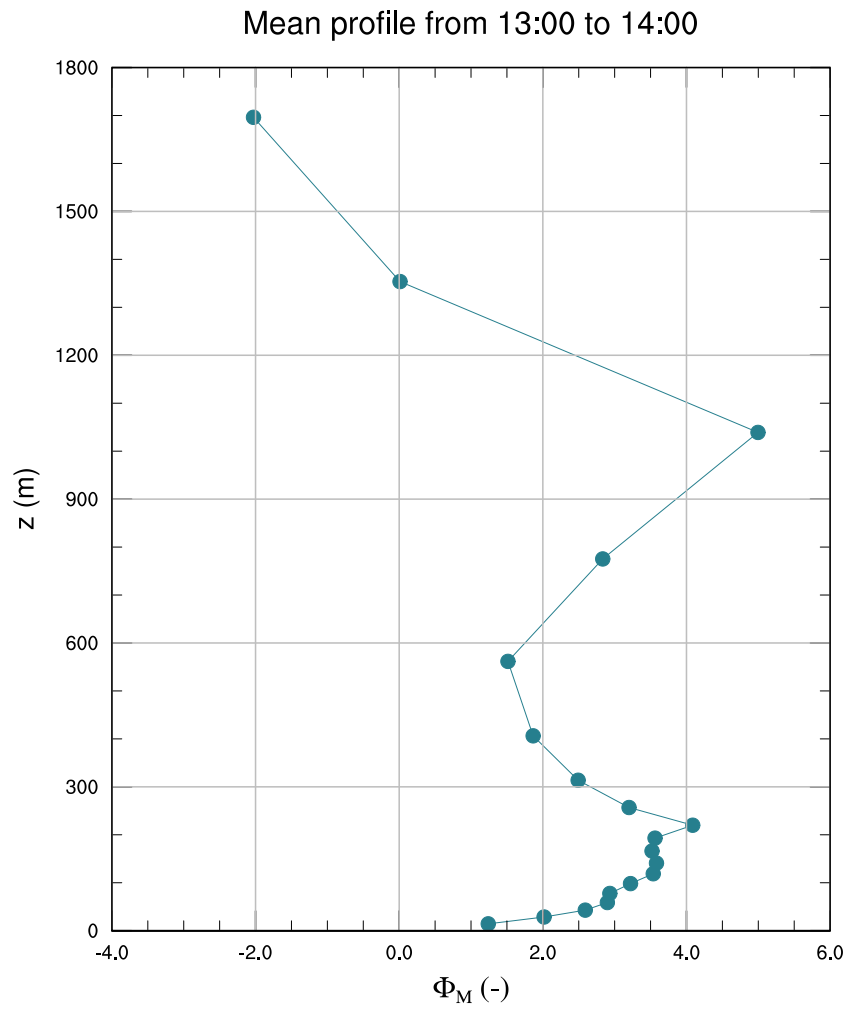


Figura 4.27: Perfil de Φ_M .

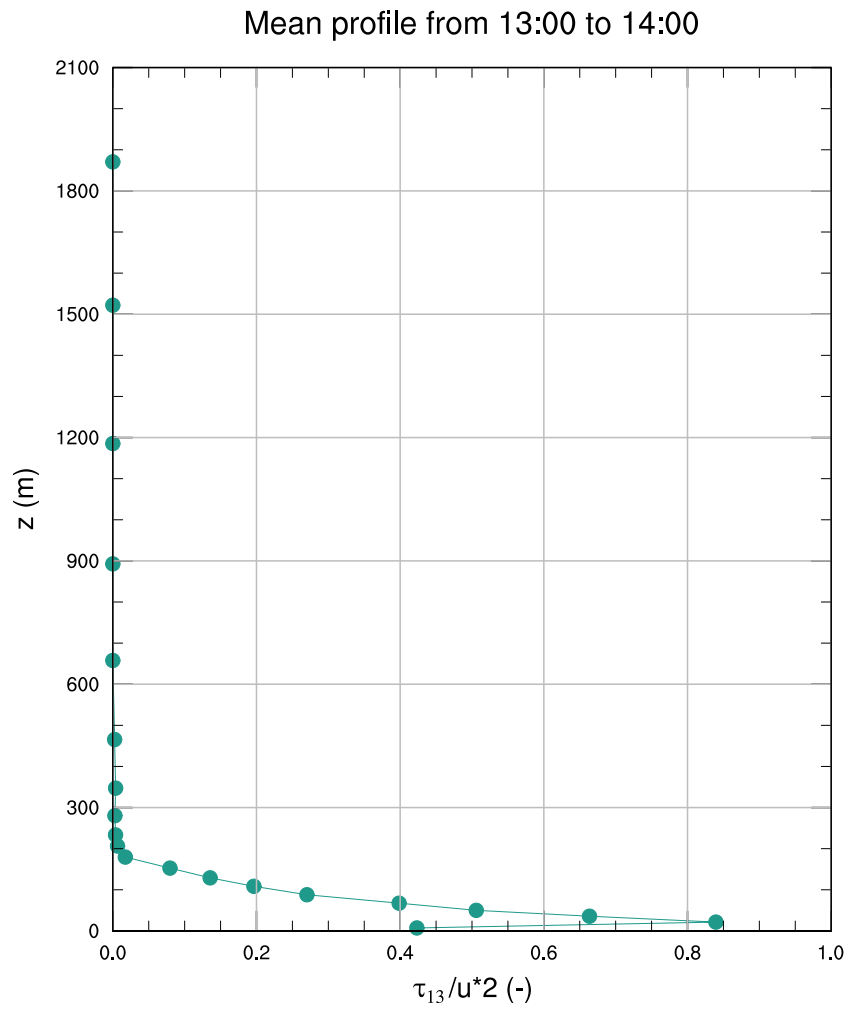


Figura 4.28: Perfil de τ_{13} .

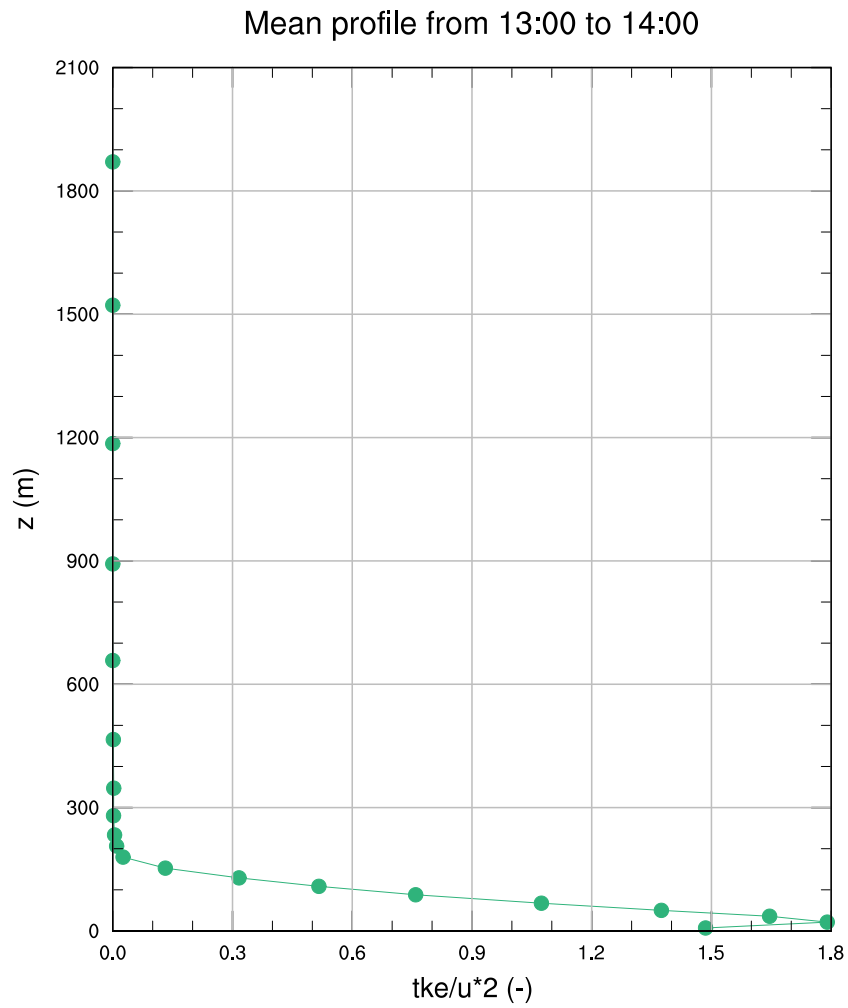


Figura 4.29: Perfil de tke .

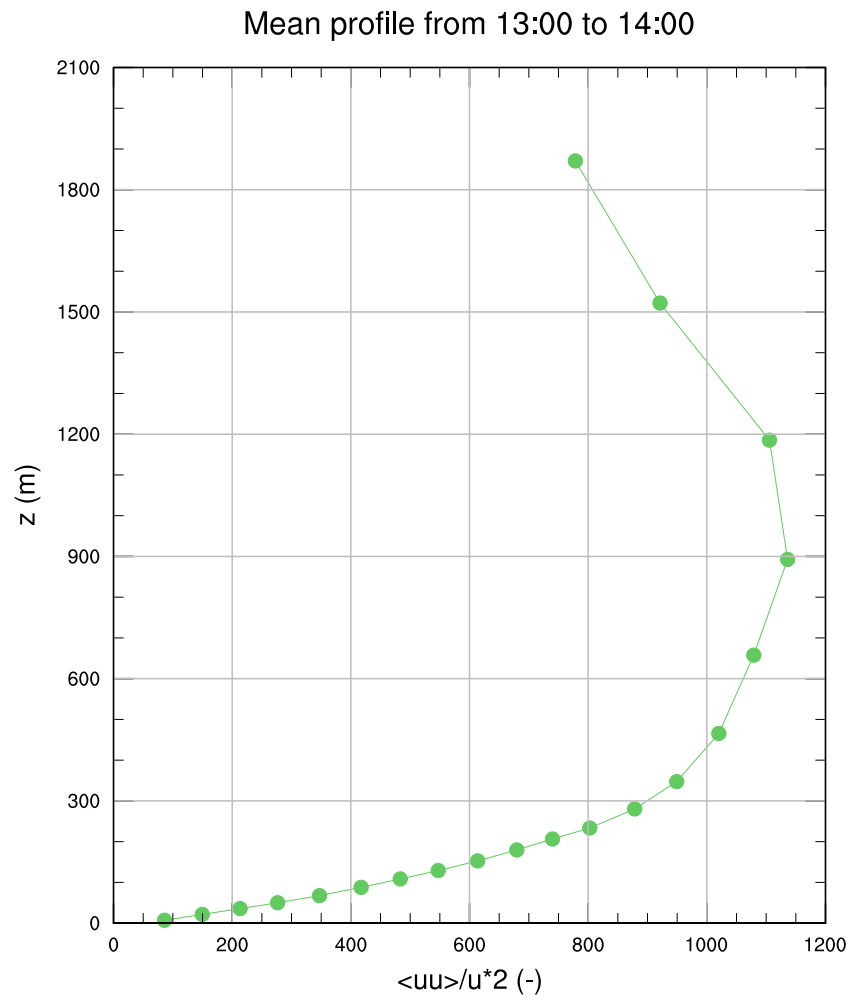


Figura 4.30: Perfil de uu .

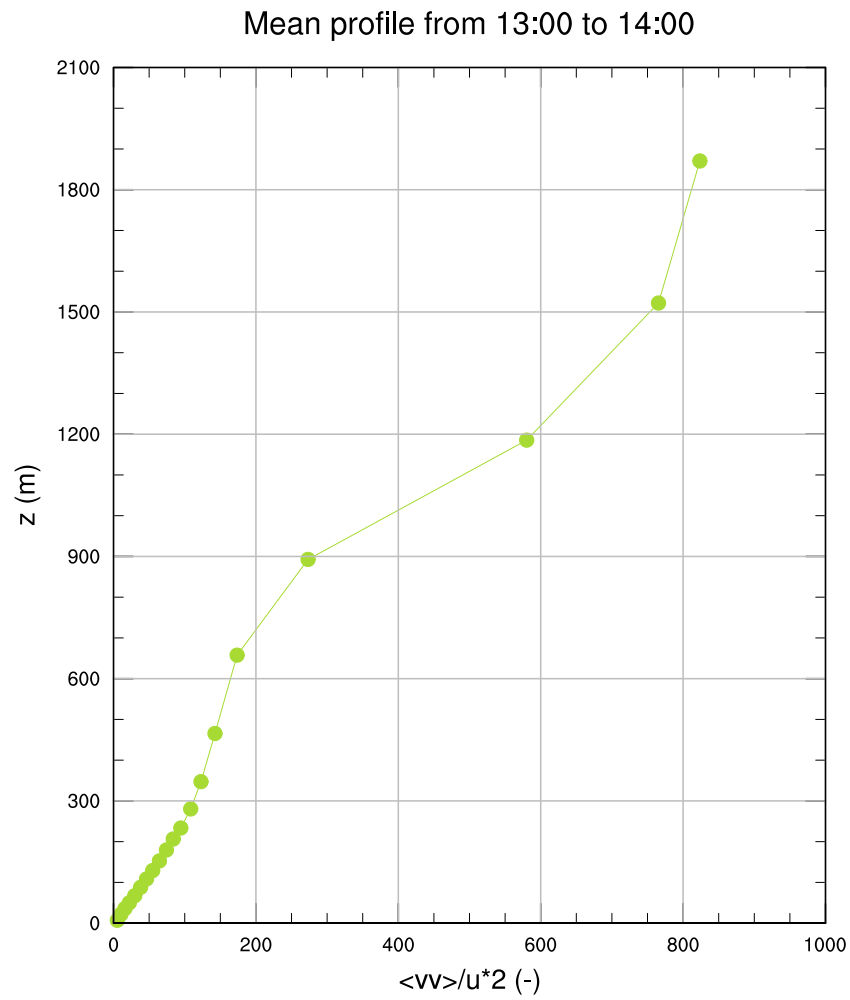


Figura 4.31: Perfil de vv .

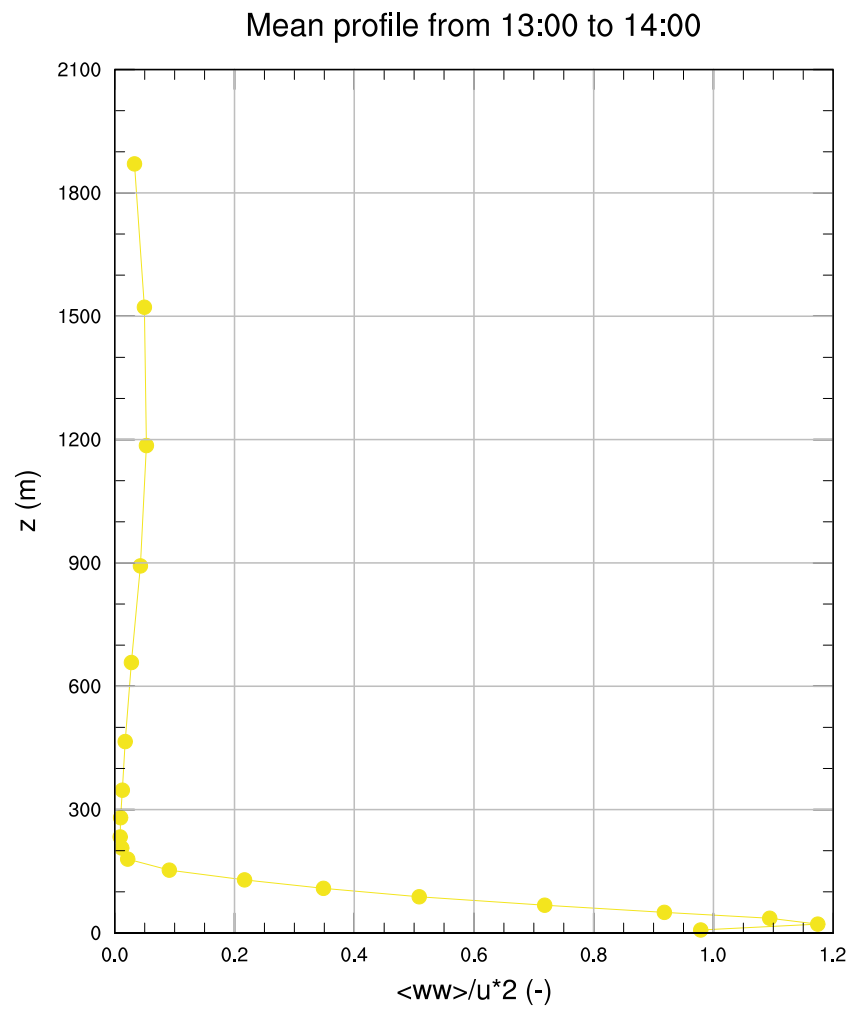


Figura 4.32: Perfil de ww .

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

Según lo visto en los resultados obtenidos el modelo se comporta lo suficientemente bien como ser considerado válido para este caso y por lo tanto se podría proceder a modelar terreno complejo.

Dentro del trabajo futuro aún queda:

- Calcular espectro en espacio físico
- Correr caso bolund
- Preparar y obtener datos para realizar DA
- Desarrollar código para independizar DA.