

Modelos Multiescala para Simulación de Turbulencia de la Capa Límite Planetaria en su Interacción con el Terreno Complejo

P. Cárdenas

Departamento de Ing. Mecánica
Universidad Técnica Federico Santa María

Seminario de Investigación en Ing. Mecánica, 2016

Introducción

- ▶ Naturaleza del recurso viento.

Introducción

- ▶ Naturaleza del recurso viento.
- ▶ Viento como recurso energético.

Introducción

- ▶ Naturaleza del recurso viento.
- ▶ Viento como recurso energético.
- ▶ Potencial eólico.

Introducción

- ▶ Naturaleza del recurso viento.
- ▶ Viento como recurso energético.
- ▶ Potencial eólico.

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)$$

Introducción

- ▶ Naturaleza del recurso viento.
- ▶ Viento como recurso energético.
- ▶ Potencial eólico.

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)$$

- ▶ Interacción con la superficie.

Introducción

Problemática de Investigación

Tener una herramienta confiable para el diagnóstico del comportamiento atmosférico en su interacción con el terreno complejo.

Resumen

- ▶ Para estimar el potencial eólico de una zona se debe conocer el comportamiento de la atmósfera dentro de la región.

Resumen

- ▶ Para estimar el potencial eólico de una zona se debe conocer el comportamiento de la atmósfera dentro de la región.
- ▶ Este comportamiento está en directa relación con lo que sucede en la CLP, zona donde no se pueden despreciar los efectos de la turbulencia ni la disipación viscosa.

Resumen

- ▶ Para estimar el potencial eólico de una zona se debe conocer el comportamiento de la atmósfera dentro de la región.
- ▶ Este comportamiento está en directa relación con lo que sucede en la CLP, zona donde no se pueden despreciar los efectos de la turbulencia ni la disipación viscosa.
- ▶ Se plantea **acoplar WRF a otro modelo microescala** para resolver la turbulencia en la CLP.

Estado del Arte

Marco Teórico: Variabilidad y Escalas

Fuentes de variabilidad del viento:

- ▶ Geográficas.
 - ▶ Escala Planetaria.
 - ▶ Escala Sinóptica.
 - ▶ Mesoescala.
 - ▶ Microescala.
- ▶ Temporales.
 - ▶ Inter-Anuales.
 - ▶ Anuales.
 - ▶ Diarias.
 - ▶ Microescala.

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Son las ecuaciones que describen completamente el movimiento atmosférico junto con la conservación de la masa y la energía:

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Son las ecuaciones que describen completamente el movimiento atmosférico junto con la conservación de la masa y la energía:

$$\frac{Du}{Dt} - \frac{uv \tan \phi}{a} + \frac{uw}{a} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin \phi - 2\Omega w \cos \phi + F_{rx} \quad (2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} - \frac{u^2 \tan \phi}{a} + \frac{vw}{a} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin \phi + F_{ry} \quad (3)$$

$$\frac{Dw}{Dt} - \frac{u^2 + v^2}{a} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + 2\Omega u \cos \phi + F_{rz} \quad (4)$$

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Algunas aproximaciones relevantes:

- ▶ Flujo Geostrófico.

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Algunas aproximaciones relevantes:

- ▶ Flujo Geostrófico.
- ▶ Viento Térmico.

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Algunas aproximaciones relevantes:

- ▶ Flujo Geostrófico.
- ▶ Viento Térmico.
- ▶ Flujo Barotrópico.

Estado del Arte

Marco Teórico: Ecuaciones Primitivas

Algunas aproximaciones relevantes:

- ▶ Flujo Geostrófico.
- ▶ Viento Térmico.
- ▶ Flujo Barotrópico.
- ▶ Aproximaciones de CLP.

Estado del Arte

Marco Teórico: Aproximaciones de CLP

- ▶ Porción de la atmósfera en la cual el campo de flujo se ve afectado por la superficie terrestre.
- ▶ Estabilidad en la CLP: Temperatura Potencial.

$$\theta = T \left(\frac{p_s}{p} \right)^{R/c_p} \quad (5)$$

- ▶ Tratamiento de la turbulencia.
 - ▶ Aproximación de Boussinesq.
 - ▶ Promedios de Reynolds.
 - ▶ Energía cinética turbulenta.

$$\frac{\bar{D}(\text{TKE})}{Dt} = \text{MP} + \text{BPL} + \text{TR} + \varepsilon \quad (6)$$

Estado del Arte

Marco Teórico: Aproximaciones de CLP

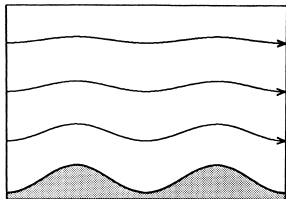
Las ecuaciones primitivas se pueden reducir considerando la estratificación y los mecanismos físicos preponderantes. Se describen las siguientes capas:

- ▶ Capa de Mezcla (Well-Mixed BL).
- ▶ K-Theory.
- ▶ Hipótesis de Longitud de Mezcla.
- ▶ Capa de Ekman.
- ▶ Capa Superficial.
- ▶ Ekman Modificado.

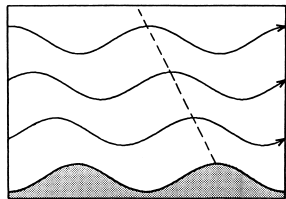
Estado del Arte

Marco Teórico: Fenómenos de la Mesoescala

Procesos naturales que afectan a la atmósfera en esta escala tales como: formación de nubes, tornados, huracanes, frontogénesis y ondas de gravedad.



(a)



(b)



Estado del Arte

Marco Teórico: Modelos Numéricos y WRF

Son modelos matemáticos computacionales que se construyen enmarcando el sistema de ecuaciones primitivo.

- ▶ Existen numerosos modelos en la actualidad.
 - ▶ Globales: GFS, NOGAPS, GEM, etc.
 - ▶ Regionales: NAM, RAMS, MM5, [WRF](#), etc.
- ▶ Estado actual de los modelos.

Propuesta de Investigación

Propuesta de Investigación

Hipótesis

Mejorar la precisión de las simulaciones atmosféricas por métodos convencionales utilizando un modelo multiescala que se encargue de resolver la turbulencia en la microescala.

Objetivos del Trabajo

Objetivos Principales:

- ▶ Acoplar el modelo WRF mesoescala con un modelo microescala que permita parametrizar, o resolver, los fenómenos turbulentos desarrollados en la capa límite planetaria en su interacción con el terreno complejo.
- ▶ Desarrollar un algoritmo computacional capaz de optimizar y mejorar los resultados obtenidos en los cálculos de turbulencia dentro de la capa límite planetaria.

Objetivos del Trabajo

Objetivos Secundarios:

- ▶ Estudiar a profundidad los fenómenos de transporte atmosférico para la evaluación del recurso viento.
- ▶ Estudiar alternativas de simulación precisa multiescala del viento sobre terreno complejo.
- ▶ Desarrollar y optimizar los códigos para modelación atmosférica multiescala.
- ▶ Verificar y validar resultados obtenidos con aquellos presentes en el estado del arte y experiencias reales.
- ▶ Entregar a la comunidad una herramienta fiel de diagnóstico de la atmósfera en su interacción con terreno complejo.

Bibliografía I



J. Manwell., J. McGowan., A. Rogers.

Wind Energy Explained. Theory, Desing and Application.

2nd Edition, 2009.



R. Holton.

An Introduction to Dynamic Meteorology.

3rd Edition, 1992.



R. Pielker.

Mesoscale Meteorological Modeling.

1984.



R. Stull.

Meteorology for Scientist and Engineers.

2nd Edition, 2000.

Bibliografía II



MMMD, NCAR.

ARW User Guide V3.

2016.



NCAR.

ARW NCAR Tech Notes.

2008.



NOAA, NCEP.

NMM User Guide V3.

2014.



NCAR

NMM NCAR Tech Notes.

2010.

Bibliografía III



American Meteorological Society.

Monthly Weather Review.



Springer.

Boundary-Layer Meteorology.



American Meteorological Society.

Journal of the Atmospheric Sciences.



Royal Meteorological Society.

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.



World Renewable Energy Network.

Renewable Energy.



Elsevier.

Computer and Fluids.



American Meteorological Society.

Journal of Applied Meteorology and Climatology.

Modelos Multiescala para Simulación de Turbulencia de la Capa Límite Planetaria en su Interacción con el Terreno Complejo

P. Cárdenas

Departamento de Ing. Mecánica
Universidad Técnica Federico Santa María

Seminario de Investigación en Ing. Mecánica, 2016