

# Informe de Avance: 04 de Septiembre 2018

**Resumen:** En este informe se presentan los avances realizados para el mes de Agosto. Se muestra la comparación del caso Høvsøre con y sin asimilación de datos y la necesidad de seguir ajustando los parámetros relacionados a la este. Con respecto a la simulación del caso Bolund, esta es muy sensible a inestabilidades y es por esto que ha tenido algunos problemas, sin embargo se muestran algunos resultados preliminares que muestran un comportamiento realista. También se detalla la metodología para la estimación del error entre los datos medidos y los experimentales, y el funcionamiento de la asimilación de datos.

## 1. Resumen Agosto

### 1.1. Detalle de actividades Agosto 2018

- Reparación del servidor de mecánica que había fallado.
- Ejecución del caso Hovsore con asimilación de datos.
- Definición de día y hora para la simulación del caso Bolund aprovechando atmósfera neutra.
- Revisión del código de Javier para la evaluación de los parámetros turbulentos.
- Ejecución del caso Bolund en el servidor de la oficina.
- Programación de subrutinas para cálculo del MAE y RMSE de los casos.
- Se ordenó la bibliografía de la tesis.

### 1.2. Trabajo Pendiente

- Caso Hovsore c/DA: Ajustar parámetros de DA hasta obtener resultados conformes.
- Caso Bolund s/DA: Esperar a que termine, posproceso.
- Caso Bolund c/DA: Obtener datos de mástiles, preproceso de datos, crear código de automatización, correr simulación, posproceso.
- Transversales: Algoritmo de computo de espectros para velocidades, redacción de tesis. papers?

## 2. Marco Teórico: Asimilación de Datos

Se busca minimizar la siguiente función de costo, que pondera los errores provenientes del modelo  $J_b$  (*background*) y de las observaciones  $J_o$ :

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(Hx - y)^T R^{-1}(Hx - y) \quad (2.1)$$

$$J(x) = J_b + J_o \quad (2.2)$$

En este problema  $x = x_a$  es el valor que a posteriori minimiza la función de costo y por lo tanto es lo mas cercano al verdadero estado de la atmósfera.

El operador de observación  $H$  se encarga de hacer una interpolación 3D de la malla numérica al espacio de observación. En el paquete de asimilación del WRF esto se hace en dos pasos, una interpolación vertical y otra horizontal. El funcionamiento exacto se desconoce porque las subrutinas que realizan esta operación no están comentadas, sin embargo existe una ponderación según distancias para los 4 puntos mas cercanos a la observación.

Teóricamente el problema variacional se soluciona minimizando el gradiente de la función de costo, es decir:

$$\nabla J(x) = B^{-1}(x - x_b) - H^T R^{-1}(y - Hx) = 0 \quad (2.3)$$

Dejando expresado el incremento como:

$$x_a - x_b = BH^T(HBH^T + R)^{-1}(y - Hx_b) \quad (2.4)$$

La ecuación anterior es fácil de entender si se identifican las matrices  $HBH^T$  que es la proyección del error del background en el espacio de observación y  $BH^T$  que es la proyección del error del background en espacio de background-observación.

En WRF, para hallar  $x_a$  se consideran los siguientes cambios de variables que disminuyen el costo computacional:

$$y'_o = y_o - H(x_b) \quad (2.5)$$

$$x' = Uv = x - x_b \quad (2.6)$$

Donde  $U$  se calcula convenientemente para que:

$$UU^T \approx B \quad (2.7)$$

$v$  es llamada la variable de control.

Notar que  $y'_o$  es el vector de innovación, i.e. la desviación entre la observación y el background.  $x'$  es el incremento de análisis.

Entonces podemos escribir el problema variacional como:

$$J(v) = \frac{1}{2}v^T v + \frac{1}{2}(y'_o - \bar{H}Uv)^T R^{-1}(y'_o - \bar{H}Uv) \quad (2.8)$$

Donde  $\bar{H}$  es el operador de observación linealizado.

En la práctica  $U$  es una aplicación recursiva de varios filtros que permiten que el proceso de asimilación sea menos costoso y que la variable de control cumpla con los balances atmosféricos.

La Ecuación 2.8 es la que se minimiza dentro del programa siguiendo el algoritmo de minimización Quasi-Newtoniano.

### 3. Metodología: Cálculo de errores

#### 3.1. Aspectos Generales

Considerando que el resultado final de las simulaciones realizadas es un archivo de texto con la serie de tiempo para los valores de  $u$ ,  $v$  y  $w$  para cada punto de interés en el dominio, es necesario definir una estimación del error entre la simulación realizada y la serie de tiempo medida en el mástil.

Se decide utilizar dos indicadores para llevar a cabo esta tarea: el MAE y el RMSE.

El MAE (*Mean Absolute Error*) entre dos variables continuas se calcula de la siguiente forma:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (3.1)$$

Es un promedio del valor absoluto de los errores.

Si graficáramos la correspondencia de los datos en un gráfico de  $x$  vs  $y$ , el MAE correspondería al valor medio de la distancia horizontal entre cada punto y la línea  $x = y$ .

El RMSE (*Root Mean Squared Error*) por otro lado se calcula como:

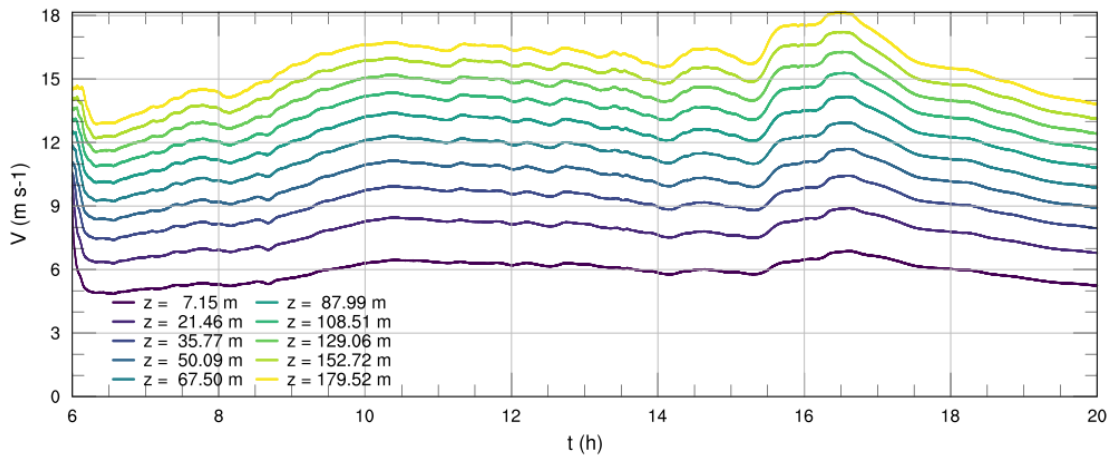
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (3.2)$$

Y corresponde a la raíz de los momentos muestrales de segundo orden de la diferencia entre los valores a comparar, en otras palabras, es un análogo al MAE pero pondera con mayor importancia los errores mas grandes. Es un promedio de los errores al cuadrado.

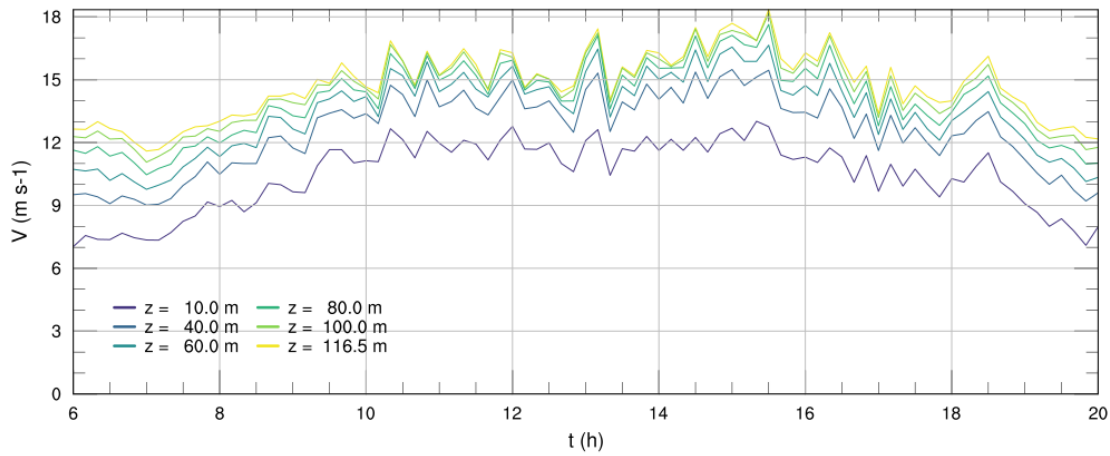
#### 3.2. Aplicación a los resultados de las simulaciones

Debido a que la información que se necesita comparar no es homogénea (i.e. los valores de la serie de tiempo no están en la misma altura  $z$  y por lo tanto no corresponden al mismo fenómeno) es necesario hacer un preprocesamiento de los datos para poder obtener el MAE y el RMSE.

Consideremos que la información que se posee es de la siguiente forma: primero, los valores para la velocidad que entrega el modelo se ubican en los puntos centrales de los elementos de la malla y esto para cada nivel vertical en la serie de tiempo (Figura 3.1) y segundo, los valores medidos vienen en la altura de donde se encontraban ubicados los instrumentos de medición en el mástil (Figura 3.2).

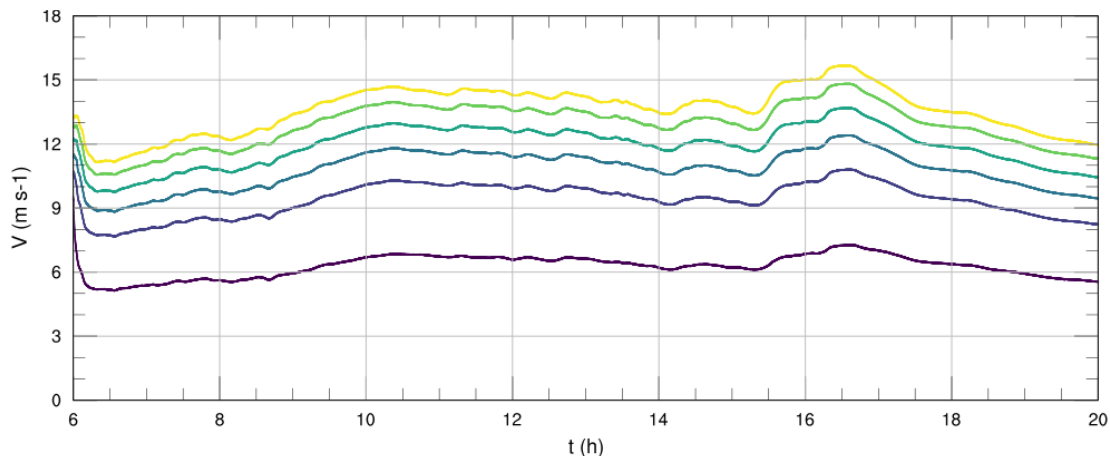


**Figura 3.1:** Serie de tiempo para la rapidez instantánea del viento  $V$  a distintos niveles verticales para la simulación numérica.



**Figura 3.2:** Serie de tiempo para la rapidez instantánea del viento  $V$  a distintos niveles verticales para la medición experimental de la campaña.

La manera que se propone para compararlos es efectuar una interpolación de los valores obtenidos en la serie de tiempo de la simulación a las alturas reales en las que están ubicados los instrumentos en el mástil meteorológico. Los resultados de esta interpolación se muestran en la Figura 3.3.



**Figura 3.3:** Serie de tiempo para la rapidez instantánea del viento  $V$  de la simulación numérica interpolados a los niveles verticales de la medición experimental.

Finalmente, estos valores corresponderían al mismo proceso físico (con cierto grado de error por interpolación) y pueden ser sometidos a un cálculo de error como el descrito en los párrafos anteriores.

## 4. Resultados

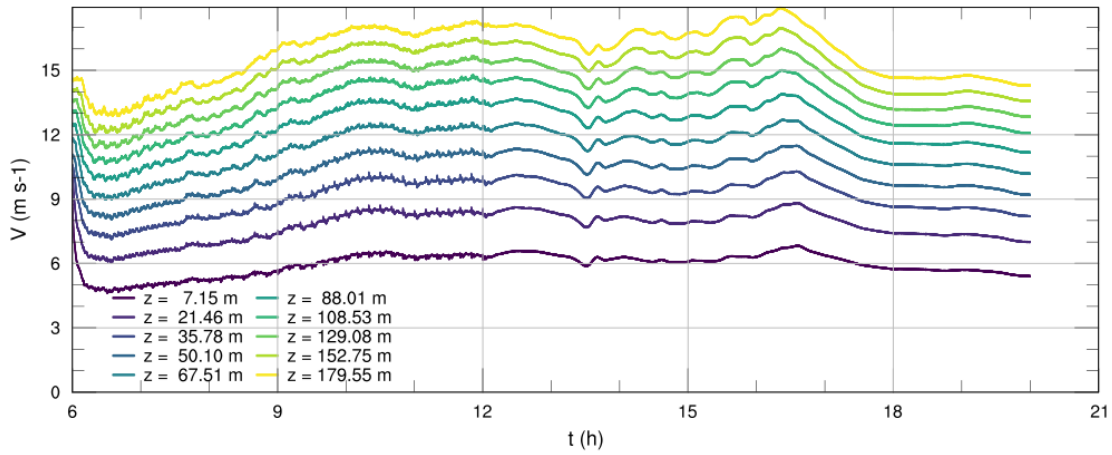
### 4.1. Caso Høvsøre

Los resultados generales de la simulación ya se han mostrado en los informes anteriores y por lo tanto se omiten en este. A continuación se muestran los resultados para el MAE y el RSME utilizando la metodología explicada en la sección anterior.

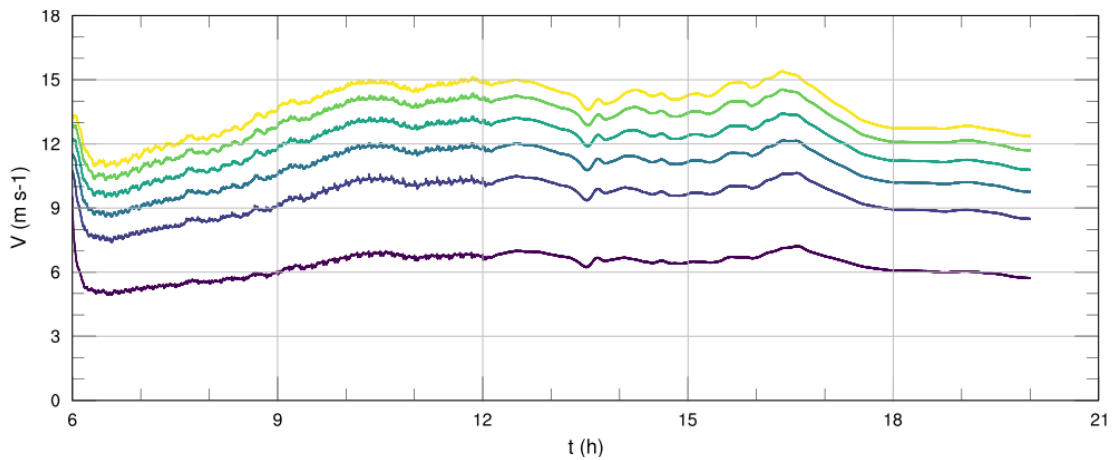
Para el experimento 1 (EXP1), es decir, la simulación normal sin asimilación de datos, se consideran los valores obtenidos en las Figuras 3.1 y 3.3, y se comparan con los valores reales mostrados en la Figura 3.2. Se obtienen los resultados de la Tabla 1.

**Tabla 1:** Estimación del error para EXP1.

Error	Valor
MAE	1,67858
RMSE	3,27682

**Figura 4.1:** Serie de tiempo para la rapidez instantánea del viento  $V$  a distintos niveles verticales para la simulación numérica con asimilación de datos.

Para el caso con asimilación de datos (EXP2) los resultados de las series de tiempo se pueden ver en la Figuras 4.1 y 4.2.

**Figura 4.2:** Serie de tiempo para la rapidez instantánea del viento  $V$  de la simulación numérica interpolados a los niveles verticales de la medición experimental

Comparando estos datos con aquellos medidos en la Figura 3.2 se obtienen los resultados de la Tabla 2.

**Tabla 2:** Estimación del error para EXP2 (Data Assimilation).

Error	Valor
MAE	1,65246
RMSE	3,16590

Se puede hablar de una mejora del 1,56 % para el MAE y un 3,38 % para el RMSE.

## 4.2. Caso Bolund

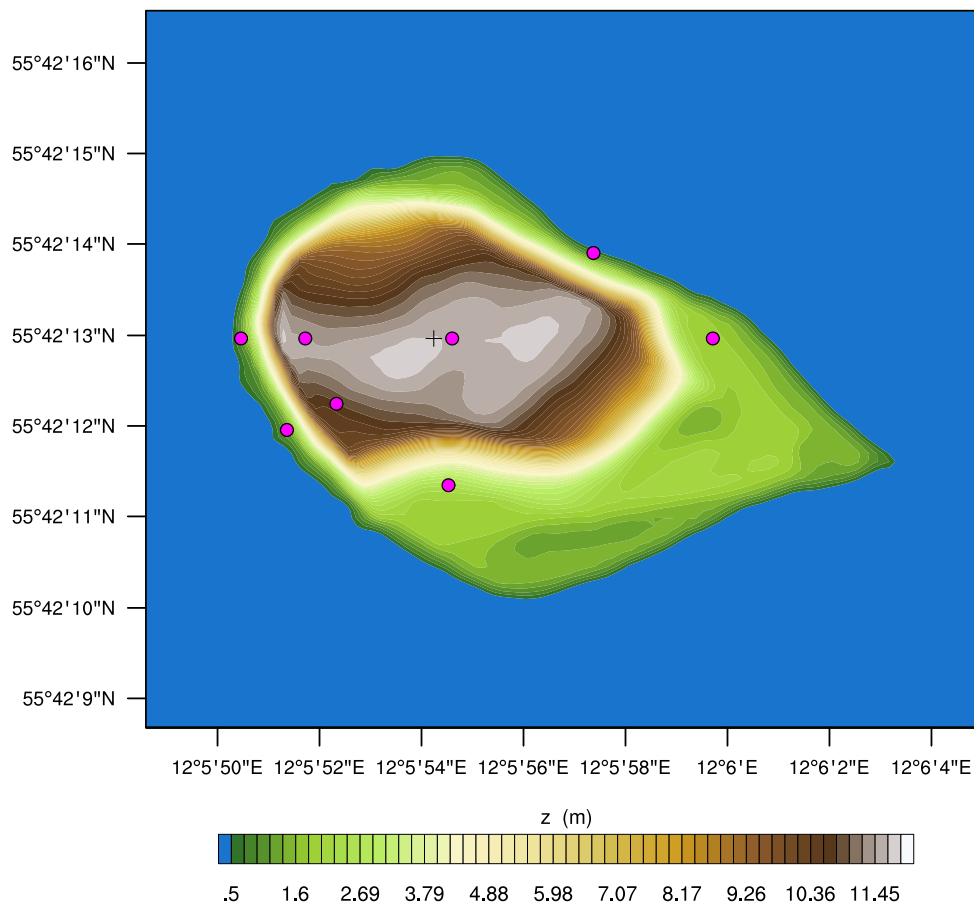
## 4.3. Aspectos generales de las simulaciones

Tomando en cuenta que la campaña de medición para el caso Bolund se llevó a cabo durante los meses de Enero y Febrero del 2008, fue necesario hallar un día en donde hubiera una estratificación atmosférica lo mas neutra posible, con el modo de tener resultados comparables con aquellos obtenidos en la literatura y simulados de manera ideal.

Convenientemente, en el informe técnico que detalla la campaña de medición, los autores presentan un gráfico para la longitud de Monin-Obukhov que permite identificar que los días 3-4 de Enero presentan una estratificación muy cercana a la neutra y por lo tanto se decide simular para esas horas.

**Tabla 3:** Dominio numerico espacial y temporal para simulación del caso Høvsøre.

Parámetro	Selección
Fecha	<b>04-01-2008</b>
Hora Inicio	<b>06:00 UTM</b>
Hora Término	<b>20:00 UTM</b>
Puntos Malla Vert.	50
$P_{top}$	10000 kPa
# Dominios	8
Lat. Centro	55.70360
Lon. Centro	12.09840



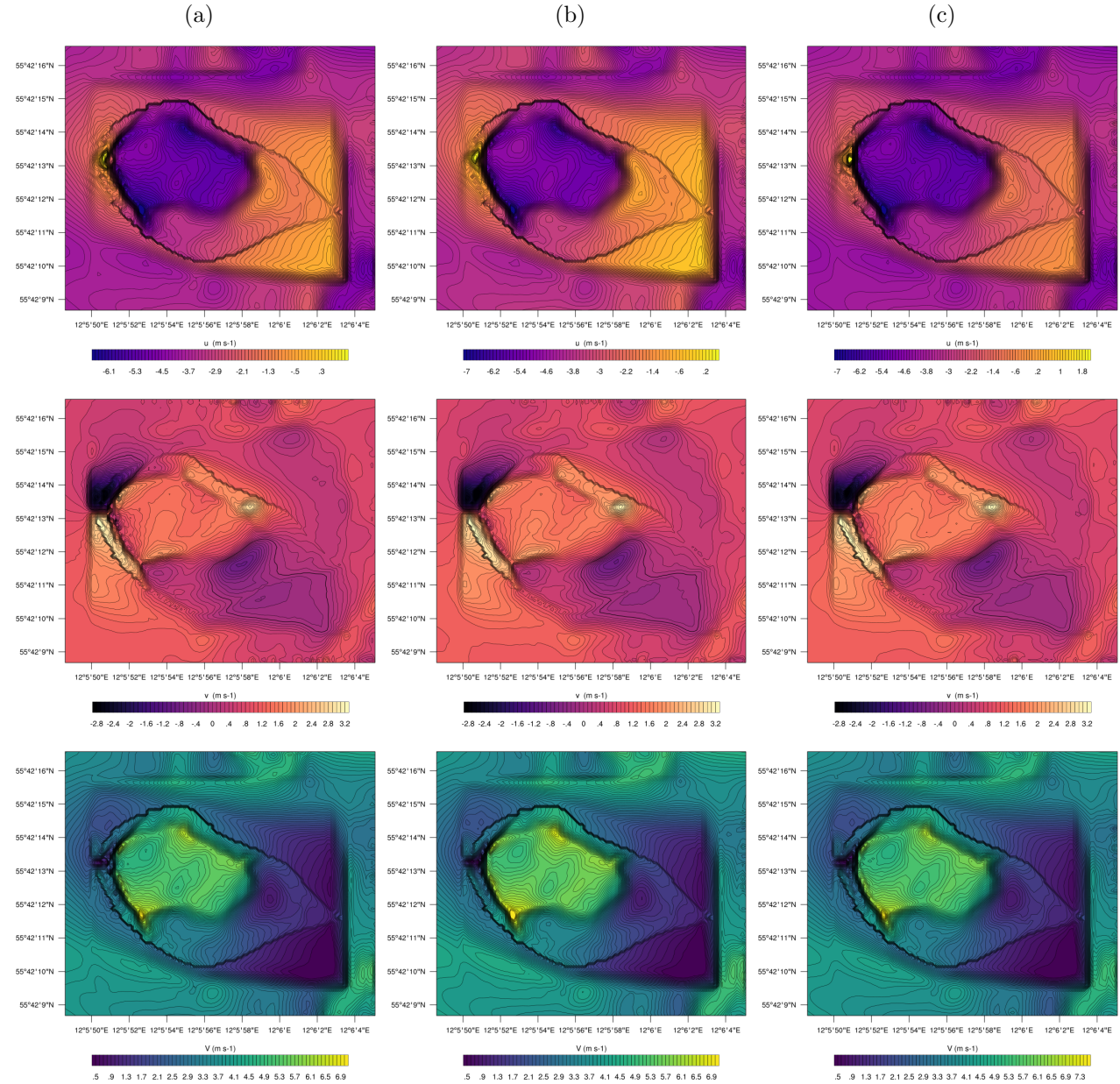
**Figura 4.3:** Ubicación espacial de los puntos de control en el dominio. En cada punto de control se ubican anemómetros que miden a las alturas de 2m, 5m, y 9m.



#### 4.4. Resultados Preliminares

Acá se presentan los resultados que se alcanzaron a rescatar de una simulación antes de que divergiera. Es relevante porque muestra el comportamiento del viento en su interacción con el terreno complejo en la malla numérica (notar zonas de alto gradiente). Se puede apreciar también el amortiguamiento en las cercanías de los bordes del dominio y evidenciar que no interfiere con los datos en los puntos de medición.

Se debe notar también que en los tiempos en donde se obtuvieron estos resultados, el modelo aún se encuentra en un estado de *spin-up*, es decir, aun no ha ocurrido el tiempo suficiente como para que la turbulencia (i.e. la escala de esta que efectivamente puede ser modelada) se haya desarrollado de forma completa.



**Figura 4.4:** Resultados preliminares para la simulación del caso Bolund. Cada fila corresponde las componentes  $u$ ,  $v$  y  $V$  de la velocidad a 10m de altura. Las columnas corresponden a los resultados para (a) 6:00 (b) 6:10 y (c) 6:20.