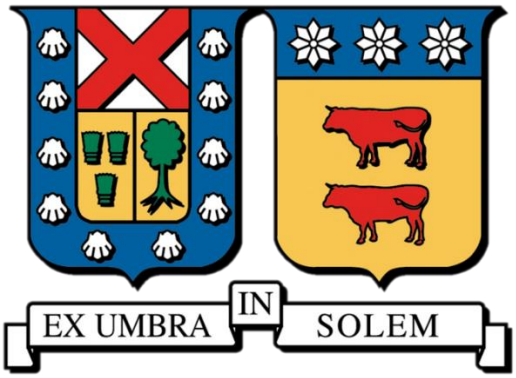
UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



SIMULACIÓN COMPUTACIÓNAL FLUJO DE AIRE EN CONDICONES DE HELADA RADIATIVA SOBRE TERRENO COMPLEJO A MESOESCALA

GABRIELA ANTONINA GAMBETTA OLIVARES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: Dr. ING. ALEX FLORES M.

PROFESOR CORREFERENTE: Mg. ING. JAIME ESPINOZA S.

ENERO-2020

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes estuvieron conmigo en este largo proceso de aprendizaje, no solo académico, sino más importante aún, de crecimiento personal. En el cual participaron fundamentalmente amigos y familia, ya que, sin ellos nada sería lo que es hoy y dejaría sin valor todo lo existente.

También agradecer a profesores y funcionarios, quienes se hayan diferenciado por un trato cercano, priorizando una formación integral como personas, que condicione y caracterice nuestro desempeño ingenieril.

Finalmente, agradecer a quienes creyeron en mí, incluso más que yo misma.

RESUMEN

Por medio de herramientas de la dinámica de fluidos computacional se realiza la simulación a mesoescala del comportamiento del flujo de aire sobre terreno complejo para un sector de la 6ta región de Chile, con el objetivo de simulación las características del fenómeno de heladas radiativas, en donde el flujo de viento se encuentra estratificado en una atmósfera estáticamente estable.

La metodología se aplica por medio del software Ansys Fluent V19.1, que resuelve las ecuaciones gobernantes que describen el comportamiento del fluido, sobre un modelo CAD 3D del volumen de control seleccionado, que incluye la superficie del cordón montañoso que condiciona fuertemente la dinámica del fluido, generado a partir de las curvas de nivel en la localidad, por medio del software Global Mapper, AutoCad e Inventor.

A partir de los registros de estaciones meteorológicas, se realizó la caracterización del fenómeno de heladas radiativas según las variables de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento para el período más crítico en el cultivo de cerezos, correspondiente al mes de agosto y septiembre entre las 05-08 a.m.

En base a las variables meteorológicas mencionadas se generaron las condiciones de bordes requeridas por el simulador: perfil de velocidad, perfil de temperatura potencial virtual y dirección del viento. Previamente a la generación de los perfiles se realiza un tratamiento de las variables por medio de la interpolación inversa ponderada por distancia, para proyectar el comportamiento de estas en la ubicación requerida según los vértices del cuadrante de simulación mesoescala, en donde no existiera coincidencia con alguna de las estación meteorológica.

La simulación se realiza en estado estacionario, considerando que el fenómeno físico se encuentra ya desarrollado y que el aire se comporta como un fluido incompresible-newtoniano, debido a los bajos gradientes de presión y temperatura en los primeros 20 m de altura, donde se concentra el mayor interés en la convergencia de la solución.

Se presentan los resultados obtenido para 2 regímenes del flujo: viscoso laminar y viscoso turbulento, este último mediante la selección del modelo SST $\kappa - \omega$ que utiliza una mezcla entre los modelos $\kappa - \varepsilon$ y $\kappa - \omega$ para obtener una solución más robusta y exacta en las regiones cercanas a la pared.
Finalmente, se comprueba que la simulación logra modelar el comportamiento dinámico y termodinámico adecuadamente según la caracterización del fenómeno físico de heladas radiativas, condicionado en exactitud en vista de las aproximaciones realizadas por la falta de mediciones apropiadas en el sitio de estudio principalmente.

ABSTRACT

Through tools of computational fluid dynamics, the mesoscale simulation of the behavior of air flow over complex terrain for a sector of the 6th region of Chile is carried out, with the objective of simulating the characteristics of the phenomenon of radiative frost, where the wind flow is stratified in a static stable atmosphere.

The methodology is applied through of Ansys Fluent V19.1 software, which solves the governing equations that describe the behavior of the fluid, on a 3D CAD model of the selected control volume, which includes the surface of the mountain range that strongly conditions the dynamics of the fluid, generated from contours in the locality, through Global Mapper, AutoCad and Inventor software.

From the measurements of meteorological stations, the characterization of the phenomenon of radiative frost was carried out according to the variables of temperature, relative humidity, wind speed and direction for the most critical period in the cherry cultivation, corresponding to the month of August and September between 05-08 am

Based on the mentioned meteorological variables, the boudary conditions required by the simulator were generated: velocity profile, virtual potential temperature profile and wind direction. Prior to the generation of the profiles, a treatment of the variables is carried out by means of the inverse interpolation weighted by distance, to project the behavior of these in the required location according to the vertices of the mesoscale simulation quadrant, where there was no coincidence with any from the meteorological station.

The simulation is carried out in a steady state, considering that the physical phenomenon is already developed and that the air behaves like an incompressible-Newtonian fluid, due to the low pressure and temperature gradients in the first 20 m of height, where it is concentrated the greatest interest in the convergence of the solution.

The results obtained for 2 flow regimes are presented: viscous laminar and viscous turbulent, the latter by selecting the SST $\kappa - \omega$ model that uses a mixture between the $\kappa - \varepsilon$ and $\kappa - \omega$ models to obtain a more robust and exact solution in the near the wall regions.

Finally, it is verified that the simulation manages to model the dynamic and thermodynamic behavior adequately according to the characterization of the physical phenomenon of radiative frosts, conditioned in accuracy in view of the approximations made by the lack of appropriate measurements at the study site mainly.

Nomenclatura

x,y,z : Coordenadas Cartesianas
T_v : Temperatura Virtual
θ : Temperatura Potencial
θ_v : Temperatura Potencial Virtual
ϕ_p : Variableϕ en el nodo p
ϕ_f : Variableϕ en la cara de la celda
ϕ_{np} : Variable ϕ en los nodos vecinos al nodo p.
ρ : Densidad
C_p : Calor Específico
λ : Longitud de onda
P_r : Evotranspiración
r_L : Tasa de mezclado de agua líquida
σ_{ij} : Tensor de esfuerzos viscosos
μ : Viscosidad Dinámica
$\vec{u}(t)$: Velocidad instantánea en x
$\vec{U}$: Valor promedio de la velocidad en x
$\vec{u'}(t)$: Componente fluctuante de la velocidad en x
u^* : Velocidad de Fricción
τ : Esfuerzo de Arrastre
C_D : Coeficiente de Arrastre
μ_t : Viscosidad Turbulenta
λ : Tasa de Decaimiento de temperatura-Difusividad
κ : Energía Cinética Turbulenta
ω : Humedad Específica - Tasa de disipación Turbulenta
ε : Tasa de disipación turbulenta
ε_0 : Emisividad Neta Aparente
β : Razón de Bowen
N_{NV} : Frecuencia de Brunt-Vaisala
R_i : Número de Richardson
R : Radiación
ML : Capa de Mezclado
SBL : Capa límite Estáticamente Estable
RL : Capa Residual
SL : Capa Superficial o de flujo Constante
FA : Atmósfera Libre
ZE : Zona de Arrastre
CI : Capa de Inversión
MSE : Error Cuadrático Medio
IDW : Interpolación Inversa Ponderada
HR : Humedad Relativa
SIS : Sumidero Selectivo Inverso
GIS : Sistema de información Geográfica

Índice

Índice de cuadros **9**

Índice de figuras **13**

1 Introducción **17**
1.1 Objetivos Generales . . . 17
1.2 Objetivos Específicos . . . 18

2 Planteamiento del Problema **19**
2.1 Identificación . . . 19
2.2 Contexto Temporal y Espacial . . . 20
2.3 Descripción y Caracterización . . . 23
2.3.1 Comportamiento Humedad Relativa . . . 24
2.3.2 Comportamiento Temperatura . . . 26
2.3.3 Comportamiento de la Velocidad y Dirección . . . 28
2.3.4 Caracterización Parámetros meteorológicos para Heladas . . . 32
2.3.5 Marco de Plantación . . . 36
2.3.6 Características del cerezo y estados Fenológicos . . . 38
2.4 Descripción Equipos . . . 39
2.4.1 Funcionamiento de Máquinas de viento en Viveros Copequen . 40
2.5 Efectos Síntomas . . . 40
2.5.1 Efectos productivos por Heladas . . . 41
2.5.2 Efectos en la Producción de Cerezas . . . 42

3 Estado del Arte **44**
3.1 Tecnologías . . . 44
3.1.1 Ventilación Forzada Horizontal . . . 45
3.1.2 Ventilación Vertical . . . 47
3.1.3 Ventilación Aérea . . . 48
3.2 Parámetros de operacionales, de funcionamiento y Control . . . 49
3.2.1 Operacionales y de Funcionamiento . . . 49
3.2.2 Control . . . 50
3.3 Estudios Realizados . . . 52
3.3.1 Estudios Generales . . . 52
3.3.2 Modificación microclimática bajo los efectos de máquinas de viento estacionaria y portátil 2018 . . . 54

4 Marco Teórico **60**
4.1 Caracterización Termodinámica de la Atmósfera . . . 60
4.1.1 Balance Energético . . . 66
4.1.2 Fenómeno de la Helada . . . 68
4.1.3 Clasificación de las Heladas . . . 68

4.1.4 Balance de Energía en una helada . . . 69
4.1.5 Factores relevantes en la intensidad de una Helada . . . 70
4.2 Ecuaciones Gobernantes . . . 72
4.2.1 Ecuación de Continuidad . . . 72
4.2.2 Ecuación de Momentum . . . 72
4.2.3 Ecuación de Energía . . . 75
4.3 Caracterización Espacial-Temporal . . . 75
4.4 Características de la capa límite atmosférica . . . 75
4.4.1 Estabilidad estática de la Capa Límite Atmosférica . . . 75
4.4.2 Estabilidad Dinámica - Número de Richardson . . . 77
4.4.3 Determinación de la turbulencia o laminaridad . . . 78
4.5 Estructura según Estabilidad . . . 79
4.5.1 Perfil de Viento . . . 79
4.5.2 Perfil de Temperatura . . . 82

5 Metodología 86
5.1 Cuadrantes de Simulación . . . 86
5.1.1 Cuadrante de Modelación de Mesoescala . . . 86
5.1.2 Cuadrante de simulación Local . . . 88
5.2 Análisis Espacial . . . 89
5.2.1 Interpolación inversa ponderada por distancia: Humedad Relativa, Temperatura y Velocidad . . . 89
5.2.2 Interpolación inversa ponderada por distancia y frecuencia: Dirección del viento . . . 96
5.2.3 Resultados Interpolación . . . 99
5.3 Metodología de Simulación . . . 102
5.3.1 Discretización de la ecuación general de transporte . . . 103
5.3.2 Discretización ecuaciones de Momentum y continuidad . . . 104
5.3.3 Geometría . . . 109
5.3.4 Mallado . . . 111
5.3.5 Set Up: Modelos, Materiales y Condiciones de Borde Mesoescala 115
5.3.6 Solución . . . 129
5.3.7 Controls . . . 129

6 Resultados 131
6.1 Escenarios . . . 131
6.2 Validación de resultados . . . 134
6.3 Comparación de Resultados Agosto Modelo Viscoso-Laminar y Viscoso-Turbulento . . . 136
6.3.1 Análisis Termodinámico . . . 137
6.3.2 Análisis Dinámico . . . 142

7 Conclusión 153

Bibliografía **157**

Anexos **160**

A Valores Humedad Relativa en vértices V1-V2 por IDW **160**

B Valores Temperatura en vértices V1-V2 por IDW **161**

C Valores Módulo Velocidad en vértices V1-V2 por IDW **162**

D Valores Dirección del Viento en vértices V1-V2 por IDW **163**

E Resultados cuadrante microescala Plano 1 **165**

F Resultados cuadrante microescala Plano 2 **173**

G Resultados cuadrante microescala Plano 3 **181**

H Resultados cuadrante microescala Plano 4 **189**

Índice de cuadros

Tabla 1 Resumen Comportamiento Humedad Relativa Estaciones Meteorológicas . . . 25
Tabla 2 Resumen Temperaturas Estaciones Meteorológicas . . . 27
Tabla 3 Resumen Velocidad Estaciones Meteorológicas . . . 29
Tabla 4 Variables Promedio Horario 05:00-08:00 mes de Agosto . . . 32
Tabla 5 Variables Promedio Horario 05:00-08:00 mes de Septiembre . . . 32
Tabla 6 Resumen dirección predominante del viento por localidad . . . 35
Tabla 7 Estados Fenológicos Por tipo de Variedad . . . 38
Tabla 8 coeficiente s . . . 73
Tabla 9 Data utilizada para IDW de HR, Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo. . . . 90
Tabla 10 Data utilizada para IDW de Temperatura, Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo. . . . 92
Tabla 11 Data utilizada para IDW de Módulo Velocidad-Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo. . . . 93
Tabla 12 Velocidad promedio por localidad/mes utilizada para IDW . . . 93
Tabla 13 Data utilizada para IDW de Módulo Velocidad,Coeficiente Ponderación y MSE Mínimo. . . . 95
Tabla 14 Primera Subdivisión de identificación de la variable Dirección del viento . . . 96
Tabla 15 Segunda Subdivisión de identificación Dirección del Viento predominante . . . 96
Tabla 16 Valor asignado a variable dirección del viento predominante. . . . 97
Tabla 17 Data utilizada para IDW de Dirección del Viento-Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo. . . . 98
Tabla 18 Data utilizada para la IDW de mínimo MSE y coeficiente de ponderación asociado. . . . 99
Tabla 19 Caracterización HR evento Helada . . . 100
Tabla 20 Caracterización Temperatura evento Helada . . . 100
Tabla 21 Caracterización MV evento Helada . . . 101
Tabla 22 Caracterización DV evento Helada . . . 101
Tabla 23 Distanciamiento entre capas desde la superficie . . . 114
Tabla 24 Resumen condiciones de borde vértices cuadrante de modelación mesoescala. . . . 121
Tabla 25 Condiciones de borde Temperatura Simulación Mesoescala . . . 126
Tabla 26 Condiciones de borde Perfil de Velocidad Simulación Mesoescala 127
Tabla 27 Condiciones de borde Dirección del Viento . . . 127
Tabla 28 Temperatura ingresada condición **Wall** . . . 127
Tabla 29 CB Preestablecidas Agosto-Septiembre simulación Mesoescala . 128
Tabla 30 Condiciones de Borde caso 1 . . . 131
Tabla 31 Valores finales Residuales C.B Velocity Inlet . . . 131

Tabla 32 Condiciones de Borde Caso 2 132
Tabla 33 Valores finales Residuales C.B Pressure Outlet 132
Tabla 34 Condiciones de Borde 132
Tabla 35 Valores finales Residuales C.B Outflow 133
Tabla 36 Valores finales Residuales C.B Outflow 133
Tabla 37 Valores promedio variables meteorológicas registrados en la localidad de Copequen entre las 05-08 A.M 134
Tabla 38 Error % Temperatura y Velocidad 135
Tabla 39 Frecuencias relativa dirección del viento Copequen Agosto horario 05-08 Am 135
Tabla 40 Frecuencia relativa dirección del viento Copequen Septiembre horario 05-08 A.M 135
Tabla 41 Desglose dirección predominante Copequen Agosto 135
Tabla 42 Desglose dirección predominante Copequen Septiembre 136
Tabla 43 Condiciones de Borde 136
Tabla 44 Resultados Temperatura Potencial Virtual Superficie [°C] 137
Tabla 45 Resultados Temperatura potencial Virtual z=1.5[m] [°C] 139
Tabla 46 Resultados Temperatura Potencial Virtual v/s altura 140
Tabla 47 Resumen Valores Velocidad cuadrante Meso y Microescala [m/s] 146
Tabla 48 Resumen Dirección velocidad Contornos V.C microescala 2 m Modelo Laminar 150
Tabla 49 Resumen Dirección velocidad Contornos V.C microescala 2 m Modelo Turbulento 150
Tabla 50 Resultados Velocidad según altura cuadrante Meso y Microescala [m/s] 152
Tabla 51 Valores Humedad Relativa obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V1** 160
Tabla 52 Valores Humedad Relativa obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2** 160
Tabla 53 Valores Temperatura obtenidos por IDW y según promedio-**Vértice V1** 161
Tabla 54 Valores Datos Temperatura obtenidos por IDW y según promedio Vértice V2 161
Tabla 55 Valores Modulo Velocidad (MV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V1** 162
Tabla 56 Valores Modulo Velocidad (MV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2** 162
Tabla 57 Valores Dirección del viento (DV) obtenidos por IDW y según promedio **Vértice V1** 163
Tabla 58 Valores Dirección del viento (DV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2** 163
Tabla 59 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Laminar - Variedad Santina 165

Tabla 60 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Santina 166
Tabla 61 Resultados P1 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina 167
Tabla 62 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina 168
Tabla 63 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena 169
Tabla 64 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Skeena 170
Tabla 65 Resultados P1 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena 171
Tabla 66 Resultados P1 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena 172
Tabla 67 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina 173
Tabla 68 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Santina 174
Tabla 69 Resultados P2 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina 175
Tabla 70 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina 176
Tabla 71 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena 177
Tabla 72 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Skeena 178
Tabla 73 Resultados P2 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena 179
Tabla 74 Resultados P2 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena 180
Tabla 75 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina 181
Tabla 76 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Santina 182
Tabla 77 Resultados P3 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina 183
Tabla 78 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina 184
Tabla 79 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena 185
Tabla 80 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Skeena 186

Tabla 81 Resultados P3 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena 187
Tabla 82 Resultados P3 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena 188
Tabla 83 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina 189
Tabla 84 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Santina 190
Tabla 85 Resultados P4 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina 191
Tabla 86 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina 192
Tabla 87 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena 193
Tabla 88 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento-Skeena 194
Tabla 89 Resultados P4 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena 195
Tabla 90 Resultados P4 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena 196

Índice de figuras

Figura 1 Evolución diaria de las heladas entre Coquimbo y El Maule, mes de Agosto (superior) y septiembre(inferior) 2017 y 2018[6][7] . . . 21
Figura 2 Localidades 6ta Región 21
Figura 3 Acumulación de horas de frío localidades entre Coquimbo y Los Lagos para el período mayo-agosto 2016,2017,2018 22
Figura 4 Graneros-Coinco-San Fernando 22
Figura 5 Ubicación Estaciones Meteorológicas 23
Figura 6 Comportamiento Humedad Relativa para Requinoa, Quinta de Tilcoco, Las petacas (El olivar) y Copequen, período Agosto-Septiembre 2017/2018 24
Figura 7 Comportamiento Temperatura para Requinoa, Quinta de Tilcoco y Las Petacas (El Olivar), período Agosto-Septiembre 2017/2018 . 26
Figura 8 Comportamiento Velocidad para Requinoa, Quinta de Tilcoco, Las petacas (El olivar) y Copequen, período Agosto-Septiembre 2017/2018 28
Figura 9 Dirección del viento Requinoa 30
Figura 10 Dirección del viento Quinta de Tilcoco 30
Figura 11 Dirección del viento El Olivar, estación meteorológica Las Petacas 31
Figura 12 Dirección del viento Estación meteorológica Copequen 31
Figura 13 Dirección del viento Quinta de Tilcoco periodo 00:00-08:00 . . 33
Figura 14 Dirección del viento Requinoa período 00:00-08:00 34
Figura 15 Dirección del viento El olivar período 00:00-08:00 34
Figura 16 Dirección del Viento Copequen Periodo [00-08] hrs 35
Figura 17 Área A de producción Campo Viveros Copequen 36
Figura 18 Hileras árboles de cerezo 37
Figura 19 Volumen ocupado por el follaje entre hileras. Rojo: tronco de los árboles. Verde: Volumen ocupado por los árboles del total disponible entre hileras. Azul: espacio libre entre hileras. 37
Figura 20 Etapas Fenológicas Cerezo 38
Figura 21 Características Máquinas de Viento [41] 39
Figura 22 Características Máquinas de viento [41] 39
Figura 23 Características calefactor central [41] 39
Figura 24 Maquina de viento Orchard-Rite ubicada en sector A del campo Viveros Copequen 40
Figura 25 Campo Viveros Copequen 43
Figura 26 Oferta Comparativa protección Riego-Calefactores[2] 45
Figura 27 Izquierda: Máquina de viento Fija - Derecha: Máquina de viento Portátil 46
Figura 28 Tabla comparativa Máquinas de viento Horizontal [2] 47
Figura 29 Diagrama de funcionamiento SIS[8] 47

Figura 30 Diagrama Ventilación Aérea [8] 48
Figura 31 Oferta sistemas de Control[2] 51
Figura 32 Valores obtenidos por [9] evento 05/04/2000 Radiación neta(círculo), flujo de calor de la superficie (cuadrado), Inversión térmica(triángulo) 53
Figura 33 Perfil de temperatura medido a 30 m de la máquina de viento antes de la operación (círculo), 1 min (rombo),3 min (cuadrado) , 5 min (triángulo) evento 26/03/2000 y 28/03/2000 [9] 53
Figura 34 Promedio del perfil de inversión térmica para la media hora más fría en la torre de control con funcionamiento de las máquinas en ocurrencia de evento de Helada. 55
Figura 35 Evento 7/07/17, Dirección natural del viento NE, tiempo de rotación: 4'28"PM - 4'30"SM. Cada punto corresponde al promedio de 3 mediciones.[14] 57
Figura 36 Área de protección en relación al incremento de temperatura . 57
Figura 37 Variación vertical de la temperatura en operación de las máquinas de viento y diferentes períodos de giro 58
Figura 38 Balance de energía de una superficie durante una helada radiactiva, antes del alba sin condensación [10] 70
Figura 39 Balance de energía de una superficie durante una helada radiactiva, antes del alba considerando condensación [10] 70
Figura 40 Variación de la temperatura virtual y el potencial de temperatura por el ascenso (descenso) de una parcela de aire.[19] 77
Figura 41 Componentes de la Capa límite atmosférica durante condiciones de buen tiempo en verano. En blanco aire estáticamente inestable, en gris neutro y en negro la estabilidad estática fuerte. [19] 79
Figura 42 Curva idealizada del flujo de calor, el área sombreada hasta t_1 representa el flujo de calor acumulado hasta dicho tiempo y el área más oscura, el enfriamiento total acumulado durante la noche. [19] 82
Figura 43 Evolución diaria de la capa límite atmosférica en verano con clima favorable. [19] 83
Figura 44 Evolución diaria de la capa límite atmosférica en invierno en condiciones climáticas favorables. [19] 83
Figura 45 Perfil del potencial de temperatura idealizado en capa límite estable. [19] 85
Figura 46 Ubicación Estaciones Meteorológicas 86
Figura 47 Ubicación Geográfica Cuadrante Nivel Mesoescala y dimensiones en [m] 87
Figura 48 Curvas de nivel y área predominante Cordón Montañoso 87
Figura 49 superficie Volumen de Control Mesoescala 88
Figura 50 curvas de nivel y altura predominante en el Cordón montañoso 88
Figura 51 Comportamiento MSE y Humedad Relativa Agosto y Septiembre IDW mesoescala 91

Figura 52 Comportamiento MSE y Temperatura Agosto y Septiembre IDW Mesoescala 92
Figura 53 Comportamiento MSE y Módulo Velocidad Agosto y Septiembre IDW mesoescala 93
Figura 54 Proyección datos registrados módulo velocidad del viento por localidad/mes y su valor promedio asociado. 94
Figura 55 Comportamiento MSE y Módulo Velocidad Agosto y Septiembre IDW mesoescala 98
Figura 56 Valores proyectados Humedad Relativa según IDW Agosto-Septiembre 100
Figura 57 Valores proyectados Temperatura según IDW Agosto-Septiembre 100
Figura 58 Valores proyectados Modulo de Velocidad según IDW Agosto-Septiembre 101
Figura 59 Valores proyectados Dirección del viento según IDW Agosto-Septiembre 101
Figura 60 VC ilustración discretización Ec. Gral. Transporte 103
Figura 61 Geometría. Superior: vista frontal y posterior. Inferior: vista posterior rotada. 110
Figura 62 Named Selection 111
Figura 63 Mallado General Volumen de Control 112
Figura 64 Zoom Mallado general sector Cordón montañoso 112
Figura 65 Mallado hexaédrico 113
Figura 66 Zoom Contorno superficie Cordón montañoso 113
Figura 67 Zoom refinamiento vertical del mallado 114
Figura 68 Aspect Ratio 114
Figura 69 Skewness 114
Figura 70 Orthogonal Quality 115
Figura 71 Parámetros generales del Set-Up 115
Figura 72 Modelos simulación Mesoescala 116
Figura 73 Tratamiento de condiciones de pared en Ansys 118
Figura 74 Modelos simulación microescala 119
Figura 75 Propiedades Aire 119
Figura 76 Conductividad térmica de rocas corticales en función de la temperatura (Whittington et al., 2009) [29] 120
Figura 77 Propiedades Cordón Montañoso 120
Figura 78 Propiedades Suelo 121
Figura 79 Perfil de temperatura obtenido en [14] durante la media hora mas fría en lo eventos de Heladas Radiativas. 122
Figura 80 Comportamiento del error para diferentes valores de He y de la temperatura registrada en graneros v/s aproximación del balance energético. 124
Figura 81 Ciclo diario promedio de temperatura para distintos niveles obtenidos desde la Torre La Platina y el perfilador para el período 1999.[27] 125

Figura 82 Methods simulación Mesoescala escenario Laminar 129
Figura 83 Methods simulación Mesoescala escenario Turbulento 129
Figura 84 Controls simulación Mesoescala escenario Laminar 129
Figura 85 Controls simulación Mesoescala escenario Turbulento 130
Figura 86 Comportamiento residuales asociados a C.B Velocity Inlet . . . 131
Figura 87 Comportamiento residuales asociados a C.B Pressure outlet . . 132
Figura 88 Comportamiento residuales asociados a C.B Outflow 133
Figura 89 Residuales Modelo turbulento 133
Figura 90 Ubicación Estación meteorológica con respecto al cuadrante de modelación microescala 134
Figura 91 Distribución de Temperatura Potencial Virtual superficie V.C Mesoescala 138
Figura 92 Distribución de Temperatura cuadrante Mesoescala z=15.m . . 139
Figura 93 Distribución de Temperatura según altura cuadrante de modelación Mesoescala 141
Figura 94 Presión Superficie Cuadrante de Modelación Mesoescala . . . 142
Figura 95 Campo de velocidad Plano paralelo eje X medio V.C 144
Figura 96 Campo velocidad Plano paralelo eje Y medio V.C 145
Figura 97 Campo de presión y velocidad 2 m meso y microescala 147
Figura 98 Zoom campo de Velocidad 2m 148
Figura 99 Campo de vectores velocidad 2m 149
Figura 100 Dirección Velocidad Cuadrante Microescala 2 m 150
Figura 101 Campo de presión para diferentes alturas cuadrante modelación mesoescala 151
Figura 102 Magnitud velocidad para diferentes alturas cuadrante modelación mesoescala 152
Figura 103 Planos delimitación Cuadrante Microescala. 164
Figura 104 Representación ejes coordenados utilizados para la generación de resultados. 164

1. Introducción

La Fundación para el Desarrollo Frutícola (FDF) tiene por finalidad realizar proyectos de investigación y desarrollo, aportando servicios y asesoría a la industria agrícola, en las líneas de fruticultura, entomología-cuarentenaria, Redclima, desarrollo y servicios [40]. En relación a lo anterior, es que presenta el escenario que viven los agricultores con respecto al fenómeno de las heladas y la problemática asociada a estas en la producción agricola, la que será tratada en la presente investigación y las posteriormente desarrolladas para dar una solución integral en los diversos aspectos que requiere, producto de la complejidad del fenómeno estudiado.
Para prevenir el efecto de las heladas sobre los cultivos, los agricultores comenzaron a realizar inversiones en torres anti-heladas, a pesar de que no se cuenta con estudios que certifiquen las recomendaciones que los fabricantes entregan sobre su efectividad en la protección de los cultivos, debido a las diversas condiciones que se prestan según la variedad de estos. En relación a lo anterior, la distribución de los equipos se realiza según estas recomendaciones, sin considerar la variabilidad que puedan tener las condiciones de operación de las torres según el marco de plantación en el cual son instaladas, en conjunto con las condiciones ambientales presentes propias de cada localidad. Sin embargo, hay quienes manifiestan satisfacción con el efecto de estos equipos en sus cultivos y otros que muy por el contrario desconocen el porqué de la ineficiencia de estas.

1.1. Objetivos Generales

Considerando la relevancia de la agricultura en la economía nacional y el efecto del cambio climático en este subsector, es necesario brindar soluciones técnicas y económicamente factibles para la prevención de las heladas. Convencionalmente, se utilizan los molinos de ventilación calefaccionada (e.g. Technipak) que operan con los parámetros generales definidos por los fabricantes, pero que no logran el efecto de difusión térmica requerido sobre los tipos de cultivos y condiciones topográficas particularmente en la zona central de Chile, profundizando así el efecto negativo de las heladas.

El presente trabajo tiene como objetivo general desarrollar una metodología que permita reproducir las características físicas del fenómeno de heladas mediante la simulación mesoescala sobre terreno complejo en una subzona de la 6ta Región de Chile, que contenga a la localidad Copequen, específicamente al Campo Viveros de Copequen, donde se encuentran 4 máquinas de ventilación, número que se esperá, incrementará a 12, dando origen establecer la disposición óptima de estos equipos según las características propias del cultivo de cerezos.

1.2. Objetivos Específicos

- Estudiar la problemática e impacto de las heladas en la producción agroindustrial, y la tecnología utilizada para su control.
- Analizar los eventos y consecuencias particulares de heladas en Copequen
- Investigar el marco de plantación del cultivo para la simulación de este fenómeno.
- Simular numéricamente el flujo del viento estratificado correspondiente al fenómeno físico de heladas en cuadrante de modelación mesoescala.
- Generar condiciones de borde de las variables meteorológicas de interés para el cuadrante de modelación mesoescala.
- Obtener las condiciones de borde de las variables meteorológicas de interés en el cuadrante de modelación microescala, que contiene parte del Campo Viveros Copequen.
- Comparar los resultados con las mediciones experimentales.

2. Planteamiento del Problema

2.1. Identificación

Se plantea establecer una metodología que permita considerar las características de la helada radiativa en la localidad de Copequen en la 6ta Región de Chile y que permita su simulación por medio de Ansys Fluent, en relación a la distribución de temperatura, altura y duración que la helada presente. Lo anterior con objeto de generar las condiciones meteorológicas a las cuales se ve sometido el cultivo de cerezo en el campo Viveros de Copequen, según: ubicación geográfica, condiciones ambientales, marco de plantación, follaje, altura, entre otras por establecer.

Existen varias condiciones críticas en relación a las características de la helada radiativa: cuando la máquina de ventilación tiene una altura inferior a la capa de inversión térmica propia de las heladas radiativa, en cuyo caso se inyecta aire frío a los cultivos, al cambiar la altura de inversión de la helada, puesto que provoca una variabilidad del caudal de aire frío ubicado sobre el cultivo y el efecto del ventilador de la torre sobre este. En cuanto al funcionamiento del equipo, si es programado se presentan problemas en relación a un mayor consumo de combustible por reiteradas partidas, al lograr la temperatura de detención, seguidamente del descenso de la temperatura a la establecida para el encendido. Además, se identifican sectores en los cuales la presencia de torres evita el enfriamiento del cultivo y en otros no logra un incremento de la temperatura, debido a la dinámica del flujo de aire con respecto al marco de plantación del cultivo, las dimensiones de la máquina de viento y su frecuencia de giro para cubrir el área de cultivo.
No solo las características propias de las heladas radiativas y los parámetros operacionales y de funcionamiento afectan la eficiencia de las máquinas de viento en la protección de los cultivos, sino también, las condiciones meteorológicas propias del sitio geográfico. Principalmente la dirección y la magnitud del viento juegan un rol fundamental en el desempeño de dichos equipos.

2.2. Contexto Temporal y Espacial

La ocurrencia de las heladas se espera en el período de invierno y primavera, siendo más crítico para el cerezo aquellas ocurridas en agosto y septiembre, que tendrán diferentes efectos según su duración, grados y la altura de inversión térmica y el estado fenológico en que se encuentre el cultivo.

Entendiendo una helada como la ocurrencia de temperatura igual o inferior a 0° C por un periodo de tiempo determinado en las cercanías de la superficie, que produce un efecto intracelular en los cultivos, provocando congelación, deshidratación, ruptura, entre otros efectos, impidiendo que yemas y flores se transformen en frutos, y en el caso de una helada primaveral o tardía, estos últimos se dañan en su formación y crecimiento [5].

A partir de la información del boletín agroclimático correspondiente a agosto y septiembre para los años 2017 y 2018, no se puede ver un patrón con respecto a la ocurrencia o el tipo de heladas, superficiales o meteorológicas (a 1.5 m de la superficie), con mayor presencia de estas últimas el año 2018, específicamente en agosto donde abarcaron gran parte de las regiones comprendidas entre Coquimbo y Los Lagos. Se puede establecer que la ocurrencia de heladas meteorológicas mayoritariamente en la zona centro-sur (exceptuando agosto 2018).

De las zonas registradas cercanas a Coinco (provincia a la cual pertenece Copequen-5km) se encuentran Rancagua, Santa Cruz, San Fernando ubicados a 21,53, 35 km específicamente. En agosto del 2017 ocurrieron 11 y 5 heladas radiativas en Rancagua y el 2018 se registraron 9 y 5 en Santa cruz y San Fernando pero con la presencia de 5 y 7 eventos de heladas meteorológicas respectivamente. En septiembre del 2017 ocurrieron 7 y 5 heladas radiativas en Rancagua y el 2018 se registraron 5 y 1 en Santa Cruz y San Fernando sin la presencia de heladas meteorológicas.

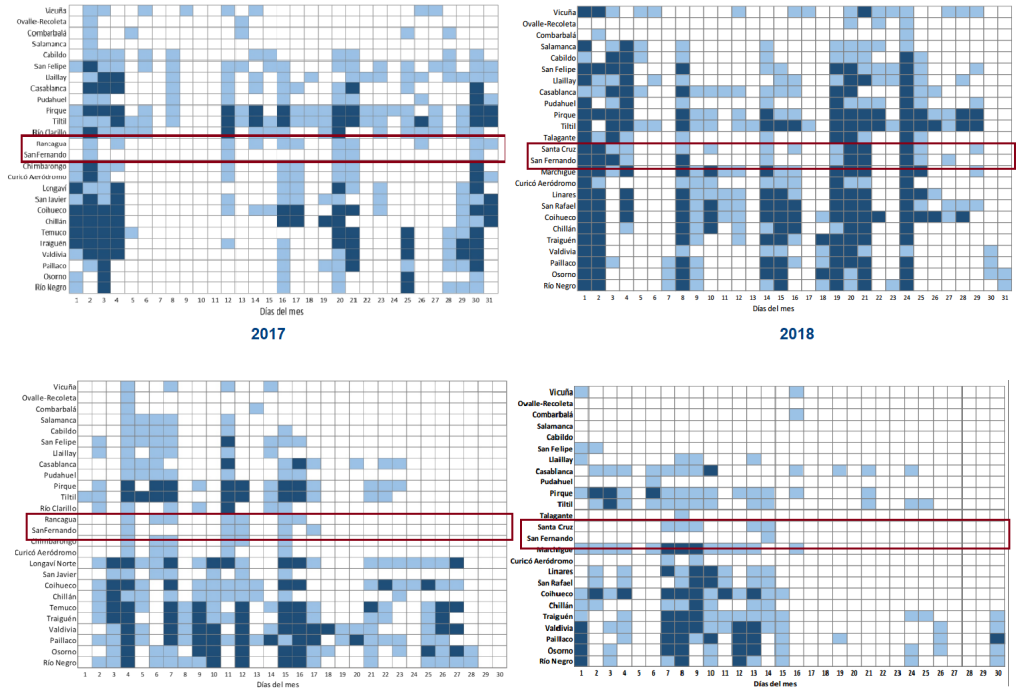


Figura 1: Evolución diaria de las heladas entre Coquimbo y El Maule, mes de Agosto (superior) y septiembre(inferior) 2017 y 2018[6][7]



Figura 2: Localidades 6ta Región

Las horas frío contabilizan el número de horas en que la temperatura es igual o inferior a $7°C$, estas determinan la iniciación de la floración de árboles frutales de hoja caduca (como el cerezo). Con suficientes horas de frío las yemas postergan la brotación y producción de frutos al inicio de la primavera, de lo contrario se genera retraso de la apertura de las yemas y por tanto de la maduración de los frutos, caída de yemas, floración irregular y anormalmente larga, aborto de flores y frutos, entre otros, disminuyendo calidad y cantidad de la producción.[5] Se presentan las horas frío acumuladas durante el período de mayo-agosto para los años 2016,2017 y 2018 y el déficit o superávit para este último en las localidades de Graneros y San Fernando entre los cuales se encuentra Copequen, a 29 km y 35 km respectivamente.

Horas de frío				
Localidad	mayo-agosto 2018 (horas)	mayo-agosto 2017 (horas)	mayo-agosto 2016 (horas)	Déficit o Superávit * 2018 (%)
Graneros	**935,4**	1025,1	835,8	**-12**
San Fernando	**1114,2**	1024,9	917,9	**4**

Figura 3: Acumulación de horas de frío localidades entre Coquimbo y Los Lagos para el período mayo-agosto 2016,2017,2018

Los grados-día se obtienen calculando un promedio de la temperatura diaria, que incluye la temperatura entre las 08 y 20 hrs y sus valores máximos y mínimos, al resultado se resta la temperatura base, para este caso 5 y 10 °C, siendo esta última la temperatura base para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos, que establece que cualquier temperatura mayor se asimile como calor por los cultivos [5]. La suma de los residuos diarios perite obtener la acumulación térmica para un período de interés, en este caso septiembre de los años 2016,2017 y 2018.



Figura 4: Graneros-Coinco-San Fernando

2.3. Descripción y Caracterización

El lugar de estudio corresponde a Copequen, ubicado en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins en la provincia de Cachapoal y perteneciente a la provincia de Coinco.De la información registrada por la estación meteorológica de Copequen y de las estaciones de Agroclima, Las Petacas (El olivar), Requinoa y Quinta Del Tilcoco se tienen los registros para distintas variables relevantes: humedad relativa, temperatura del aire, velocidad y dirección del viento. Dichas estaciones se encuentran a 4, 10.6 y 12.7 km de Copequen respectivamente.
Los datos de las estaciones meteorológicas de Agroclima entregan registros cada 15 minutos desde las 00:00-23:45 hrs, para cada día durante los meses de agosto y septiembre del período 2017 y 2018, lo que hace un total de 5856 datos. Por otra parte, los registros de Copequen se registran cada 1 hora durante 2017 y 2018.

La elaboración de gráficos se realizó a partir del promedio horario de las variables, es decir, se obtuvo un promedio mensual para un mismo horario, que, por lo tanto, no entregan valores máximos o mínimos, sino más bien el comportamiento de las variables durante un día característico del mes correspondiente.
Se realiza un análisis diferenciado para la estación meteorológica de Copequen, debido a que frecuencia de registro difiere de las estaciones restantes. Se presentan tablas con los valores máximos, mínimos y desviación estándar para las variables según mes/año para cada localidad.

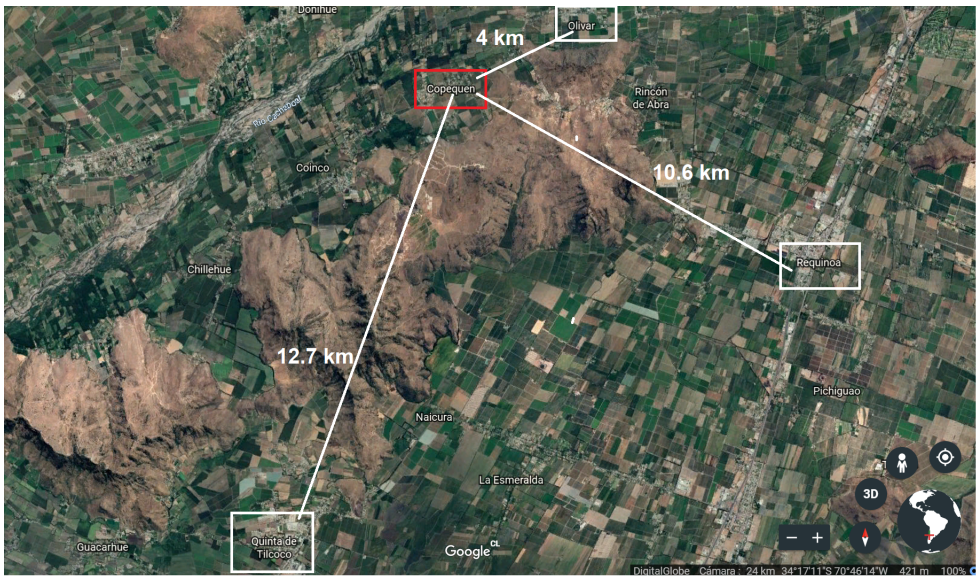


Figura 5: Ubicación Estaciones Meteorológicas

2.3.1. Comportamiento Humedad Relativa

Durante el 2017 y 2018 se puede ver un comportamiento similar de HR para las 4 localidades, la cual se mantiene constante en el período nocturno hasta pasado el amanecer (00-08), posterior a la salida del sol la HR comienza a descender en el período de las 08-16 hrs, para aumentar entre las 16-23 hrs.
La humedad relativa máxima para las localidades se encuentra entre [96.49;100] % y la mínima entre [25;40] %.

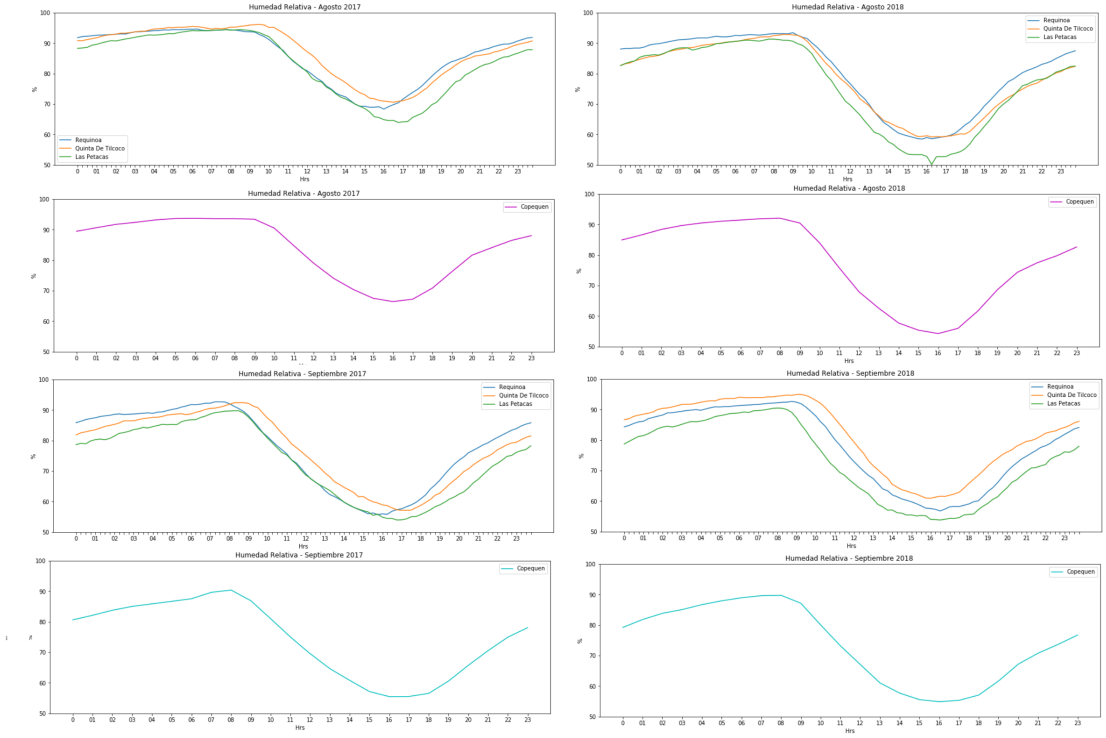


Figura 6: Comportamiento Humedad Relativa para Requinoa, Quinta de Tilcoco, Las petacas (El olivar) y Copequen, período Agosto-Septiembre 2017/2018

Requinoa	08/17	08/18	09/17	09/18
Máximo[%]	100	98	97	98
Mínimo[%]	40	31	25	26
Desviación Estándar	12,79	15,71	16,62	16,89
Quinta De Tilcoco				
Máximo[%]	99	99	98	99
Mínimo[%]	43	29	27	36
Desviación Estándar	11,75	16,38	15,43	14,45
El olivar				
Máximo[%]	99,5	99,4	99,3	98,7
Mínimo[%]	27,6	28,1	25,9	28,1
Desviación Estándar	14,32	17,55	17,24	17,95
Copequen				
Máximo[%]	97.7	97.04	97.86	96.49
Mínimo[%]	35.61	28.88	25.87	25.73
Desviación Estándar	13.25	16.73	16.38	17.45

Cuadro 1: Resumen Comportamiento Humedad Relativa Estaciones Meteorológicas

2.3.2. Comportamiento Temperatura

Existe un comportamiento similar entre 2017 y 2018, donde el ascenso de la temperatura se presenta entre las 08-16 hrs y posteriormente un descenso hasta alcanzar el amanecer. La diferencia radica en que para el año 2018 existe una mayor cantidad de horas de transición entre el ascenso y el descenso de la temperatura.
La salida sol ocurre primero en Requinoa al estar más hacia el este y casi al mismo tiempo en las otras 3 localidades. Las temperaturas son más bajas para dicha localidad desde la tarde hasta el amanecer, exceptuando septiembre del 2018.
Se puede establecer que las temperaturas, en general, son más altas en septiembre, las máximas se encuentran entre los [22.3;29.7]°C y las mínimas entre [-2.6;2.8]°C.

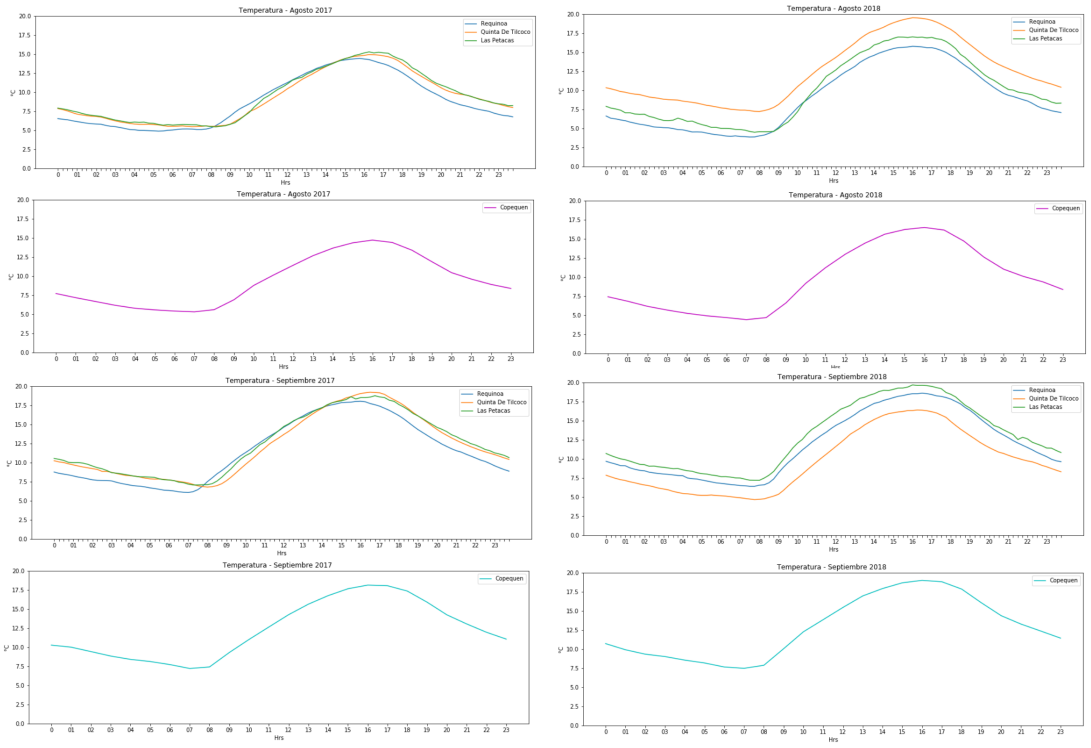


Figura 7: Comportamiento Temperatura para Requinoa,
Quinta de Tilcoco y Las Petacas (El Olivar), período Agosto-Septiembre 2017/2018

Requinoa	08/17	08/18	09/17	09/18
Máximo[°C]	22,3	23,5	28,1	27,3
Mínimo[°]C	-1	-2,3	0,4	1,3
Desviación Estándar	4,07	5,2	5,11	5,1
Quinta De Tilcoco				
Máximo[°C]	22,4	29,8	29,7	25,6
Mínimo[°C]	0,7	-0,7	2,8	-2,6
Desviación Estándar	4,01	5,1	5,01	5,05
El Olivar				
Máximo[°C]	24,2	26,4	29,7	29,2
Mínimo[°C]	0,6	-1,6	0,8	1,4
Desviación Estándar	4,16	5,37	5,18	5,22
Copequen				
Máximo [°C]	22.06	26	28.01	27.54
Mínimo [°C]	0.26	-1.71	2.41	3.4
Desviación Estándar	4.0	5.23	4.79	4.8

Cuadro 2: Resumen Temperaturas Estaciones Meteorológicas

2.3.3. Comportamiento de la Velocidad y Dirección

Para el período 2017-2018 la velocidad se mantiene prácticamente constante durante la noche en el período de las 22-08 hrs, con el amanecer comienza su ascenso hasta las 17 hrs, donde luego del atardecer comienza a descender para ser constante nuevamente desde las 22 hrs. En ambos periodos se puede identificar una mayor velocidad en Copequen y considerablemente más bajas en las otras 3 localidades hasta las 18 hrs aproximadamente, tras lo cual no se presenta un patrón.
Se puede ver que la máxima ocurre alrededor de las 17 hrs y las mínimas durante las 00-07 hrs, para todas las localidades en el período de estudio. Además, durante el 2017 la velocidad tuvo una magnitud.
La velocidad máxima se encuentra entre los [4-6.3] m/s y las mínimas entre [0-0.5] m/s para las localidades de Requinoa, Quinta de Tilcoco y El Olivar. La localidad de Copequen presenta un rango de velocidad más amplio entre [0-11.38]m/s.

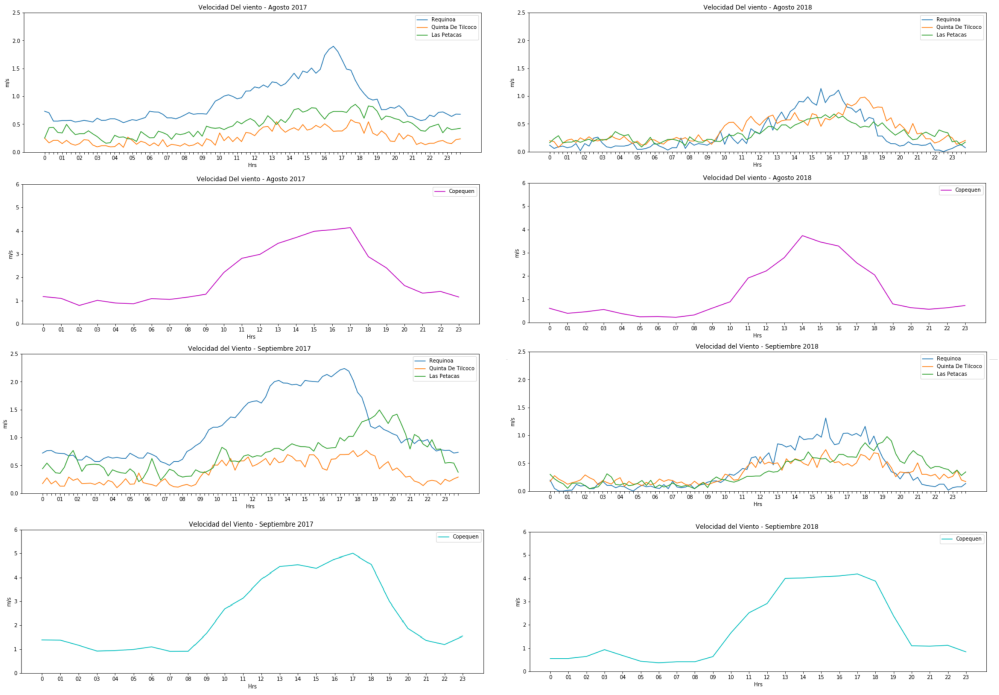


Figura 8: Comportamiento Velocidad para Requinoa, Quinta de Tilcoco, Las petacas (El olivar) y Copequen, período Agosto-Septiembre 2017/2018

Requinoa	08/17	08/18	09/17	09/18
Máximo [m/s]	4,5	5,4	4,5	4
Mínimo [m/s]	0,5	0	0,5	0
Desviación Estándar	0,67	0,67	0,87	0,7
Quinta De Tilcoco				
Máximo [m/s]	4,5	3,6	4,5	4,5
Mínimo [m/s]	0	0	0	0
Desviación Estándar	0,47	0,59	0,58	0,57
El Olivar				
Máximo [m/s]	5,3	3,7	6,3	4,0
Mínimo [m/s]	0	0	0	0
Desviación Estándar	0,69	0,53	0,92	0,57
Copequen				
Máximo [m/s]	11.38	13.47	10.5	12.34
Mínimo [m/s]	0	0	0	0
Desviación Estandar	2.05	1.87	2.16	2.18

Cuadro 3: Resumen Velocidad Estaciones Meteorológicas

Para la localidad de Requinoa existe una gran cantidad de datos no registrados (S.I) para el año 2017 correspondiente a 41 % del total, de los restantes, se puede ver que durante los 3 períodos horarios analizados la dirección predominante del viento corresponde a la Suroeste para ambos meses lo que puede ratificarse en el año 2018, que cuenta la totalidad de datos.

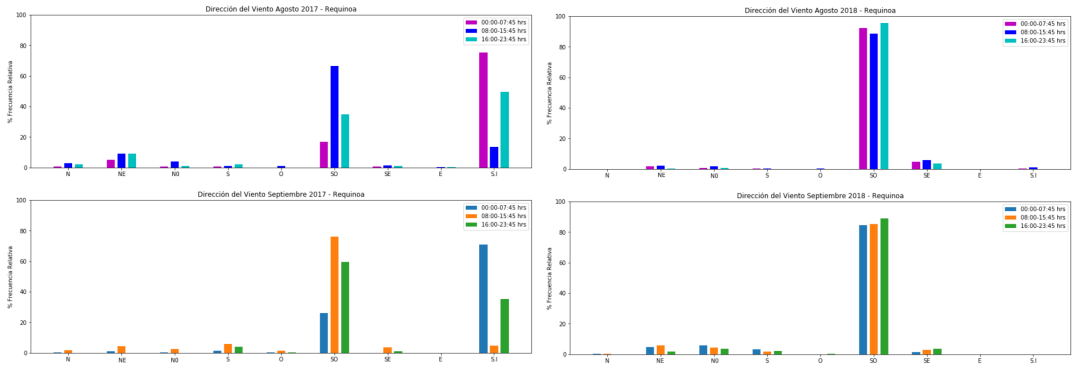


Figura 9: Dirección del viento Requinoa

Para la localidad de Quinta de Tilcoco, la tendencia es similar para el año 2017 y 2018 para los meses respectivos. Durante agosto, por la noche predomina la dirección Noreste con un 55 % aproximadamente, le sigue la dirección Sureste, donde esta última predomina posterior a la salida del sol y durante la mañana, que continua durante la tarde y comienzo de la noche. Para septiembre desde el amanecer hasta comienzos de la noche la dirección predominante es la Sureste la mayor parte del día.

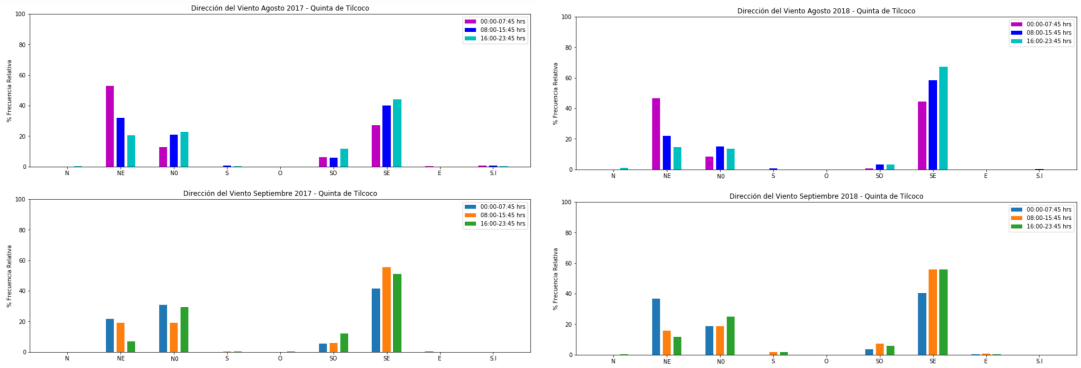


Figura 10: Dirección del viento Quinta de Tilcoco

Para la localidad del Olivar, se puede ver una tendencia similar de la dirección del viento para cada mes durante ambos años. Para el mes de agosto durante la noche se puede ver que la dirección predominante es Noreste lo que continúa en el período posterior hasta el atardecer, tras lo cual cambia la dirección predominante a la Suroeste alrededor de 10-15 % mayor a la tendencia Noroeste.

En el mes de septiembre la dirección predominante sigue siendo la Noreste durante la noche, luego del amanecer, la tendencia no se puede ver claramente ya que está dominada en casi igual proporción por la dirección Noroeste y Suroeste, por la tarde y comienzo de la noche la dirección Suroeste.

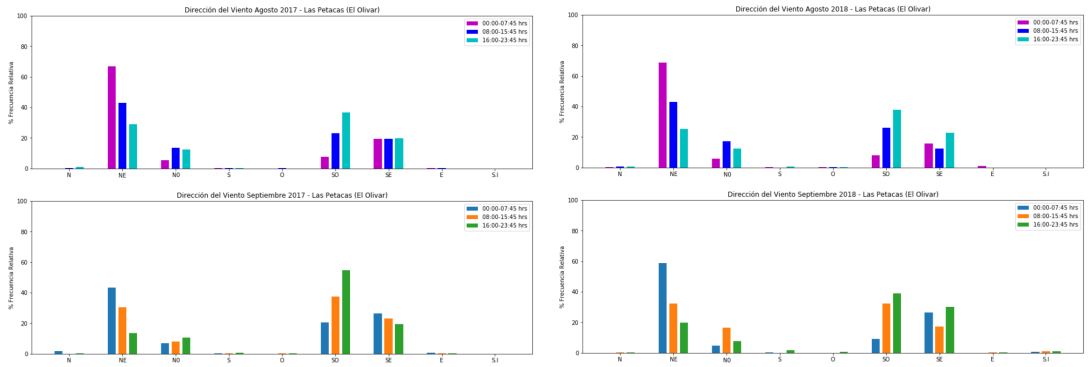


Figura 11: Dirección del viento El Olivar, estación meteorológica Las Petacas

La localidad de Copequen, como se puede ver en la siguiente imagen, presenta un comportamiento variable de la dirección del viento para todos los tramos horarios analizados.
En el mes de agosto durante el tramo [00-07] hrs la dirección predominante es Noroeste, luego entre las [08-15] hrs ocurre una transición entre a la dirección Suroeste y Sureste, para finalmente establecer esta última entre [16-23]hrs. En el mes de septiembre la tendencia es SE para los 3 periodos analizado.
Cabe mencionar que en el año 2018 existió una mayor variabilidad en la tendencia de la dirección del viento para ambos meses.

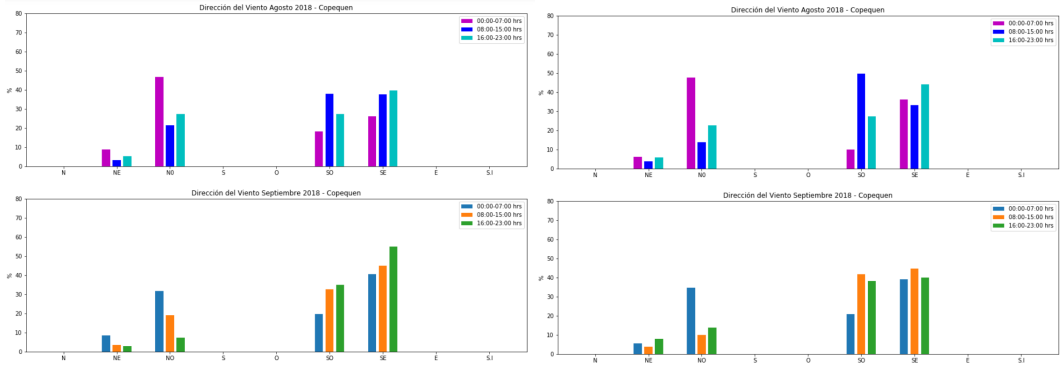


Figura 12: Dirección del viento Estación meteorológica Copequen

2.3.4. Caracterización Parámetros meteorológicos para Heladas

A partir del comportamiento de las variables de humedad relativa, temperatura y velocidad y dirección del viento, se obtienen valores promedio para las 3 primeras, en el período comprendido entre las 05:00-08:00 horas, seleccionado en relación a la ocurrencia de eventos de heladas.

Agosto	2017				2018			
	Quinta de Tilcoco	Requinoa	El Olivar	Copequen	Quinta de Tilcoco	Requinoa	El Olivar	Copequen
HR [%]	95.11	94.39	94.00	93.67	91.14	92.58	90.68	91.49
Temperatura [C]	5.55	5.07	5.69	5.43	7.6	4.07	4.93	4.67
Velocidad Viento [m/s]	0.149	0.639	0.296	0.994	0.193	0.093	0.179	0.239

Cuadro 4: Variables Promedio Horario 05:00-08:00 mes de Agosto

Septiembre	2017				2018			
	Quinta de Tilcoco	Requinoa	El Olivar	Copequen	Quinta de Tilcoco	Requinoa	El Olivar	Copequen
HR [%]	89.8	91.78	87.61	87.98	93.91	91.53	89.31	88.85
Temperatura [C]	7.44	6.48	7.49	7.69	4.99	6.71	7.58	7.77
Velocidad Viento [m/s]	0.179	0.622	0.364	0.996	0.149	0.085	0.113	0.402

Cuadro 5: Variables Promedio Horario 05:00-08:00 mes de Septiembre

Para establecer la tendencia en la dirección del viento, se dividió el perdido comprendido entre las 00:00-08:00 hrs, lo que permite visualizar de mejor manera el comportamiento en las horas más críticas en la ocurrencia de heladas correspondiente al período de las 05:00-08:00 hrs.

En la siguiente imagen se puede ver la tendencia para la localidad de Quinta de Tilcoco. Durante el mes de agosto, existe una variabilidad en la dirección para 2017 y 2018, coincidiendo en el período de 05:00-08:00 hrs dirección Noreste, con un 59 %(2017) y 49 %(2018). A pesar de esto, se puede visualizar la variabilidad del comportamiento del viento durante el transcurso de la noche.
Para el mes de septiembre, el comportamiento es variable para los 3 períodos de análisis durante los 2 años, específicamente en el periodo 05:00-08:00 hrs predomina escasamente la dirección Sureste.

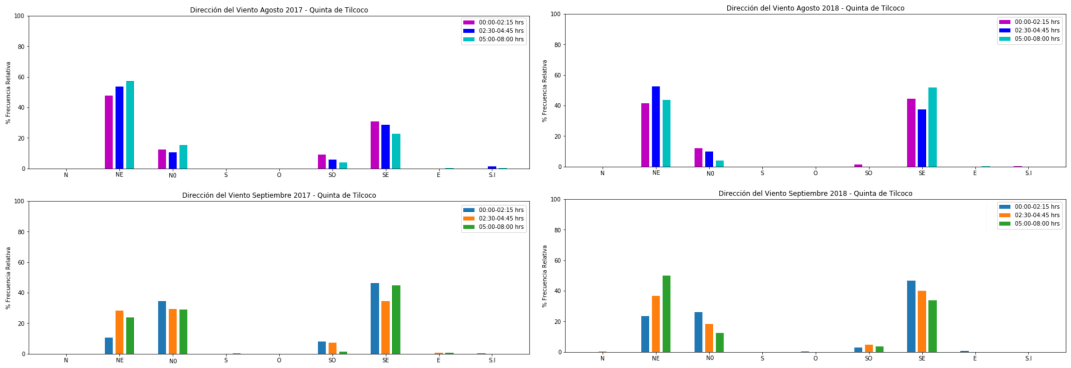


Figura 13: Dirección del viento Quinta de Tilcoco periodo 00:00-08:00

Para la localidad de Requinoa, la tendencia es claramente SO durante todo el período desde las 00:00 a 08:00 hrs para el mes de agosto y septiembre, en ambos años con un comportamiento similar.
Cabe señalar, que la información disponible para el año 2017, es deficiente en relación a los registros, por lo que en análisis se realiza en base al año 2018.

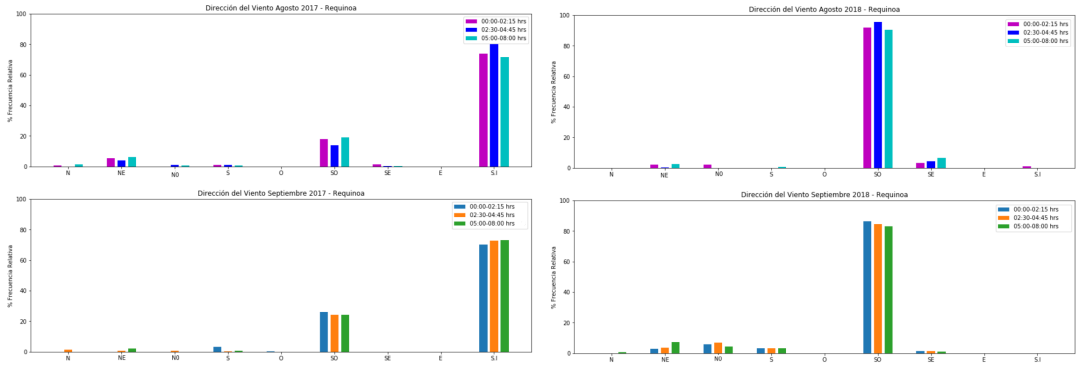


Figura 14: Dirección del viento Requinoa período 00:00-08:00

En cuanto a la localidad El Olivar, sigue un patrón similar durante los meses de agosto y septiembre para los años respectivos. Durante agosto y septiembre del 2017 la tendencia de la dirección del viento fue Noreste, que se acentúa en el período de las 05:00-08:00 hrs en el mes de agosto con un 80 % de probabilidad, mostrando una mayor variabilidad en el mes de septiembre donde el porcentaje cae a 50 %. Para el año 2018, existe una tendencia similar entre ambos meses, con la dirección predominante Noreste para todo el período, aumentando la variabilidad para el mes de septiembre mostrando con incrementando la frecuencia Sureste.

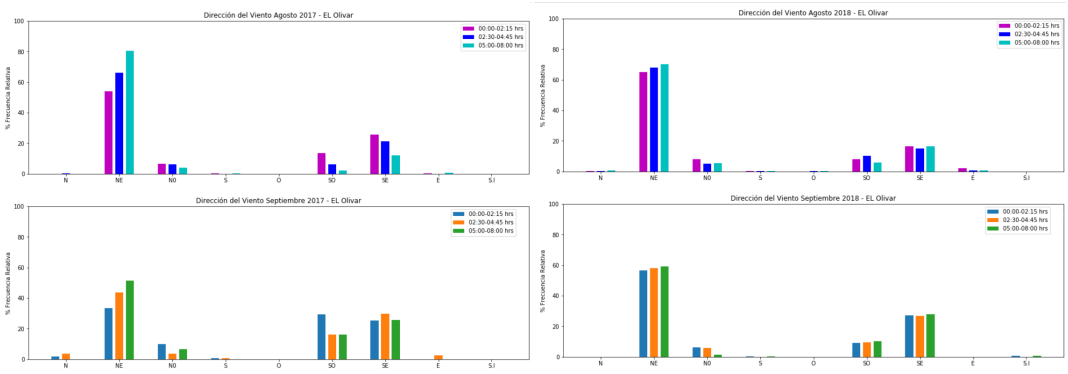


Figura 15: Dirección del viento El olivar período 00:00-08:00

Para la localidad de Copequen en el mes de agosto, la dirección predominante fue NO durante los 3 periodos horarios con una frecuencia de una frecuencia de un 45-50 %. En septiembre aumenta la variabilidad, con tendencia SE durante las [00-02] hrs, cambiando levemente a NO durante las [03-04], aumentó levemente la frecuencia para esta dirección en el tramo final [05-08] hrs.
Los resultados anteriores se ven ratificados más claramente en el año 2017, en vista de la mayor variabilidad presentada en 2018.

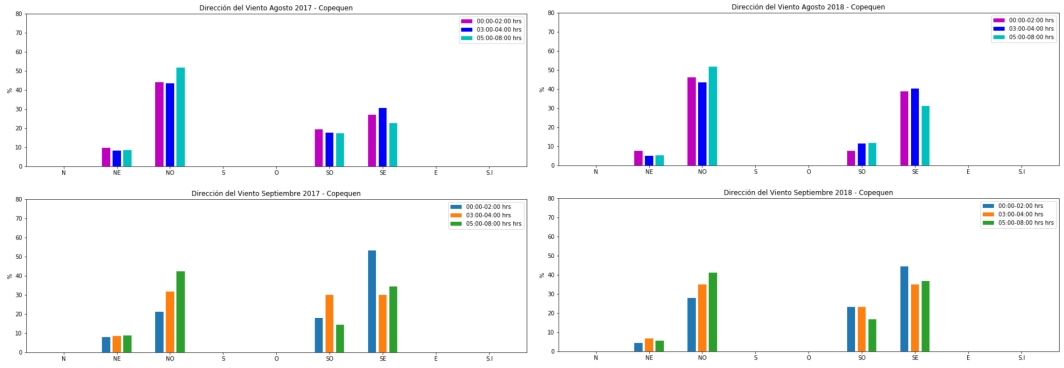


Figura 16: Dirección del Viento Copequen Periodo [00-08] hrs

A continuación se presenta una tabla resumen con la dirección predominante para cada localidad durante el tramo de las 05-08 hrs aproximadamente.

	2017		2018	
Localidad	Agosto	Septiembre	Agosto	Septiembre
Quinta de Tilcoco	NE	SE	SE	NE
Requinoa	SO	SO	SO	SO
El Olivar	NE	NE	NE	NE
Copequen	NO	NO	NO	NO

Cuadro 6: Resumen dirección predominante del viento por localidad

2.3.5. Marco de Plantación

El campo se compone de 3 sectores de plantación, que hacen un total de 87.7 ha. En el presente estudio se limitará a una sección del Área A del campo correspondiente a 15.5 ha de un total de 29.7 ha, donde se cultivan 2 de las variedades más importantes: Skeena y Santina.

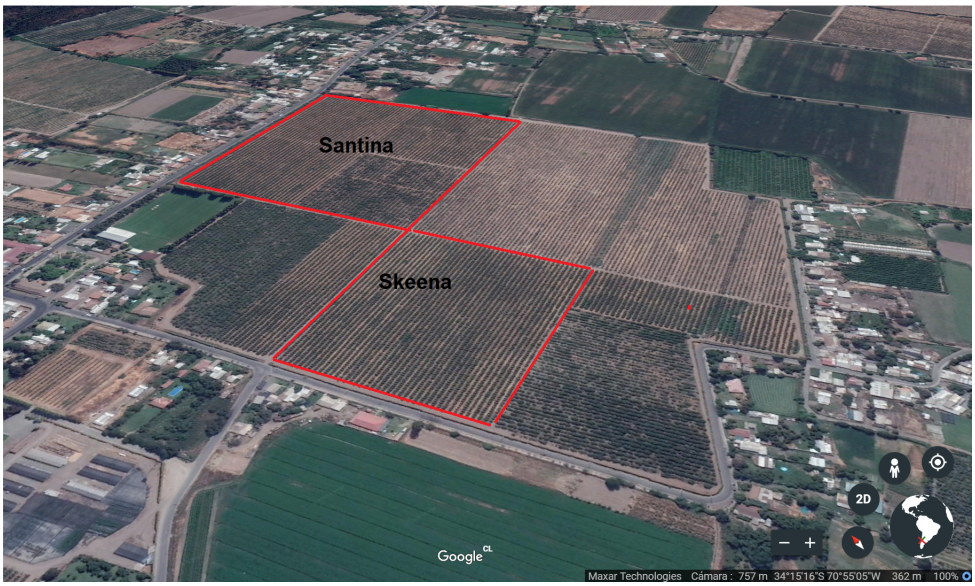


Figura 17: Área A de producción Campo Viveros Copequen

El marco de plantación es similar ambas especies en relación a distribución y altura con que se cultivan. Los árboles de cerezo se sitúan en hileras con una separación entre ellos de 2.5 m y entre hileras de 4.5.
Cada árbol es cortado a una altura de 3.2 m con un follaje correspondiente al 35 % del área entre hileras, es decir, que entre 2 hileras el follaje ocupa un área correspondiente al 70 % del total disponible entre estas cuando los árboles se encuentran con el tope de follaje.



Figura 18: Hileras árboles de cerezo

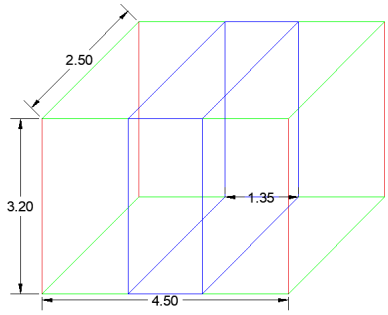


Figura 19: Volumen ocupado por el follaje entre hileras.
Rojo: tronco de los árboles.
Verde: Volumen ocupado por los árboles del total disponible entre hileras.
Azul: espacio libre entre hileras.

2.3.6. Características del cerezo y estados Fenológicos

El cerezo es una especie frutal de clima templado frío y es una planta caducifolia, que pierde las hojas durante la estación fría o seca y sus procesos son condicionados por la temporada anterior. El desarrollo del fruto se divide en 3 etapas: la primera comprendida desde la floración hasta el endurecimiento del carozo, posterior a el estado de plena flor. El segundo estado se producen cambios en la semilla y la tercera corresponde al crecimiento del fruto, la que está condicionada por las etapas 1 y 2.
El cerezo se ve afectado por la acumulación de horas de frío y las altas temperaturas en primavera y verano, condicionando el desarrollo del fruto las heladas en floración. Las variedades de cerezo tienen las mismas etapas fenológicas, pero ocurren en fechas diferentes, donde las etapas más críticas en producción ocurren en los meses de agosto y septiembre condicionando las características apropiadas de tamaño y color que permiten cumplir con los estándares requeridos para la exportación. A continuación, se presentan los estados fenológicos para las 2 variedades analizadas y las fechas en las cuales ocurrieron en el año 2018.

	Yema Hinchada	Punta Verde	Inicio Flor	Plena Flor 80%	Cuaja	Caída de Chaqueta	Endurecimiento del carozo	Pinta	Cosecha	Caída de Hojas 50%	Caída de Hojas 100%
Santina	14/08	23/08	11/09	16/09	22/09	09/10	20/10	10/11	23/11	07/05	25/05
Skeena	25/08	20/08	12/09	18/09	24/09	10/10	25/102	0/11	05-08/12	08/05	30/05

Cuadro 7: Estados Fenológicos Por tipo de Variedad



Figura 20: Etapas Fenológicas Cerezo

2.4. Descripción Equipos

Los equipos utilizados son distribuidos por Tecnipak, representante de Orchard-Rite (EEUU), quien ha instado alrededor de 2000 máquinas de viento en chile. Existen de 2 tipos según la cantidad de aspas 2 o 5, siendo, a juicio del fabricante, más eficiente la primera en cuanto a cantidad de aire a una potencia determinada. Por otra parte, la segunda disminuye la generación de ruido.
Los equipos utilizados corresponden a las torres de 2 aspas con las siguientes características:

Modelo	2600 - Gas	2700 - Diesel
Motor	Ford V10	Caterpillar 7.1 Turbo
Superficie de cobertura promedio	7,2 hectáreas	7,4 hectáreas
Radio de cobertura promedio	152 metros	154 metros
Consumo medio de combustible	56 litros / hora	35 litros / hora
Potencia durante la operación	174 HP	177 HP
Altura de la torre	10,67 metros	10,67 metros
Hélice de fibra de vidrio de dos aspas	6,05 metros	6,15 metros
Fuerza de empuje	2.010 libras	2.040 libras



Figura 21: Características Máquinas de Viento [41]

Modelo	Cantidad de aspas	RPM Motor	Cobertura nominal [hectáreas]	Ruido a 300m [dB(A)]	Consumo [l/h]	Potencia [HP]
2700	2	2.230	7,46	67 *	35,0	177
		1.950	5,66	64 *	23,4	118

* Valores con penalidad de +5 dB(A) por tonalidad. Ruido estimado bajo operación con motor diésel CAT 7.1.

Figura 22: Características Máquinas de viento [41]

El encendido de los equipos en general es automático, al detectar la temperatura establecida, giran en un ángulo de 360° y tienen una inclinación de las aspas de 6°.
Algunas de las torres cuentan con un sistema de calefacción, que según lo establecido por el fabricante sacrifican el radio de cobertura en relación a la duración de la helada.
La cámara de combustión cuenta con un inyector de combustible y una bujía incandescente, con partida manual.

Cantidad de cámaras	8 (permite operar al 50% con 4 cámaras)
Potencia nominal en kilowatts	1.164 (o 582) kW
Potencia nominal en BTU/hr	3.972.000 (o 1.986.000) BTU/hr
Consumo de petróleo Diesel	120 (o 60) litros/hora
Presión de trabajo	230 psi
Sistema de encendido	Bujía incandescente activada por pulsador
Capacidad de combustible	1.000 litros

Figura 23: Características calefactor central [41]

En cuanto a las estrategias de prevención, los agricultores tienen a disposición la información entregada por Agromet. Los datos disponibles corresponden a: dirección del viento, humedad relativa, precipitación acumulada, presión, temperatura del aire, temperatura de suelo, temperatura superficie, velocidad del viento, ráfagas, horas de frío, entre otras. Estas condiciones son entregadas para una red de 250 estaciones meteorológicas a lo largo de chile.

2.4.1. Funcionamiento de Máquinas de viento en Viveros Copequen

De las 4 máquinas de viento instaladas actualmente en el campo Viveros Copequen, solo 1 de ellas se encuentra instalada en el área de análisis. Todas ellas corresponden al modelo 2600-Gas Orchard-Rite y cuentan con calefactores, estas son ofertadas para la protección de 5 hectáreas por cada máquina.
El funcionamiento de las máquinas puede ser manual o automático, pero por preferencia de los usuarios estas se accionan de forma manual con encendido a los 2° y encendido de los calefactores a temperaturas de entre los $-2°$ a -3° bajo cero.



Figura 24: Maquina de viento Orchard-Rite ubicada en sector A del campo Viveros Copequen

2.5. Efectos Síntomas

Los efectos de las heladas varían según los siguientes parámetros:

- Especie y variedad
- Tipo de órgano expuesto
- Etapa fenológica
- Contenido de agua de la planta
- Intensidad de la helada

- Duración de la helada
- Temperatura crítica de la planta y el órgano

Los daños por las heladas tienen 4 grados, según los efectos de los parámetros mencionados anteriormente.

- Daño o muerte de órganos vegetativos: como hojas y tallos, lo que perturba indirectamente las funciones fisiológicas de los demás órganos: flores, frutos, raíces, etc.
- Destrucción de las flores: según el porcentaje que afecte impide la transformación de los frutos.
- Malformación: las bajas temperaturas destruyen los frutos en formación o los sobrevivientes resultan mal formados.
- Muerte de toda la planta: si las temperaturas son lo suficientemente bajas y de prolongada duración.

2.5.1. Efectos productivos por Heladas

El daño mayor se produce entre fines de agosto y mediados de octubre primavera) para un cultivo frutal del tipo de hoja perenne (aquellas que duran más de una temporada, papayo, palto, cítricos) en el momento en que se encuentra en estado de brote o flor resulta ser el más crítico. Por otra parte, si el cultivo es de tipo de hoja caduca (se renueva cada año, duraznero, damasco, nogal, vid) el daño es mayor en primavera y la condición crítica se presenta cuando está ya tiene fruto, que sufre el efecto de la helada.

En relación a la pérdida de calidad de los productos, es difícil de determinar a priori en algunas especies, ya que siguen manteniendo buen aspecto por fuera, pero puede resultar en la decoloración interna, perdida de sabor y textura. En otros casos se puede identificar por decoloración externa, áreas blandas y acuosas propensas a generar hongos, necrosis (muerte) del tejido por sectores, entre otras. Todas las características mencionadas anteriormente determinan la pérdida de calidad del fruto.

En las 2016 heladas entre el 31 de agosto y el 3 de septiembre afectaron diversas regiones del país, el impacto difiere según zona, duración de la helada y cultivo, inclusive para una misma zona existió variación según la localidad específica, de ninguna manera se puede calificar como un daño generalizado.
En la zona central se vieron afectados cerezos y carozos: ciruelos, perales y sobre todo almendros.
En la región de O'Higgins la especie más perjudicada es el cerezo, existen alrededor

de 9000 hectáreas de este cultivo en las variedades tempranas como o'neal, emerald y jewel, entre otras. También los cultivos de uva de mesa afectadas antes de dar brote con pérdidas de entre el 20-30 %.
En las zonas precordilleranas de la región del Maule como el Romeral, Molina y San clemente las pérdidas rondaron entre el 15-20 % para variedades tempranas de cerezo como la Santina. Los cultivos de arándanos variedad temprana se vieron afectados de mayor manera en sectores como Longaví, Parral y Linares con una pérdida de entre el 20-30 % según la zona. La uva vinífera también se vio afectada, en zonas donde ya existían brotes de las variedades chardonnay y viognier.
En la zona norte, Región de Coquimbo, provincia del Choapa se dieron las condiciones más extremas, por la duración de las heladas del orden de 11 hrs. La especie más perjudicada fue el damasco que presenta una superficie de plantaciones de 260 hectáreas aproximadamente (34 % a nivel nacional), con pérdidas de entre el 50-100 % según el huerto y la variedad: dina y tilton. Otra especie afectada fueron los paltos y nogales, con daños en flores y brotes respectivamente.

2.5.2. Efectos en la Producción de Cerezas

Actualmente no se tienen pérdidas significativas registradas en el campo de Viveros Copequen posterior a lo ocurrido en el año 2013 que desencadeno la pérdida total de la producción e incentivo a la incorporación de métodos de protección para lograr cubrir los costos frente a la ocurrencia de un fenómeno de heladas de gran magnitud.
Con anterioridad se ha utilizado la ventilación aérea por medio de helicópteros, que, debido a los altos costos y las dificultades de operación frente a la ocurrencia de heladas, han desencadenado en la incorporación de las máquinas de viento como método de protección.
A pesar de no tener pérdidas totales en los últimos años, se tiene conciencia que este tipo de eventos no tienen un patrón fijo de ocurrencia y pueden generar pérdidas totales o parciales en la producción, por lo que el objetivo es lograr salvar una cantidad de hectáreas de producción que permita cubrir los costos, aunque no genere ganancias, o evitar la pérdida de calidad producto de la ocurrencia de heladas, maximizando los beneficios en relación a conservar el valor del kg de cereza que se relaciona con características de tamaño y color condicionados por la ocurrencia de helada en diferentes estados fenológicos en la que se encuentre.
De las variedades de cereza producidas en el campo Viveros Copequen, las más relevantes en cuanto a los beneficios generados son la Skeena, Santina y Lapins, de los cuales producen 22, 20 y 12 mil kg anuales con un valor máximo de 6 USD/kg que alcanza el 20 % de la producción y el restante disminuye en valor entre 5-3 USD/kg, que considerando un precio promedio de 4 US/ kg para el 80 % restante de la producción representan 237.6 mil USD. El valor de kg se ve afectado directamente con la ocurrencia de heladas, puesto que condiciona a los estándares de color disminuyendo el precio de venta, que al ser mínimo genera ventas por 162 mil USD.



Figura 25: Campo Viveros Copequen

3. Estado del Arte

3.1. Tecnologías

Las metodologías utilizadas para el control de heladas se pueden clasificar en activas y pasivas, estas últimas referidas a la selección adecuada del cultivo y emplazamiento, drenaje de aire frío, cobertura de plantas, entre otras[10]. Por otra parte, la metodología activa, se refiere a ventilación, calefacción y metodologías de riego principalmente.
Debido al objetivo de la investigación, se presentan las tecnologías utilizadas para el control de heladas radiativas, centradas en los mecanismos, estructuras y aplicabilidad de las máquinas convencionales de viento, decantación por selección inversa SIS y soplado vertical portátil. Estas tecnologías tienen distintos mecanismos de automatización, estrategias de control, aplicabilidad y parámetros de que condicionan su funcionamiento.
A pesar de lo anterior, se presenta la oferta en cuanto a sistemas activos de protección más relevantes como calefactores y sistemas de riego, los primeros con baja efectividad debido a la flotabilidad del aire caliente, el cual se eleva hacia las capas superiores y no logra concentrarse a nivel del cultivo, y el segundo limitado por el alto costo de instalación, a pesar de sus beneficios en consumo energético y costos operacionales.

Equipo	Temperatura en que se debe iniciar el sistema	Temperatura máxima de protección	Requerimiento mínimo de agua	Cantidad de pulsadores necesarios	Precio	Precio en pesos chilenos
Control de Heladas	+2°C	-7°C	10.000lt/hectárea por hora	1 cada 4 metros	Aspersores: s/i Operación: US$1,7 / hectárea	Aspersores: s/i Operación: CL$1.048 /hectárea
Frost Protection (Rain Bird)	s/i	-13°C	913lt/hectárea por hora	s/i	Aspersores: US$12 / unidad Operación: s/i	Aspersores: CL$7.396 /unidad Operación: s/i
GyroNet™ SR & SRD (Netafim)	s/i	-6°C	15.000lt/hectárea por hora	1 cada 5 metros[4]	Aspersores: US$12,5 /unidad Operación: s/i	Aspersores: CL$7.704 /unidad Operación: s/i
Frost Protection (Coolfog)	+0°C	Bajo 0°C	1.000lt/hectárea por hora	s/i	Aspersores: s/i Operación: s/i	Aspersores: s/i Operación: s/i
True Fog	+0°C	Bajo 0°C	1.350lt/hectárea por hora	s/i	Aspersores: s/I Operación: s/i	Aspersores: s/i Operación: s/i
Flipper ((Naandanjain)	+4°C	-9,5°C	16.000lt/hectárea por hora	1 cada 6 metros	Aspersores: s/I Operación: s/i	Aspersores: s/i Operación: s/i

Equipo	Área que cubre[1]	Tipo de combustible	Consumo de combustible	Precio	Precio en pesos chilenos[2]
Frostguard (Agrofrost)	1 hectárea	Gas propano	13-15kg/hr	US$ 6.600/hectárea	CL$4.067.547/hectárea
Frostbuster (Agrofrost)	6 hectáreas	Gas propano	40kg/hr	US$2.250/hectárea	CL$1.386.664/hectárea
Lazo FCM	10 hectáreas	GLP	30-35kg/hr	US$1.000/hectárea	CL$ 616.295/hectárea
Heat Ranger	20 hectáreas	GLP	210kg/hr	s/i	s/i
Zimex	0,01 hectárea	Diésel	s/i	US$5.000/hectárea	CL$3.081.475/hectárea

Figura 26: Oferta Comparativa protección Riego-Calefactores[2]

3.1.1. Ventilación Forzada Horizontal

Corresponde a las torres de ventilación analizadas en este trabajo compuestas por una hélice montado en un eje vertical, que permite la mezcla del aire cálido, desde la parte superior, con el aire más frío ubicado en el cultivo. La hélice es montada en un eje vertical con un ángulo de depresión en relación a este y su disposición en la operación para la protección contra heladas puede ser fija y móvil. Su función principal es eliminar la estratificación del aire aumentando la temperatura a través de la mezcla de aire generada, generando fricción entre el follaje del cultivo y el aire inyectado [8].



Figura 27: Izquierda: Máquina de viento Fija - Derecha: Máquina de viento Portátil

Existen diversas marcas en la producción de este tipo de máquinas como Orchard Rite (EE.UU), Amarillo Wind Machines (EE.UU), Tow and Blow Limited (NZ), New Zeland Frost Fans (NZ) y H.F. Hauff Company Inc (EE.UU) [2], los cuales ofrecen variedad en cuanto la cantidad de aspas, portabilidad, tipo de combustible: Gas-Diesel, valor de equipos (14-20 millones), nivel de ruido, entre otros.
Cada modelo de máquina de viento, presenta diversas indicaciones operacionales, tal como el radio de cobertura (120-150 m), hectáreas protegidas (5-7.4 ha), consumo de combustible (6-63 Lt/hr), entre otras, dichas características son presentadas de forma general por los fabricantes, es decir, sin detallar las condiciones bajo las cuales fueron cuantificadas, como por ejemplo, el tipo de cultivo, zona geográfica, disposición en de los equipos, las cuales condicionan el funcionamiento real de las máquinas.

Equipo	Área que cubre[3]	Tipo de combustible	Consumo de combustible	Precio	Precio en pesos chilenos
Wind Machines (Orchard Rites)	7,4 hectáreas	Dos modelos: gas y diésel	Mod gas: 63lt/hr Mod diésel: 35lt/hr	US$22.000 +US$1.000 por instalación	CL$13.558.490 + CL$616.295 por instalación
Wind Machines (Amarillo Wind Machines LLC)	5 hectáreas	Dos modelos: gas propano y diésel	63lt/hr (gas propano)	US$26.000 +US$2.000 por instalación	CL$16.023.670 + CL$1.232.590 por instalación
Hélices (Tow and Blow Limited)	6 hectáreas	Gasolina sin plomo	5lt/hr	U$33.000 Sin costo de instalación	CL$20.337.735 Sin costo de instalación
Chinook Wind Machines (H.F. Hauff Co. Inc.)	6,5 hectáreas	Diésel	26lt/hr	US$40.000 + instalación	CL$24.651.800 + instalación
Frostboss (New Zealand Frost Fans)	6 hectáreas	Diésel	19lt/hr	US$35.000 + costo de instalación	CL$21.570.325 + costo de instalación

Figura 28: Tabla comparativa Máquinas de viento Horizontal [2]

3.1.2. Ventilación Vertical

El sumidero selectivo inverso SIS utiliza un ventilador de bajo número específico de revoluciones, con un eje vertical y una hélice horizontal dispuesta en ángulos de entre 15-50 °, que brusca romper la inversión térmica para la protección contra heladas. La ventilación se produce en la base de las máquinas, permitiendo que el aire frío sea expulsado, creando un efecto de succión que permita inyectar aire cálido hacia sectores cercanos a la superficie. La extracción de aire frío depende de la distancia entre el borde inferior del ducto y la superficie del suelo y las aspas permitirán dar dirección al aire y contribuir al mezclado del aire en la capa de inversión [8].

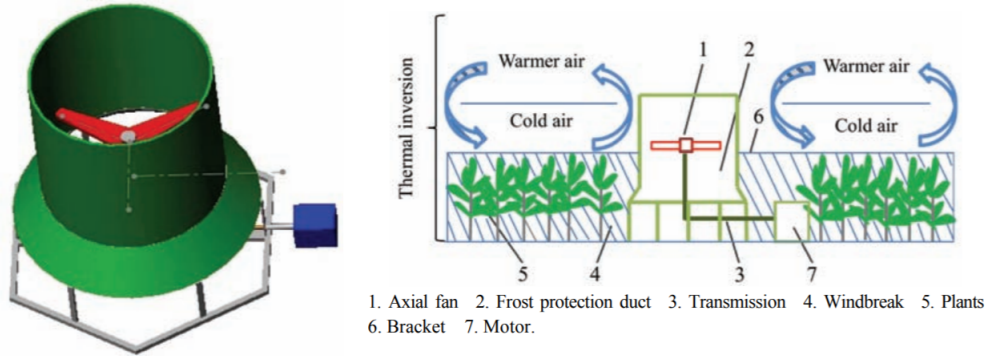


Figura 29: Diagrama de funcionamiento SIS[8]

Estudios realizados para este tipo de equipos en una plantación de té con empinada pendiente, señal una nula influencia en el aumento de temperatura, existiendo un aumento inicial el cual se pierde luego de un tiempo, diferentes autores señal que la eficiencia

de estas máquinas depende de su tamaño, así como de las características de la plantación.[8]
El costo de este tipo de tecnología va entre los 4.7-2.6 millones dependiendo del tamaño y capacidad, además de requerir menos potencia y consumo de combustible por hora en relación a las maquinas horizontales, con un menor nivel de ruido y costos de instalación.[8]

3.1.3. Ventilación Aérea

Se refiere al proceso de ventilación por medio de helicópteros que es usado para empujar el aire cálido hacia el cultivo reemplazando el aire frío cercano a la superficie, los helicópteros sobrevuelan en la capa de inversión térmica entre los 20 a 30 m de altura a una velocidad entre los 8-40 km/hr, accionando rotores que empujan hacia abajo el aire cálido, incrementando la temperatura del aire y reduciendo el daño por heladas [8]. Funciona adecuadamente en presencia de heladas radiativas con noches despejadas pero no es recomendado cuando la temperatura mínima es inferior a -5°, para velocidades cercanas a los 2,5 m/s o para heladas advectivas [8].
El alto costo de este sistema hace que sea poco utilizado, el cual varía entre 1.3-2.6 millones por hm2 por hora.

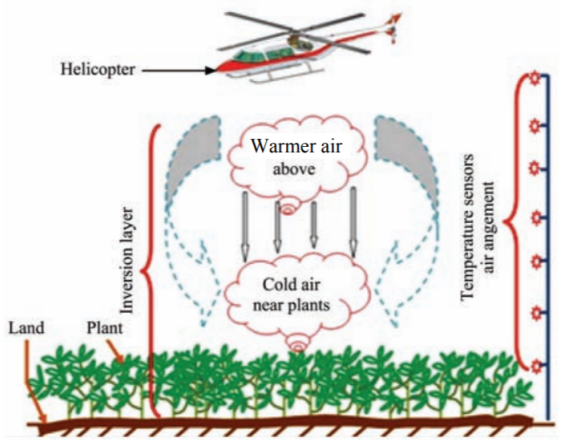


Figura 30: Diagrama Ventilación Aérea [8]

Debido a que el presente trabajo analiza la ventilación forzada horizontal, es decir, las máquinas de ventilación, las siguientes secciones darán más detalles de diferentes aspectos de esta tecnología, creada alrededor de 1920 cuyo principal objetivo radica en romper la capa límite del aire a micro-escala sobre los cultivos, con esto mejorar la transferencia de calor sensible.[17]

3.2. Parámetros de operacionales, de funcionamiento y Control

3.2.1. Operacionales y de Funcionamiento

Estos parámetros condicionan el desempeño operacional y de funcionamiento de las máquinas de viento, contemplan aquellos establecidos por el fabricante, así como otros relacionados con las características ambientales propias del sitio en el cual tengan desempeño.

- Flotabilidad del aire: puede causar un rápido ascenso de las masas de aire, evitando que estas puedan penetrar en el cultivo disminuyendo la efectividad de las máquinas.

- Densidad del aire: La fuerza del aire frió, empuja hacia afuera del área bajo la influencia de la máquina de viento lo que reduce el área de protección.

- Inversión Térmica: la protección proporcionada por las máquinas de ventilación dependen de la fuerza de la inversión térmica y su existencia está condicionada a velocidades de viento inferiores a 1.94 m/s, al ser superiores esta desaparece [17], además de ser necesaria una inversión entre 1.5 a 2 °C para un funcionamiento efectivo de las máquinas[14], así el incremento de la temperatura después del encendido es cercano al promedio de la inversión.[8]
  Se puede clasificar la fuerza de la inversión en débil (0.5-1.1 °C), moderada (1.6-3.3 °C) y fuerte ($\geq$ 3.3 °C) la que varía temporal y verticalmente durante la noche.

- Velocidad /Dirección del viento y Topografía: la velocidad incide positivamente al estar en la misma dirección de la brisa de la hélice y negativamente si esta se encuentra en dirección perpendicular y opuesta al viento [16], disminuyendo el área de cobertura.
  Al estar en la misma dirección, la pendiente del terreno y el viento natural del lugar, el área de influencia de las máquinas de viento tiene de ser elíptica, si su disposición es en direcciones diferentes incluso perpendiculares, esto cambia y distorsiona la forma del área de influencia.[17]

- Ángulo de depresión: en general este ángulo va entre los 6-9 ° en máquinas convencionales, a medida que este aumenta, menor es el área influenciada, debido a esto, el área justo por debajo de la máquina de viento es menos protegida o incluso sin protección.[8] Esto puede solucionarse por medio de una disposición adecuada que permita a los ventiladores cubrir todo el cultivo expuesto.

- Ángulo, tiempo y velocidad de giro de la ráfaga: el ángulo adecuando permite que el aire no vuelva a re-estratificarse, para lograrlo se recomienda que se encuentre entre los 60-120° con un periodo de giro entre 2-5 minutos siendo óptimo los 108 ° al posicionar la máquina justo en el límite de la capa de inversión [8], a pesar de esto las máquinas de viento disponibles en el mercado tiene ángulos de

giro de hasta 360°. Un menor ángulo de cobertura requiere menor tiempo de giro para lograr romper la estratificación del aire[17].
La velocidad de la ráfaga depende de factores como: el diseño del ventilador, la velocidad de operación (rpm), la potencia del motor y las condiciones ambientales [14].

- Disposición y recorrido del aire: el distanciamiento en que se distribuyan las máquinas de viento en relación a la interacción de las mismas con el cultivo determinara su efectividad, además del recorrido que tome la ráfaga al interactuar con el cultivo u otros elementos que puedan desviar su acción.

- Altura de la torre: debe tener una altura que permita alcanzar la capa de inversión térmica, para lograr introducir aire cálido a los cultivos. Mayor altura permite un mayor alcance de la ráfaga de viento, evitando roce con el cultivo, aumentando el alcance de las máquinas. [14]

3.2.2. Control

Los factores meteorológicos condicionan el funcionamiento efectivo de las máquinas, por lo que es preferible un sistema automático de operación. Las características meteorológicos determinan las condiciones de inversión térmica y alcance de temperatura que permita la protección del cultivo.

En cuanto encendido/apagado de las máquinas, Snyder en Protección contra las Heladas: fundamentos, prácticas y economía, plantea el encendido de las máquinas en relación a la velocidad del viento, cuando esta sea inferior a 2.4 m/s en condiciones de temperatura bajo los 0°C para huertos y viñedos en Europa y América. Por otra parte, experiencias en plantaciones de té en Japón, establecen el encendido cuando la temperatura es 3°C[18]. Bajo el propósito específico de eliminar los defectos en el control de encendido/apagado de las máquinas de viento, en [18] se da solución a dicho problema en base a 2 factores: la temperatura crítica del cultivo y la inversión térmica existente. Para abarcar estos 2 factores propone incorporar sensores de temperatura, ubicados en la parte superior e inferior de la capa de inversión térmica, información que será transmitida a un controlador, el que verificará el diferencial de temperatura y la temperatura crítica de sett point, al estar por debajo esta condición accionará el funcionamiento de la máquina de viento.

En cuanto al tiempo de funcionamiento de las máquinas, no se fija un valor que permita estabilizar la temperatura, lo que cual recae en un encendido y apagado constante, con el gasto de combustible más elevado del motor. Sin embargo, Fraser[17] obtiene un tiempo de 10-15 minutos para la estabilización del incremento de la temperatura para eventos de heladas de invierno/otoño y primavera respectivamente.

Bajo el objetivo de controlar el funcionamiento adecuado de las máquinas de viento existen diversos sistemas dedicados a medir variables meteorológicas y relacionarlas con un sistema de prevención de heladas, algunos de ellos se muestran en la siguiente tabla:

Sistema	Alcance	Variables que mide	Cantidad de sensores	Rango de medición (T°)	Sistemas complementarios
Watchdog (Spectrum Technologies Inc.)	s/i	T° del aire Humedad relativa Velocidad y dirección del viento Lluvia Radiación solar	9	-30°C/55°C	Transmisión a teléfono móvil
Harvest Online Horticultural Monitoring and Control Systems (Harvest Electronic Design)	2 kilómetros	Velocidad y dirección del viento Precipitación Humedad relativa Presión barométrica Radiación solar Evapotranspiración Humedad de la hoja	+7	-55°C/125°C	Datos *on-line*
Agronet (Bissen)	s/i	Temperatura Humedad relativa Velocidad y dirección del viento Radiación Pluviometría Presión atmosférica	6	s/i	Transmisión a teléfono móvil, tablet, computador Plataforma en línea
TempGard (IAS Systems)	s/i	Temperatura Humedad relativa Humedad del suelo Humedad de la hoja Precipitaciones, otros	+5	Hasta 65°C	Batería solar

Figura 31: Oferta sistemas de Control[2]

3.3. Estudios Realizados

3.3.1. Estudios Generales

Varios estudios se han enfocado en determinar el área efectiva de protección, Crawfor en *Computing the heating requirements for frost protection*(1960) evalúa la efectividad del modelo 4895 N-trust de Orchard Rite, sobre el área de influencia y la habilidad de incrementar la temperatura cerca del suelo en un huerto de cítricos en el sur de California, estableciendo una relación lineal entre la fuerza de empuje y el área de influencia bajo una temperatura de inversión medida a entre los 0.15-1.3 m , determinando además que a 91.5 m de la máquina de viento se presenta el límite al cual se espera protección sobre el cultivo. La linealidad del empuje y el área de influencia, es corroborado por *E.Bates*, para el modelo 5827 N-trust sobre un cultivo de cerezas, estableciendo una área protegida de 9.3 hm2.

El estudio *An evaluation of frost protection provided by a wind machine in the Okanagan valley of British Columbia*(1976), realizado por Davis R L. en un cultivo de manzanas, utilizando sensores de temperatura dispuestos entre los 1.5-18 m de altura, ubicados a 52 y 104 m al sur de la máquina de viento, establece que la temperatura se mantiene sobre la temperatura crítica del cultivo en un área de influencia de 2.8-3.2 hm2 cuando la inversión promedio fue de 6.4°C, a su vez la temperatura sobre el suelo fue de 4.2, 1.9 y 1.2 °C sobre áreas de influencia de 0.8, 2.1 y 3.4 hm2 respectivamente ratificando nuevamente la disminución de la efectividad de las máquinas de viento con el aumento de la distancia.

Debido a la influencia y la variabilidad de la velocidad del viento en el funcionamiento de las máquinas, es que Doesken y Renquist en *A climatological assessment of the utility of wind machines for freeze protection in mountain valleys*(1988), determinan el impacto de las máquinas de viento en el cambio de temperatura de los brotes en un huerto donde la temperatura y la velocidad del viento era menor a 0°C y 2 m/s respectivamente, el estudio establece que en condiciones de vientos lentos, el incremento de la temperatura llega al 80 % de la inversión térmica, pero que la efectividad decrece linealmente con la velocidad del viento, con un mínimo de 20 % a los 2 m/s y que independiente de la inversión térmica, a una velocidad mayor a los 2 m/s el funcionamiento efectivo de las maquinas no es posible.

En cuanto al aumento de la temperatura Ribeiro en su estudio **Apple orchard frost protection with wind machine operation**(2006) realizado durante las primaveras de 1999-2000 en Portugal con una máquina de viento de 10.5 m, 7° de depresión, frecuencia de giro de 4.3 min y funcionando en un huerto cuya separación entre filas fue de 4.65 m y entre arboles de 1.7 m con una altura de 3.5 m, obtiene un incremento de la temperatura a 1.5 m de un 30 % de la fuerza de inversión cuando esta es superior a 2°C , dentro del área de influencia de la máquina y en condiciones de cielos despejados y

velocidades entre 0.58-1.92 m/s con temperaturas mínimas -0.7 y -4.2°C y humedad relativa cercana al 100 %. Además, establece la uniformidad espacial de la temperatura a una altura de 1.5 m sin operación de las máquinas y un descenso en la ráfaga de aire desencadenado por estas, en relación a la distancia del ventilador, condicionando la efectividad de esta en relación a la dirección natural del viento, siendo favorable en la misma dirección y desfavorable en dirección contraria.
En relación al área de influencia, determina una fuerte correlación con la fuerza de la inversión térmica y el incremento de la temperatura además comprueba el incremento de la temperatura luego de unos pocos minutos del encendido en presencia de baja velocidad del viento, tras lo cual no requiere el encendido anticipado, pero si cuando la temperatura a los 1.5 m se acerca a la temperatura critica del cultivo.

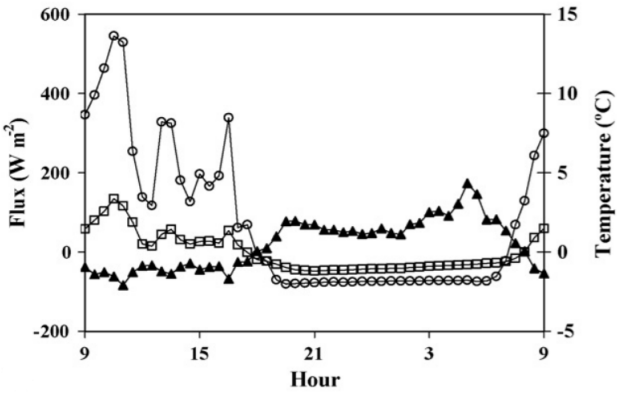


Figura 32: Valores obtenidos por [9] evento 05/04/2000 Radiación neta(círculo), flujo de calor de la superficie (cuadrado), Inversión térmica(triángulo)

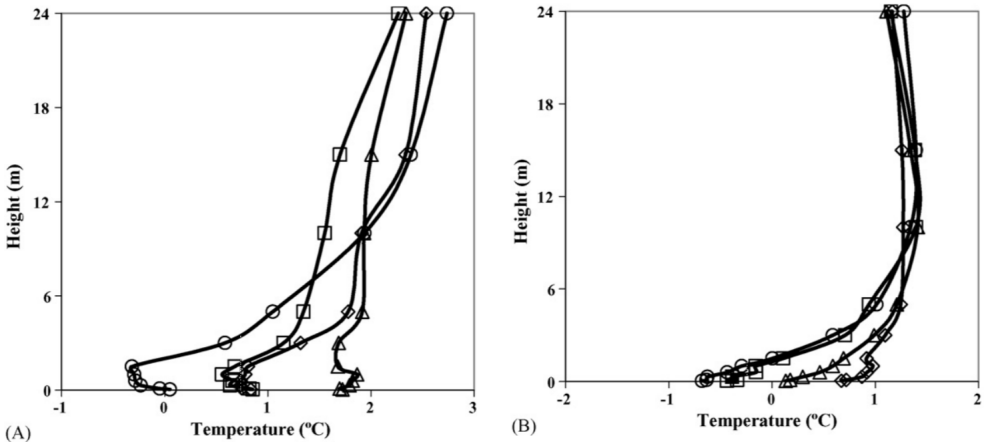


Figura 33: Perfil de temperatura medido a 30 m de la máquina de viento antes de la operación (círculo), 1 min (rombo),3 min (cuadrado) , 5 min (triángulo) evento 26/03/2000 y 28/03/2000 [9]

3.3.2. Modificación microclimática bajo los efectos de máquinas de viento estacionaria y portátil 2018

Otro estudio fue realizado por parte del proyecto Fondo de Innovación para la competitividad - Innovación para el control de Heladas realizado durante 2016 y 2017 en la comunidad de graneros en la región de O'Higgins para un huerto de peras con árboles de 4 metros dispuestos en filas con dirección NE en un terreno plano con cobertura de vegetación inferior a 10 cm, en el cual se evaluaron 2 tipos de hélices:

- Torre fija marca Amarillo Wind Machine modelo: Gas V10 de 180 HP (134.2 kW) a propano con un consumo de 45 L/hr [15], altura de 10.67 m, aspas 6 m de diámetro, ángulo de depresión de 6° y ángulo de giro de 360°
- Torre portátil marca Tow and Blow Wind de 16 kW con funcionamiento a gas y Diesel (2016-2017) cuyo consumo es de 5L/hr para el último [46], con 4 aspas de 2 m de diámetro, altura de 8 m, ángulo de depresión de 8° y ángulo de giro de 180° y 360° (para el estudio).

El objetivo fue determinar los factores que deben tomarse en consideración para un óptimo uso de las máquinas de viento y comparar las eficiencias de dichas máquinas, para esto se dispuso de una torre de control ubicada a 260 m equidistante de cada máquina con sensores de temperatura a 1.5, 4,8 y 15 m. Para medir las variables de magnitud y dirección del viento, humedad relativa y temperatura, se utilizó una estación meteorológica ubicada a 1 km (2016), luego se dispuso otra en la torre de control a 5m. (2017)

Layout Experimental
Para obtener la distribución espacial de la temperatura se ubicaron 7 torres de 4 m con dirección NE opuesta al viento y las otras 4 torres a favor, cada una con sensores a los 1.5 y 4 m. Además, se ubicaron 12 sensores de temperatura, 4 ubicados con dirección E, 4 N, 1 bajo cada máquina de viento y adicionalmente 1 de referencia a 70 m de las máquinas con dirección perpendicular NO. Posteriormente se aumentó la cantidad de sensores, los que fueron ubicados dentro del ángulo de rotación de cada máquina.
Para determinar velocidad y dirección de la ráfaga por el efecto de las máquinas, se disponen termo-anemómetros a 2 m del suelo, 7 con dirección NE (correspondiente a las filas de cultivo) y 7 NO (perpendicular a las filas).

Análisis del Control Efectivo de Heladas
El análisis incluye las mediciones donde la temperatura alcanza los 2° hasta 0° entre las 21:30-09, por tanto todo el período en que las máquinas operan está incluido, el promedio de temperatura corresponde la media hora más fría en presencia de una helada. Para identificar las zonas de protección efectiva, es decir, donde la temperatura logra elevarse entre un 30-50 % del gradiente de temperatura entre 1.5 y 15 metros en

relación a la temperatura mínima, se evalúa:

$$x = \begin{cases} 1 & y \geq (T_{1,5} - T_{15}) * T_{is} + T_{min} \\ \\ 0 & y < (T_{1,5} - T_{15}) * T_{is} + T_{min} \end{cases} \tag{1}$$

Donde $(T_{1,5} - T_{15}) * T_{is}$ corresponde al porcentaje de la inversión térmica en que aumentara la temperatura mínima T_{min}, x corresponde al valor asignado e y la temperatura interpolada. Para cada ubicación, se contabiliza en número de veces en que ocurrió el aumento de temperatura según la ecuación (1), así mientras el valor de la ubicación se acerca lo más al número de ocurrencia de eventos de helada, se considera una protección efectiva. De esta manera se logra relacionar los factores incidentes en la efectividad: la fuerza de la inversión térmica, el incremento en relación a la temperatura mínima, el área efectiva donde ocurre el aumento y la frecuencia con que ocurre para una misma posición.
Las consideraciones y resultados del estudio son los siguientes:

- Características de los eventos de heladas analizados: una cantidad de 5 y 7 eventos se analizaron en 2016 y 2017 respectivamente con duración entre 3.5 y 12 hrs, con noches claras y de baja intensidad de viento, de entre 0.13-1.04 m/s, temperaturas entre -1.3 a -7 y Humedad relativa entre 82-99 %. La intensidad de la inversión térmica fue de modera a fuerte con valores entre los 2.4 a 4.8 °C la que fue variable durante las noches al igual que la dirección natural del viento, a pesar de esto, predominantemente E-NO.

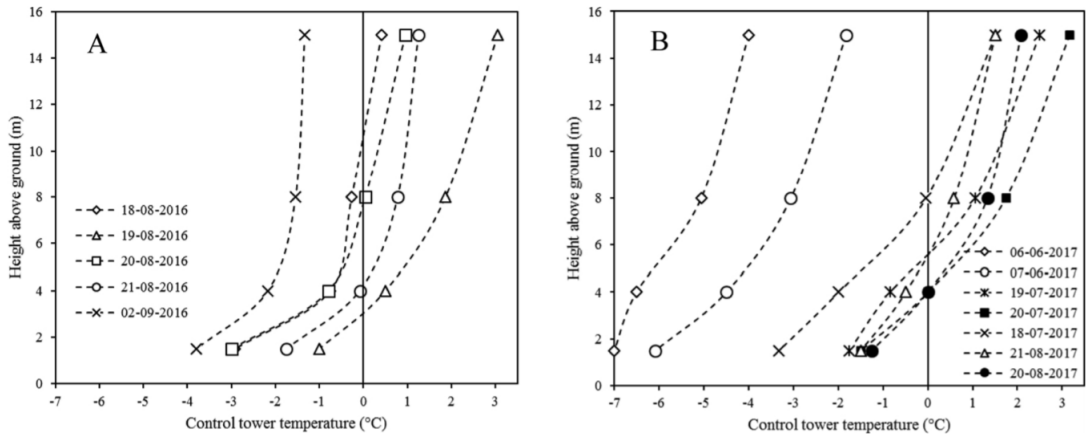


Figura 34: Promedio del perfil de inversión térmica para la media hora más fría en la torre de control con funcionamiento de las máquinas en ocurrencia de evento de Helada.

- Variabilidad espacial de la temperatura sin funcionamiento de las máquinas: Al contrastar la temperatura censada en la torre de control y en la posición de las

máquinas de viento no existe variabilidad debido principalmente a la topografía plana.

- Dependencia espacial de la temperatura sin funcionamiento de las máquinas:
  Una fuerte dependencia fue identificada, al ser la temperatura una variable regionalizada, regular en el espacio, el modelo Gaussiano predominó en exactitud para determinar la variación de la temperatura. En presencia de heladas, la variabilidad de la temperatura se hace mayor a menores distancias, debido a la intensidad de la inversión térmica, la dirección y la velocidad del viento, lo que reduce el área de protección.

- Ángulo del sector cobertura: referido a la amplitud del sector de acción de la máquina de viento, evidenciado por la mezcla del aire en cualquier tiempo. En el estudio la hélice portátil presento un ángulo de cobertura de entre 24-28° (9'33"-3'55") a diferencia de la fija que tuvo 50-56° (4'30"-6'55")

- Tiempo de rotación, alcance y velocidad:
  Establece que un mayor tiempo de rotación de las hélices portátiles a 3' 55" es contraproducente, ya que estas tienen un menor ángulo de cobertura y por tanto requieren una mayor rapidez de rotación (menor tiempo) para lograr romper la estratificación del aire apropiadamente, evitando el descenso de la temperatura nuevamente para lo cual se requiere una velocidad mínima de 1 m/s , que a pesar de lograr un menor alcance en distancia, alcanza una mejor estabilización de la temperatura. Además, determina el tiempo de rotación de las hélices fijas en máximo 5' de lo contrario la temperatura vuelve a caer y no logra romper la estratificación del aire a ninguna distancia.
  Se determinó que el alcance de la hélice portátil y fija fue similar encontrándose la máxima velocidad alcanzada entre 30-60 m, alcanzando mayor estabilidad para la última con valores entre 5-7 m/s y de 4.5 a 5 m/s para la hélice portátil, resultados para períodos de giro similares de 4'30" y con dirección paralela a las filas del cultivo (SO).
  Una menor velocidad en la ráfaga de viento fue observada para la hélice portátil debido a su menor altura, por tanto, mayor fricción y turbulencia con el cultivo y disminución de la velocidad, además de un mayor ángulo de depresión. Los valores anteriores se obtuvieron cuando el cultivo se encontraba sin follaje por lo que cabe esperar que disminuyan con el aumento de este.

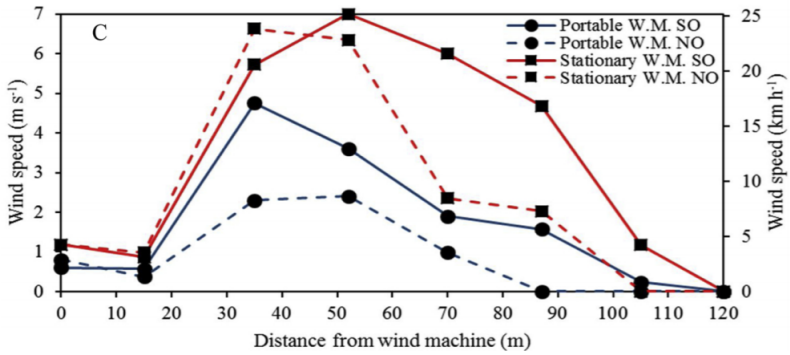


Figura 35: Evento 7/07/17, Dirección natural del viento NE, tiempo de rotación: 4’28”PM - 4’30”SM. Cada punto corresponde al promedio de 3 mediciones.[14]

- Fuerza de la inversión térmica y área de cobertura:
  Determina el área de protección en función del aumento de la temperatura para diferentes valores de inversión térmica. Al considerar la configuración más efectiva, se establece que para la hélice portátil (3’55”) un aumento entre un 30 a 50 % de la fuerza de inversión permite la protección de 2.95 a 0.28 hectáreas y para la hélice fija (4’30”) de 5.3 a 2.67 hectáreas.
  Como se puede ver en la figura la dispersión en los datos para cada una de las máquinas de viento no asegura una correcta estimación del incremento de la temperatura v/s el aumento del área protegida. La aproximación más cercana se puede obtener a partir de la máquina de viento fija para un tiempo de rotación de 4’30”, que permite establecer la disposición de una máquina de ventilación por cada 6 hectáreas para el incremento de 1° o cada 2 hectáreas para el incremento de 2.4° aproximadamente.

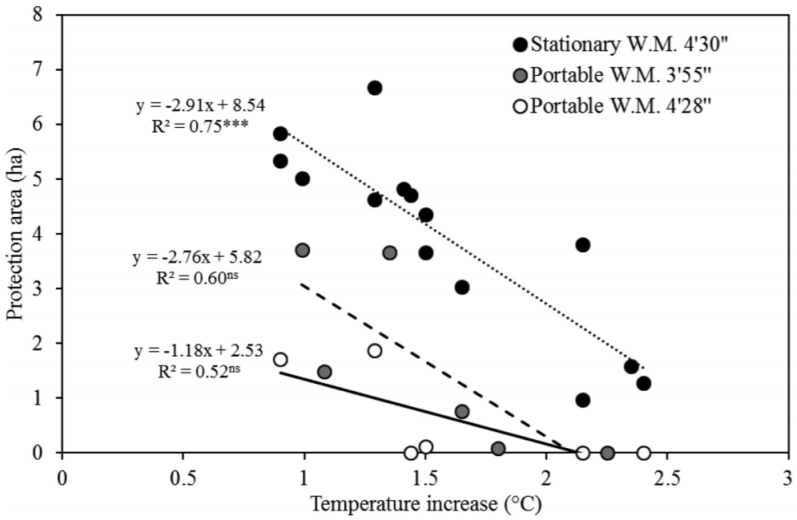


Figura 36: Área de protección en relación al incremento de temperatura

- Gradiente de temperatura vertical con funcionamiento de las máquinas de ventilación:
  Se presenta el perfil de temperatura vertical entre los 1.5 y 4 m de altura de la media hora más fría de los eventos de heladas representativos, logrando un incremento de temperatura para velocidades cercanas a 1 m/s.
  Bajo condiciones de inversión térmica débil la hélice portátil no fue efectiva, al aumentar la velocidad de barrido (disminuir el tiempo de giro), esta logró un aumento de temperatura inferior a 1.5°C entre los 2.5 y 50 m, pero no en las capas más superficiales. La efectividad de la hélice portátil está condicionada por una fuerte inversión térmica, mientras esta sea baja no lograra un incremento superior a 1°C. Por otra parte, la hélice fija logra un incremento mayor a 1.5 °C.
  El perfil de temperatura fue medido sobre las filas de cultivo en frente de las máquinas de viento lo que minimiza la fricción, por lo que el patrón de temperatura se ve afectado negativamente en distancia, altura y en dirección transversal a las filas.
  Se logra un mayor incremento de la temperatura con un menor tiempo de giro y con una mayor fuerza de la inversión térmica.

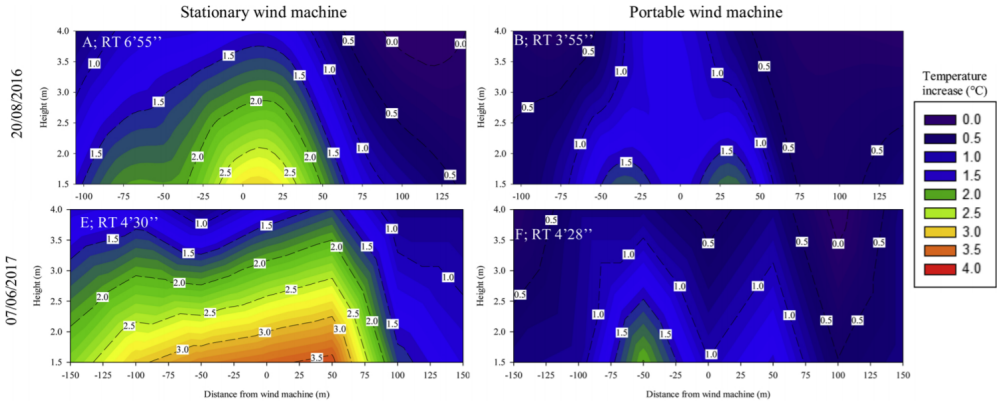


Figura 37: Variación vertical de la temperatura en operación de las máquinas de viento y diferentes períodos de giro

- Gradiente de la temperatura espacial con funcionamiento de las máquinas:
  El efecto en el aumento de la temperatura se ve disminuido con el aumento a la distancia de las máquinas, lo que se acentúa en dirección contraria a la del flujo natural del viento.
  Debido a la variabilidad en la dirección natural del viento no se registra un modelo determinado en la distribución espacial de la temperatura.

- Efectividad:
  La efectividad de las máquinas de viento depende de un conjunto de factores, los que no pueden analizarse por separado sino más bien en su interacción para determinar la eficiencia de las máquinas. Estos factores son tanto ambientales

propios de sector de análisis como de las máquinas de estudio. Entre los primeros se encuentran la temperatura, fuerza de la inversión térmica y su estabilidad, humedad relativa, dirección y magnitud del viento. Por otra parte, los propios de la máquinas de viento se encuentran, la velocidad y el tiempo de giro, el ángulo de depresión y de cobertura, así como la altura de estas.

4. Marco Teórico

4.1. Caracterización Termodinámica de la Atmósfera

El estado termodinámico del aire queda determinado por 3 variables: Densidad, Temperatura y Presión.
La Densidad es definida como la masa por unidad de volumen, debido a la compresibilidad del aire, esta puede variar si la velocidad de la masa de aire es considerable.

$$\rho = \frac{m}{V}\left[\frac{kg}{m^3}\right] \tag{2}$$

La Temperatura es responsable del movimiento de las moléculas según:

$$T = aM_w v^2[K] \tag{3}$$

Donde a = 410^{-5} K$m^{-2}s^2$ y M_w el peso molecular. La variación de la temperatura con la altura se obtiene para una **atmósfera estándar: modelo idealizado de la estructura de la atmósfera seca y estable para obtener una aproximación de las condiciones promedio en función de la altura.**
Se define el **Potencial de temperatura** θ como la temperatura que tendría un volumen de aire al ser comprimido o expandido adiabáticamente a una presión de referencia P_0, en general 100 kPa [19][20]. Representa una variable conservativa en un proceso adiabático, es decir, se mantiene constante.

$$\boxed{\theta = T\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{R_d}{C_p}}} \tag{4}$$

$$\boxed{\theta(z) = T(z) + \Gamma_d * z} \tag{5}$$

Donde Γ_d corresponde a tasa de decaimiento que será definida posteriormente y $\frac{R_d}{C_p}$ toma un valor de 0.286[19][20] . **En capa limite, en general se utiliza la presión de referencia a nivel de la superficie**.

Para considerar procesos donde existe transferencia de calor de algún tipo se deben incluir los efecto de la flotabilidad del vapor de agua o agua líquida presente en el aire, para lo que se define el **Potencia de temperatura virtual** θ_v. Donde Γ_d corresponde a tasa de decaimiento que será definida posteriormente y $\frac{R_d}{C_p}$ toma un valor de 0.286[19][20].

En capa limite, en general se utiliza la presión de referencia a nivel de la superficie. Para considerar procesos donde existe transferencia de calor de algún tipo se deben incluir los efecto de la flotabilidad del vapor de agua o agua líquida presente en el aire, para lo que se define el **Potencia de temperatura virtual** θ_v.

$$\theta_v = \theta(1+0{,}61\omega) = \theta(1+0{,}61\omega_s - r_L) \tag{6}$$

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{0{,}622 * P_v}{P - P_v} \tag{7}$$

$$\omega_s = \frac{0{,}662 * P_s}{P - P_s} \tag{8}$$

$$r_L = \frac{m_L}{m_a} \tag{9}$$

$$P = P_a + P_v \tag{10}$$

Donde ω corresponde a la Humedad Específica, que representa la cantidad de masa de vapor de agua m_v por unidad de masa de aire seco m_a, ω_s representa la cantidad de vapor de agua en aire saturado a una presión y temperatura especifica [19], bajo estas condiciones, la humedad agregada condensará. P_v y P_s representan presión de vapor y de saturación. Finalmente, r_L la tasa de mezclado de agua líquida, que representa la masa de agua líquida por masa de aire seco.
Es importante considerar la humedad relativa ϕ, en vista de que es la variable que comúnmente se mide y de la cual se tiene registro. Esta representa la cantidad de vapor de agua que contiene el aire versus la máxima cantidad que puede que puede contener a una misma temperatura.

$$\phi = \frac{m_v}{m_s} = \frac{P_v}{P_s} \tag{11}$$

$$\phi = \frac{\omega P}{(0{,}662+\omega)P_s} \tag{12}$$

De la ecuación (5) y (11) se obtiene una relación para la temperatura potencial en base a la humedad relativa del aire:

$$\boxed{\theta_v = \theta\left(\frac{P-0{,}6\phi P_s}{P-\phi P_s}\right)} \tag{13}$$

La Presión decrece casi exponencialmente con la altura en la atmósfera bajo los 105 km, disminuyendo más rápidamente cerca de la superficie. Sin embargo, **en los primeros 3 km de la atmósfera tiene un comportamiento lineal con la altura, disminuyendo 10 kPa por cada km [19]**. La presión es causada por el peso del aire a una altura determinada, por tanto, es mayor en el fondo de la atmósfera. Además se considera **Isotrópica y Monótona**: ejerce el mismo empuje en todas las direcciones y su variación es solo en una dirección.

Para relacionar las variables termodinámicas se utiliza la **Ecuación de Estado**:

$$P = \rho RT \tag{14}$$

Donde R es la constante del gas, para el aire seco corresponde a R_d= 287.053 J/K*kg permitiendo llamar a la ecuación anterior como: **Ecuación de Gas Ideal**.

Si el aire es húmedo entonces la ecuación debe considerar los efectos del vapor de agua o agua líquida en la densidad por medio de la **Temperatura Virtual** T_v, entendida como la temperatura del aire seco para igualar la densidad del aire húmedo a la misma presión, así las variaciones de la temperatura virtual pueden considerarse en reemplazo de las variaciones de densidad.[20]

$$T_v = T(1+0{,}61\omega) \tag{15}$$
$$T_v = T(1+0{,}61\omega - r_L) \tag{16}$$

Así el aire húmedo a una temperatura T se comportará como aire seco a una temperatura T_v [19] y reescribiendo la ecuación de gas ideal:

$$\boxed{P = \rho R_d T_v} \tag{17}$$

El **Equilibrio Hidrostático** en un estado estacionario del aire se logra cuando las fuerzas de la presión sobre y debajo de un volumen de aire son igualadas con la fuerza de gravedad. Relacionando dicho equilibrio con la ley de gas ideal se obtiene la **Ecuación Hipsométrica** [19] que permite obtener la variación de la presión según la altura para un perfil de temperatura arbitrario.

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial z} &= -\rho|g| \quad [Pa/m] \\ z_2 - z_1 &= a\overline{T_v} ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \\ a &= \frac{R_d}{|g|} = 29{,}3 \quad [m/K] \end{aligned}} \tag{18}$$

Donde g corresponde a la aceleración de gravedad y $\overline{T_v}$ es el promedio de la temperatura virtual entre las alturas z_1 y z_2.

La **Primera ley de la Termodinámica** establece la conservación de la energía haciendo un balance de esta en cualquiera de sus formas, principalmente calor y trabajo. Establece que el cambio de temperatura de una parcela de aire es generado por la adición de calor o por el trabajo realizado sobre o por esta, describiendo los estados dinámicos y termodinámicos.

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho C_p}\left[\frac{\partial \zeta_x}{\partial x} + \frac{\partial \zeta_y}{\partial y} + \frac{\partial \zeta_z}{\partial z}\right] + \frac{1}{C_p}\frac{\partial S_0}{\partial t} \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= -\left[\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right] + \frac{1}{C_p}\frac{\partial S_0}{\partial t} \end{aligned}} \tag{19}$$

Donde ζ_i y F_i corresponde al flujo de calor en W/m^2 y mK/s respectivamente y el término $\frac{\Delta S_0}{C_p \Delta t}$ representa una fuente de calor. C_p el calor específico del aire húmedo, que puede ser relacionado con el aire seco por medio de:

$$\boxed{C_p = C_{pd}(1+0{,}84\omega)} \tag{20}$$

Con C_{pd}= 1004.67 J/kgK [19]. El termino F_i puede representar calentamiento radiativo, calor latente durante la condensación, disipación de energía turbulenta en forma de calor, calor de reacciones químicas, convección o interacción turbulenta, entre otras.

Se hace relevante conocer la **Tasa de decaimiento** Γ del proceso, que representa la variación de la temperatura con la altura $\partial T/\partial z$. En un proceso adiabático seco el gradiente de temperatura Γ_d es constante, con un valor numérico de -9.8 K/km [19], el cual aplica al aire húmedo o seco, sin la presencia de un cambio de fase por parte del agua contenida, relacionando la variación de la temperatura con el desplazamiento vertical. Utilizando la definición de Γ_d, la ley de gases ideales y la primera ley se puede obtener:

$$\boxed{\begin{array}{rcl} \Gamma_d = \frac{\partial T}{\partial z} & = & -\left[\frac{|g|}{C_p}\right] = -9{,}8\left[\frac{K}{km}\right] \\ \frac{\partial T}{T} & = & \left(\frac{\partial P}{P}\right)^{\frac{R_d}{C_p}} \end{array}} \tag{21}$$

Donde $R_d/C_p = 0{,}29571$ [19] para aire seco. Por otra parte, un gradiente de temperatura adiabático húmedo o saturado Γ_s, ocurre si existe agua líquida o solida presente en el aire que experimenta un cambio de fase, representativo de aquellos casos que producto del enfriamiento del aire se alcanza la temperatura de roció y se satura, invalidando solo en este caso a Γ_d. Al existir cambio de fase, con liberación o absorción de calor latente se genera una variación en función de la presión y la temperatura del aire.

$$\Gamma_s = \Gamma_d \frac{1+(d\omega_s/T)}{1+(b\omega_s/T^2)} \tag{22}$$

$$\frac{\partial T}{\partial P} = \frac{aT + c\omega_s}{P[1+(b\omega_s/T^2)]} \tag{23}$$

Con $a = 0{,}28571$, $b = 1{,}35x10^7[K^2]$, $c = 2488{,}4$ [K], $d = 8711$ [K] y $\Gamma_d = 9{,}8$[K/km] [19].
Cerca de la superficie Γ_s tiene un valor aproximado de 4 [K/km] llegando a 6 [K/km] al medio de la troposfera e igual a Γ_d a mayores alturas.[19]

El **Gradiente del flujo de calor** $\partial F/\partial x_i$ de la ec. (19) puede ser causado por diferentes fenómenos como: advección, convección, turbulencia, radiación y conducción.

El **Flujo Advectivo** se relaciona con el flujo de calor siendo soplado desde o hacia una región por el viento en un movimiento horizontal y se comporta de manera turbulenta

pero su efecto neto se anula [19]. Si la variación de la velocidad del viento es pequeña en el sitio de estudio, entonces se puede considerar:

$$\boxed{\begin{array}{rcl} \frac{\partial F_{x,adv}}{\partial x} & = & \frac{u(T_{right}-T_{left})}{x_{right}-x_{left}} = u\frac{\partial T}{\partial x} = u\frac{\partial \theta}{\partial x} \\ \frac{\partial F_{y,adv}}{\partial y} & = & v\frac{\partial T}{\partial y} = v\frac{\partial \theta}{\partial y} \end{array}} \tag{24}$$

El **Flujo Convectivo** describe el movimiento vertical generado por la flotabilidad, se presenta en 2 formas: Calor sensible y latente ambos con un comportamiento turbulento.
El **Calor sensible** está relacionado con la temperatura del aire y el **Calor latente** depende del contenido de agua y se refleja mediante un cambio de fase, de allí la relevancia de la humedad. La componente sensible del flujo convectivo tiene un comportamiento turbulento que generalmente es considerable [23].

La **Turbulencia** es un fenómeno aleatorio del movimiento de las parcelas de aire provocados por remolinos de entre 2 mm a 2 km. La interacción entre parcelas de aire a distintas temperaturas y provenientes de diferentes localizaciones generan el flujo de calor, su efecto homogeniza estas parcelas en relación al gradiente de temperatura, velocidad del viento y humedad.
El análisis local de la turbulencia de la componente sensible del flujo convectivo requiere despreciar los remolinos a gran escala, lo que se realiza por medio de la teoría *K o gradiente de transporte* que entrega una buena aproximación para regiones donde la capa superficial corresponde hasta el 10 % de la capa limite atmosférica y establece que el calor fluye bajo un gradiente del potencial de temperatura desde una mayor a una menor [19].

$$\boxed{\begin{array}{rcl} F_{conv,z} & = & \overline{w'\theta'} = -K\frac{\partial \theta}{\partial z} \\ K & = & k^2 z^2 \left|\frac{\partial M}{\partial z}\right| \end{array}} \tag{25}$$

K se denomina viscosidad de remolino, tiene unidades de m^2/s y toma valores mayores a medida que aumenta la intensidad de la turbulencia, k=0.4 corresponde a la constante de Von Kármán's [19] y $\frac{\partial M}{\partial z}$ el esfuerzo cortante del viento, obtenido de la variación de la velocidad M con respecto a la altura z. **La teoría K funciona adecuadamente para capas superficiales ventosas y tiene dificultades para una capa limite convectiva** donde no es adecuado su uso. Sin contemplar el efecto de la turbulencia, el flujo de calor convectivo de la componente sensible, se puede obtener como:

$$\boxed{\begin{array}{rcl} \frac{\partial F_{conv,z}}{\partial z} & = & w\left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma_d\right) \\ \frac{\partial F_{conv,z}}{\partial z} & = & w\frac{\partial \theta}{\partial z} \end{array}} \tag{26}$$

El Flujo Radiativo se considera despreciable en el calentamiento del aire, en vista de

que este se comporta transparente a la radiación de onda corta proveniente del sol. A pesar de esto, la radiación afecta la superficie terrestre y es esta la que genera un calentamiento del aire. A pesar de que el 100 % de la radiación emitida por el sol incide sobre la atmósfera, solo el 25 % llega a la superficie de la tierra como radiación directa y un 26 % como radiación difusa debido a la dispersión (un total del 51 %) [22]. La energía restante, es absorbida por los componentes de la atmósfera como nubes y gases (19 %) y lo demás se refleja hacia el espacio (30 % correspondiente al albedo planetario), producto de la dispersión de la atmósfera (6 %), la reflexión de las nubes y del suelo (20 y 4 %)[22]. Debido a la alta temperatura con la que irradia el sol ingresan a la atmósfera ondas de longitud de onda corta, a su vez que la tierra lo hace en longitudes de onda larga, lo que se explica por la ley de desplazamiento de Wien [10]:

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T_k} \tag{27}$$

Donde T_k corresponde a la temperatura de objeto que emite. Así la radiación de onda corta neta $R_{n,c}$ que incide sobre la superficie se expresa como [10]:

$$R_{n,c} = R_{d,c} + R_{u,c} \tag{28}$$

R_u y R_d corresponden a los flujos de radiación de onda corta hacia arriba, proveniente de la reflexión, y radiación de onda hacia abajo, la que incide directamente. La fracción de la radiación de onda corta que es reflejada corresponde al *albedo* α_s, que permite relacionar las componentes del flujo de radiación de onda corta [10] como:

$$R_{u,c} = \alpha_s R_{d,c} \tag{29}$$

$$R_{n,c} = (1 + \alpha s) R_{d,c} \tag{30}$$

De forma similar a la radiación de onda corta, se define la radiación neta de onda larga $R_{n,L}$ en relación a las perdidas y ganancia de este tipo de radiación con respecto a la superficie:

$$R_{n,L} = R_{d,L} + R_{u,L} \tag{31}$$

Debido a que la temperatura de la atmósfera a gran altura es mucho menor a la de la superficie, la radiación de onda larga en dirección a la atmósfera es mucho mayor que la dirigida hacia la superficie. Según [10] $R_{n,L}$, depende de la nubosidad y es estimada según la temperatura como:

$$\boxed{\begin{array}{c} R_{n,L} = -f\varepsilon_0\sigma T^4 \\ f = 1{,}35\frac{R_d}{R_0} - 0{,}35 \end{array}} \tag{32}$$

Con la temperatura en [K], f contempla la nubosidad existente durante el día, cuyos valores se sitúan entre 0.055 y 1 donde 0.055 corresponde a nubosidad total y 1 para cielos completamente despejados y R_0, la radiación en un día con f=1 (que corresponde

a un valor de R_d/R_0 de 0.3). Para determinar f durante la noche no se tiene un modelo exacto, pero para noches despejadas (como es el caso general de una helada) se utiliza un valor de 1 [10]. Finalmente ε_0 representa la emisividad neta aparente, entre la superficie y el cielo:

$$\boxed{\varepsilon_0 = 0{,}34 - 0{,}139\sqrt{P_v}} \tag{33}$$

Con P_v la presión de vapor en [KPa]. **Debido a que la temperatura media de la tierra es constante en el tiempo, debe existir un balance entre la radiación entrante y saliente, así la radiación que incide sobre la superficie de la tierra desde el sol $R_{d,c}$ y de la atmósfera $R_{d,L}$ debe ser igual a la cantidad de energía que se refleja desde la superficie $R_{u,c}$ más la que emite la tierra hacia el espacio $R_{u,L}$ [22].**

$$\boxed{R_n = R_{n,c} = R_{n,L}} \tag{34}$$

4.1.1. Balance Energético

Como se mencionó con anterioridad la energía almacenada por la superficie de la tierra durante el ciclo diurno del sol es el responsable del calentamiento o enfriamiento del aire. De lo anterior, se realiza un balance de energía en una superficie [19] [10] [21].

$$\Delta R_n = \Delta Q_{cond} + \Delta Q_{conv,l} + \Delta Q_{conv,s} \quad [W/m^2] \tag{35}$$

Se considera que el flujo de calor radiante ΔR_n incide durante el día sobre la superficie y por la noche, debido al gradiente de temperatura con el espacio exterior, se invierte y la energía es libera hacia la atmósfera.

El flujo por conducción ΔQ_{cond} es el responsable del calentamiento interno de la tierra durante el día hasta los 0.5 m de profundidad [4], la velocidad de este flujo depende de los componentes del suelo, el grado de porosidad y el contenido de humedad. Se puede estimar mediante la siguiente parametrización:

$$\boxed{\Delta Q_{cond} = X \Delta R_n} \tag{36}$$

Donde X toma un valor de 0.1 durante el día y 0.5 durante la noche [19] [23] [20], de manera alternativa, se puede estimar como $\boxed{Q_{cond} = 0{,}3 Q_{conv,l}}$ [20]. El signo de Q_{cond} debe ser el mismo que R_n o $Q_{conv,l}$ según corresponda [23].

El flujo convectivo de calor sensible $\Delta Q_{conv,s}$ y de calor latente $\Delta Q_{conv,l}$, describen la energía del aire en relación a la temperatura y la evaporación o condensación del agua, es decir, la adición o extracción de vapor de agua. Durante el día la energía radiante puede vaporizar agua y por tanto, aumentar el contenido de calor latente en el aire. Debido a que la temperatura de la superficie es mayor a la del aire, se produce un gradiente de temperatura que favorece el flujo de calor sensible hacia las capas de aire más cercanas. Por la noche, se invierte el sentido del flujo, al disminuir progresivamente la

temperatura del suelo y por tanto, el flujo de calor sensible es en dirección a la superficie, lo mismo ocurre con el contenido de calor latente que disminuye producto de la perdida de vapor de agua debido a la condensación por la disminución de la temperatura.

Para relacionar $\Delta Q_{conv,s}$ y $\Delta Q_{conv,l}$ se utiliza el método de la *razón de Bowen* β,que relaciona ambos flujos sobre una superficie. Los valores β son mayores para superficies secas y menores para aquellas húmedas, siendo 0.1 sobre el océano, 0.2 para zonas de riego y 0.5 en prados y bosques [19] [23].

$$\boxed{\begin{array}{ll} \beta & = \frac{Q_{conv,s}}{Q_{conv,l}} = \gamma \frac{\delta\theta}{\delta\omega} \\ \partial\theta & \approx T(z_2) - T(z_1) + 0{,}0098 \left[\frac{K}{m}\right](z_2 - z_1) \end{array}} \tag{37}$$

$$\Delta\omega \approx \omega(z_2) - \omega(z_1) \tag{38}$$

$$\gamma = 0{,}4 \left[\frac{m_v}{m_a * K}\right] \tag{39}$$

Donde γ corresponde a la constante psicométrica o pendiente de la curva de enfriamiento por evaporación. Como se puede ver en la ecuación anterior, el valor de β se puede obtener fácilmente al medir a 2 alturas la humedad especifica (por medio de la humedad relativa) y el potencial de temperatura. **De lo anterior se desprende que con mediciones de humedad y temperatura a 2 alturas junto con el flujo neto de radiación se pueden obtener los flujos verticales de calor y de humedad.** Al realizar un balance en un volumen fijo de aire se obtiene:

$$\boxed{\Delta R_n = \Delta Q_{cond} + \Delta Q_{conv,l} + \Delta Q_{conv,s} + \Delta Q_{adv} + \Delta S + P_r \quad [W/m^2]} \tag{40}$$

Donde los flujos ΔQ_{cond}, $\Delta Q_{conv,l}$, $\Delta Q_{conv,s}$ corresponden a los mencionados anteriormente. El flujo advectivo Q_{adv} es representativo de masas de aire cálido o frío en movimiento horizontal que provocan el aumento o descenso de la temperatura, los que tienen su origen en el calentamiento desuniforme de la tierra entre las zonas polares y ecuatoriales.

La variable P_r representa la energía relacionada con la fotosíntesis y la respiración de las plantas, que, por su orden de magnitud, generalmente se desprecia en los balances de energía.[10]

Finalmente, el termino ΔS representa el cambio en la energía almacenada en el volumen de control, con un valor positivo si aumenta (ascenso de la temperatura), negativo si disminuye (descenso de la temperatura) y cero si existe equilibrio térmico.

4.1.2. Fenómeno de la Helada

A pesar de que su significado apunta a la formación de hielo sobre las superficies, tiene una connotación más práctica en relación al evento meteorológico responsable de daños en los cultivos por congelación o permanencia de bajas temperaturas por períodos de tiempo determinados, específicamente a temperaturas bajo cero grados donde el aire más frió se ubica en la zona más baja, y por esta razón la temperatura de la superficie puede llegar a ser de 2 a 3 grados menor que la registrada por la unidad meteorológica (1.5 m). Estos eventos son desencadenados principalmente por el enfriamiento de la superficie, la perdida de calor es del orden de 1000 kW por hectárea [24] y pueden estar acompañadas o no de roció o escarcha, en cuyo caso se conocen como heladas blancas asociadas a mayor humedad en el aire. Lo contrario ocurre en las heladas negras, las que se caracterizan por ser más dañina, en vista de la ausencia de la energía liberada por la condensación o congelación del vapor de agua que permite contrarrestar el descenso de la temperatura asociadas a un ambiente seco.

El efecto de las heladas en los cultivos es difícil de cuantificar, en vista de que la sensibilidad de estos a las bajas temperaturas depende de la especie considerada. En chile, la presencia marina, modera el comportamiento de las heladas invernales, pero debido a su topografía accidentada, existe una variabilidad sobre su comportamiento en puntos cercanos geográficamente, por lo que no se puede generalizar su efecto en la agricultura.

4.1.3. Clasificación de las Heladas

Según su origen:

Por Advección: se producen por efecto de un frente de frío a macroescala (generalmente bajo cero grados) proveniente del polo sur que ingresan a la zona central del continente, abarcando grandes extensiones con vientos turbulentos de velocidades superiores a 10 km/hr. La temperatura se ve influenciada por la variación de la radiación solar y el comportamiento del viento, manteniéndose prácticamente constante desde la superficie hasta los 50 m de altura.

Por Radiación: son de carácter microclimático y las bajas temperaturas se generan en condiciones de baja humedad, poco movimiento del aire, cielos despejados y temperaturas superiores a 0 durante el día y bajo este límite por las noches, por lo que el flujo radiativo desde la superficie se pierde hacia la atmósfera debido al gradiente de temperatura entre estos.
En vista de la pérdida de calor de la superficie, las capas de aire más próximas se enfrían continuamente (pérdida de calor sensible) aumentando su densidad formando una capa de inversión térmica, correspondiente al ascenso de la temperatura con la altura (inverso al comportamiento normal de la temperatura). La altura de la capa de inversión depende de la topografía local y de las condiciones meteorológicas, con un rango de 9 a 60 m.

A pesar de las diferencias, los dos tipos de heladas pueden estar relacionadas en lo que se conoce como **heladas mixtas** que se generan en condiciones de helada advectivas que continúan con días despejados, baja velocidad del aire y humedad, lo que conduce a heladas radiativas, advectiva-radiativa o radiativa seguida de una leve advectiva. En los dos últimos casos los daños son mayores a nivel de suelo y en el primer caso, a nivel de suelo tanto como en altura, no así a nivel intermedio.

Según fecha de ocurrencia:

Las **primaverales o tardías** se caracterizan por ocurrir en noches claras sin nubes, baja humedad y viento escaso o inexistente, que repercute en la máxima perdida de radiación desde la superficie. Afectan principalmente a los frutos anuales y los perennes frutales, que se encuentran con brotes recién emergidos y flores respectivamente.
Por otra parte, las **Otoñales o tempranas** ven afectadas aquellas especies que se encuentren en floración o con frutos, interrumpiendo bruscamente su proceso de maduración y formación de yemas afectando la producción sucesiva.
Las **invernales** son las más numerosas, pero no las más críticas, en vista de que generalmente las plantas se encuentran en reposo vegetativo, es decir, detienen su actividad de crecimiento según la especie, soportando mejor las bajas temperaturas.

4.1.4. Balance de Energía en una helada

Corresponde al mismo balance energético de la ec.(40), por noches en presencia de helada, el flujo radiativo neto es en dirección a la atmósfera, la radiación neta de onda larga $R_{n,L}$ toma valores entre 73 y 95 W/m2, en relación a la temperatura y la humedad. Con cielos totalmente cubiertos se espera un valor cercano a 10 W/m2 para nubes bajas y 80 W/m2 para noches despejadas.[10]

$$10 \leq R_L \leq 95 \quad [W/m^2] \tag{41}$$

El flujo advectivo neto es prácticamente cero [10] si se considera el caso general y más frecuente de la una helada radiactiva y P_r es insignificante en relación al orden de magnitud de las otras componentes del balance energético [10].

Si se considera que no existe rocío ni formación de hielo y la evaporación es mínima, la componente del flujo convectivo por calor latente es despreciable $\Delta Q_{conv,l}$[10], por otra parte, la componente de calor sensible es en dirección a la superficie por la disminución de la temperatura de esta en relación a aire. Lo anteriormente descrito, determina un valor negativo para ΔS y tanto el aire como el cultivo se enfrían. Considerando la ec.(36) para ΔQ_{cond} el balance se expresa como:

$$(1-X)\Delta R_n = \Delta Q_{conv,s} + \Delta S \quad [W/m^2] \tag{42}$$

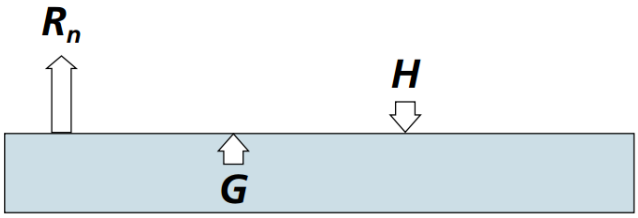


Figura 38: Balance de energía de una superficie durante una helada radiactiva, antes del alba sin condensación [10]

Si se considera la ocurrencia de condensación de vapor, entonces la componente latente del flujo convectivo se debe incluir en el balance energético.

$$(1-X)\Delta R_n = \Delta Q_{conv,l} + \Delta Q_{conv,s} + \Delta S \quad [W/m^2] \tag{43}$$

$$(1-X)\Delta R_n = \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right)\Delta Q_{conv,s} + \Delta S \tag{44}$$

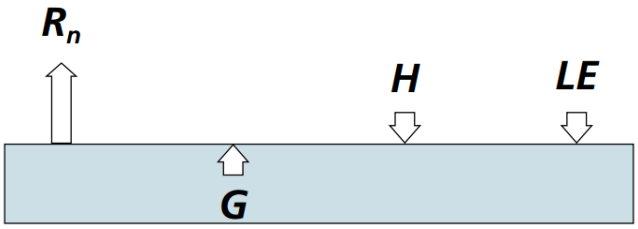


Figura 39: Balance de energía de una superficie durante una helada radiactiva, antes del alba considerando condensación [10]

En general para las heladas radiativas, la convección es prácticamente nula lo que impide la mezcla del aire frío con el cálido, determinando temperaturas muy bajas a ras de suelo.[25]

4.1.5. Factores relevantes en la intensidad de una Helada

Pueden ser analizados desde el punto de vista macrometeorológico y micrometeorológico. En el primer caso los factores son el balance calórico de radiación y la circulación regional de la atmósfera, los que determinan la época de ocurrencia, la extensión geográfica y el tipo de helada. Por otra parte, los factores micrometeorológicos modifican puntualmente la circulación de aire en las zonas cercanas al suelo, estos son:

Nubosidad: la presencia de nubes permite moderar las variaciones de la temperatura, pues evitan las pérdidas de energía actuando como una barrera absorbiendo el calor proveniente de la superficie, aumentan su temperatura y reemiten hacia la superficie.
La nubosidad es medida en octavos u octas: que corresponde a la octava parte de la bóveda celeste, donde el menor valor 0 corresponde a un cielo totalmente despejado y uno totalmente cubierto con 8. En el caso de las heladas, son características de octas de entre 0 y 2, imposibilitando la ocurrencia de heladas radiativas con valores de 7 y 8.[25]

1. (0/8): No hay nubes. Cielo completamente despejado
2. (1/8): Un octa o menos, escasas nubes
3. (2/8): Dos octas de cielo cubierto
4. (3/8): Tres octas de cielo cubierto
5. (4/8): Cuatro octas de cielo cubierto
6. (5/8): Cinco octas de cielo cubierto
7. (6/8): Seis octas de cielo cubierto
8. (7/8): Siete octas de cielo cubierto. Cielo casi cubierto aunque no completamente.
9. (8/8): Ocho octas. Cielo cubierto completamente

Velocidad del viento: produce la turbulencia encargada de homogeneizar las temperaturas de las masas cálidas superiores con las más frías e inferiores, disminuyendo el riesgo de helada y evitando la acumulación de aire frío en sectores bajos.
La velocidad característica de las heladas va entre 0 a 2 m/s impidiendo la presencia de heladas radiativas con velocidades superiores a 5 m/s.[25]

Humedad del aire: el vapor de agua presente en el aire absorbe eficazmente la energía irradiada por la superficie y devuelve parte de esta. El descenso de la temperatura en presencia de un ambiente húmedo puede desencadenar roció o neblina e incluso hielo si se alcanza la saturación. En estos casos la liberación de energía por el cambio de fase del vapor de agua permite contrarrestar el efecto de la disminución de la temperatura en la superficie.

Inclinación y exposición del terreno
Debido a la mayor densidad del aire frío, este se desliza por las pendientes acumulándose en los lugares más bajos, fomentando la ocurrencia de heladas, siendo posible evitarlas en cultivos dispuestos en los sectores más altos del valle. La orientación de los cultivos influye en relación a la radiación a la que se expone, así aquellos orientados hacia el norte reciben mayor radiación solar y por tanto, almacenan una mayor reserva de calor para disipar durante la noche.

4.2. Ecuaciones Gobernantes

4.2.1. Ecuación de Continuidad

Las moléculas de aire no se convierten en energía por lo tanto la masa se conserva, así la masa dentro de un volumen fijo corresponde a la diferencia entre la masa que entra y sale de este, lo anterior es descrito por la ecuación de balance de masa.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \tag{45}$$

La densidad a una altura fija, cambia ligeramente con la humedad y la temperatura en condiciones climáticas comunes. Por esto, puede ser despreciado el cambio de la densidad dentro del volumen y se considera al aire como un fluido incompresible. De lo anterior la ecuación de continuidad se puede reescribir como:

$$\boxed{\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0} \tag{46}$$

Entorno a los centros de baja presión cercanas a la superficie, el arrastre producto de la turbulencia genera la entrada de un flujo horizontal dentro de la Capa límite atmosférica (CLA), el que es balanceado por la salida de un flujo vertical desde el límite superior, característico de mal tiempo. En cuanto a los centros de alta presión, el arrastre producto de la turbulencia genera la salida de un flujo horizontal balanceado por un flujo vertical entrante en el límite superior de la CLA, característico de buenas condiciones climáticas.

4.2.2. Ecuación de Momentum

Las fuerzas causan que las parcelas de aire se aceleren o desaceleren, la relación entre estas fuerzas se conoce como dinámica atmosférica. La presión, el arrastre y la advección son algunas de estas fuerzas que actúan horizontalmente. Las fuerzas aparentes, causadas por la rotación de la tierra, la trayectoria del viento alrededor de una curva.

Algunas de estas fuerzas dominan en diferentes partes de la atmósfera y bajo ciertas condiciones climáticas. La ecuación de momentum permite relacionar las fuerzas actuando sobre una parcela de aire con el perfil de velocidad a partir de la segunda Ley de Newton:

$$\overrightarrow{F_{neta}} = m\overrightarrow{a} = m\frac{\partial \overrightarrow{V}}{\partial t} \tag{47}$$

$$\frac{\partial \overrightarrow{V}}{\partial t} = \frac{\overrightarrow{F_{neta}}}{m} \tag{48}$$

Donde $\overrightarrow{F_{net}}$ representa el vector de la fuerza neta actuando sobre la parcela de aire. Los vientos horizontales son descritos en las dos componentes u,v del vector velocidad $\overrightarrow{V}$,

donde la primera corresponde a las componentes del viento en dirección Oeste-Este y la segunda la componente Norte-Sur.

La **fuerza horizontal neta** actuando sobre una parcela de aire está compuesta por la contribución de la advección, el gradiente de presión y el arrastre turbulento. La **advección** además de inyectar aire a diferente presión y humedad a una región, puede inyectar aire con diferencias de momentum respecto al volumen fijo. Así las componentes de la fuerza advectiva son:

$$\frac{\overrightarrow{F_{adv,x}}}{m} = -u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} \tag{49}$$

$$\frac{\overrightarrow{F_{adv,y}}}{m} = -u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} \tag{50}$$

De las ecuaciones se desprende que sin un cambio la velocidad del viento no existe un flujo de momentum debido a la advección.
La **fuerza del gradiente de presión** $\overrightarrow{F_{i,PG}}$ actúa desde los centros de alta presión a los de baja y es independiente de la velocidad del viento pues en ella recae su origen y su efecto, aceleración, desaceleración o cambios en la dirección del viento existente. Además utilizando la ecuación hidrostática, $\overrightarrow{F_{i,PG}}$ esta dada por:

$$\frac{F_{x,PG}}{m} = \frac{-1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} \tag{51}$$

$$\frac{F_{y,PG}}{m} = \frac{-1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} \tag{52}$$

Donde $\delta P/\delta x$ representa el cambio de la presión en x (similar en y) y su signo negativo indica que la fuerza se dirige desde mayor a menor presión. El gradiente de presión es la única fuerza que puede manejar los vientos horizontales. La **Fuerza Centrífuga** F_{CN}, representa el movimiento no rectilíneo de objeto bajo su efecto, cambiando su dirección, generando una trayectoria curva empujando hacia afuera del centro de curvatura.

$$F_{CN,x} = sv\frac{|v|}{R} \tag{53}$$

$$F_{CN,y} = -su\frac{|u|}{R} \tag{54}$$

Donde R corresponde al radio de curvatura y coeficiente s depende de las condiciones de circulación de aire, según el hemisferio y los centros de alta o baja presión.

Hemisferio	Baja presión	Alta presión
Norte	1	-1
Sur	-1	1

Cuadro 8: coeficiente s

La **fuerza de Coriolis** F_{CF} es generada por la rotación de la tierra y tiene una influencia a macroescala, generando cambios en la dirección del viento.

La **Fuerza de arrastre turbulento** F_{TD}, se genera por el arrastre del aire en contra de la superficie de la tierra, por lo que esta incrementa con la velocidad del viento. Dentro de la atmósfera solo la CLA de profundidad z_i experimenta su efecto:

$$\frac{F_{TD,x}}{m} = -w_T \frac{u}{z_i} \tag{55}$$

$$\frac{F_{TD,y}}{m} = -w_T \frac{v}{z_i} \tag{56}$$

Donde w_T es la velocidad de transporte turbulento. En presencia de viento considerable y estabilidad estática neutra, la turbulencia es generada principalmente por el corte del viento, debido al cambio de dirección o velocidad. Por otra parte, para condiciones de inestabilidad estática con vientos suaves y fuerte calentamiento superficial, la turbulencia se debe principalmente a la flotación.

Las fuerzas como coriolis, de arrastre, centrifuga e incluso la advección son nulas si la velocidad del viento es cero (o despreciables). Finalmente, la ecuación de conservación de cantidad de movimiento horizontal resulta:

$$\boxed{\begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} = -u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} = -u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} \end{array}} \tag{57}$$

La **Fuerza vertical neta** que condiciona el movimiento vertical, se compone también de una fuerza advectiva, de gradiente de presión y del esfuerzo turbulento, como en el caso horizontal, pero además agrega la componente de la aceleración gravitacional.

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u\frac{\partial w}{\partial x} - v\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} + g \tag{58}$$

Reescribiendo los términos del gradiente de presión y la gravedad se puede obtener:

$$\frac{1}{\rho}\frac{\delta P}{\delta z} + g = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\delta P}{\delta z} - \rho g\right) \tag{59}$$

Además, considerando que la fuerza de flotabilidad es la responsable del movimiento de las parcelas de aire (objeto) dentro de un fluido como el aire medio ambiental y relacionando esta con la ley de Gas Ideal se tiene:

$$\frac{F}{m} = \frac{\rho_0 - \rho_f}{\rho_0} g = \frac{\theta_{vp} - \theta_{ve}}{\theta_{ve}} |g| \tag{60}$$

Donde ρ_0 y ρ_f corresponde a la densidad de la parcela de aire y del aire ambiental y θ_{vp} y θ_{ve} la temperatura potencial virtual de la parcela de aire y del aire ambiente respectivamente. Luego la ec. (57) puede reescribirse como:

$$\boxed{\frac{\partial w}{\partial t} = -u\frac{\partial w}{\partial x} - v\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\theta_{vp} - \theta_{ve}}{\theta_{ve}} |g|} \tag{61}$$

4.2.3. Ecuación de Energía

El balance energético sobre un volumen finito corresponde a la aplicación de la primera ley de la termodinámica detallada en la subsección 4.1 del Marco teórico en la ec.(24) y aplicada de forma práctica en la subsección 4.1.1 Balance Energético ec.(35) propio de una Helada radiativa.
La ecuación de energía permite balancear los términos transitorios, convectivos y difusivos que condicionan el principio de conservación general de las variables que caracterizan el flujo considerando la turbulencia y laminaridad del flujo.
El termino transitorio, permite caracterizar el cambio de la propiedad con el paso del tiempo. El convectivo, el transporte de la propiedad debido al movimiento del fluido y el difusivo, el variación de la propiedad respecto de la interacción molecular del flujo en la medida que se mueve y cambiam su velocidad.

4.3. Caracterización Espacial-Temporal

Según las condiciones de linealidad de la atmósfera estándar esta es seccionada en relación a la estructura de la temperatura que presenta en:

- Termosfera: desde una altura de 84.9 km
- Mesosfera: entre los 47 y 84.9 km
- Estratosfera: entre los 47 y los 11 km
- Troposfera: Hasta los 11 km

4.4. Características de la capa límite atmosférica

Debido al ciclo solar diario, el calentamiento radiativo que experimenta la tierra genera flujos de calor sensible y latente entre esta y el aire. Estos flujos son confinados por la troposfera y limitados a una capa superficial denominada capa límite atmosférica (CLA). Es aquí donde ocurren variaciones de temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento.

4.4.1. Estabilidad estática de la Capa Límite Atmosférica

Se refiere a la resistencia al movimiento vertical del aire o a suprimir la turbulencia en una atmósfera en equilibrio hidrostático, la respuesta al impulso externo de un volumen de aire a desplazarse una pequeña distancia, se entiende como estabilidad, un volumen de aire que presenta diferente temperatura a la del aire circundante, entonces experimentará una fuerza de flotación que la hará ascender o descender, si la temperatura es mayor o menor respectivamente, este proceso es suficientemente rápido para considerarse adiabático.

La estabilidad o inestabilidad depende del gradiente térmico que define la magnitud de la fuerza de flotación y de la magnitud relativa de esta con respecto a las fuerzas inerciales asociadas a la velocidad de movimiento horizontal de viento. [21]

Considerando que el gradiente adiabático seco es siempre mayor en valor absoluto al saturado[21] y teniendo en cuenta que la presión tenderá a estabilizarse rápidamente con la del ambiente, se presentan las siguientes posibilidades:

(i) Si $\Gamma < \Gamma_s$: Absolutamente estable o Inversión térmica
La parcela al ascender tendrá siempre una temperatura más baja que la del ambiente, por tanto, más densa y su aceleración será hacia abajo y volverá a su punto de origen. Por lo tanto, la fuerza de flotación empuja al volumen de aire desplazado a su altura inicial con un régimen de flujo laminar.

(ii) Si $\Gamma = \Gamma_s$: Atmósfera estable seca o neutra saturada
si no esta saturada la atmósfera sera estable, al estar saturada, al ascender la parcela de aire estará a la misma temperatura que el ambiente y no experimenta efectos de flotación, por lo que continuara su movimiento en forma uniforme e indefinida siendo neutra saturada.

(iii) Si $\Gamma_s < \Gamma < \Gamma_d$: Atmósfera condicionalmente inestable.
La parcela al ascender, si no se encuentra saturada, será estable, pero si el impulso dado logra que este pase su punto de saturación, continuará ascendiendo alcanzando y sobrepasando la temperatura ambiente y al ser más liviana que el aire circundante, ascenderá indefinidamente por las fuerzas hidrostáticas. Por otra parte, si se encuentra saturada, ascenderá y acelerará indefinidamente en todo momento a una temperatura mayor que el ambiente correspondiendo a una atmósfera condicionalmente inestable.

(iv) Si $\Gamma = \Gamma_d$: Atmósfera neutra.
La parcela al ascender tendrá la misma temperatura que el ambiente y por tanto en equilibrio mientras no se sature. En cuyo caso será inestable saturada.
El ambiente se considera usualmente estacionario, es decir, en el periodo de tiempo que toma el volumen en ascender o descender este no experimenta cambios.

(v) $\Gamma > \Gamma_d$: Atmósfera Absolutamente inestable.
La parcela al ascender tendrá en todo momento temperaturas más altas que el ambiente, al ser más liviana, ascenderá indefinidamente sin volver a su altura inicial con un régimen predominantemente turbulento.

Para una parcela de aire seco e insaturado que asciende, el descenso de temperatura será de forma adiabática, debido al descenso de la presión. Al ser insaturado, cualquier partícula de agua contenida en la parcela de aire permanece en ella. El potencial de temperatura θ y la humedad específica ω son conservadas, no así la humedad específica de saturación ω_s que cambiará.

Frecuencia de Brunt-Vaisala Específicamente para una atmósfera estáticamente estable, una parcela de aire se comporta como una masa oscilante al desplazarse verticalmente desde su altura de equilibrio, experimenta una fuerza restauradora que busca volverla a este punto, pero la inercia condiciona a sobrepasar este nivel. Esto se produce reiteradas veces por del calentamiento (o enfriamiento) adiabático que da lugar a la presencia de la fuerza de flotación.

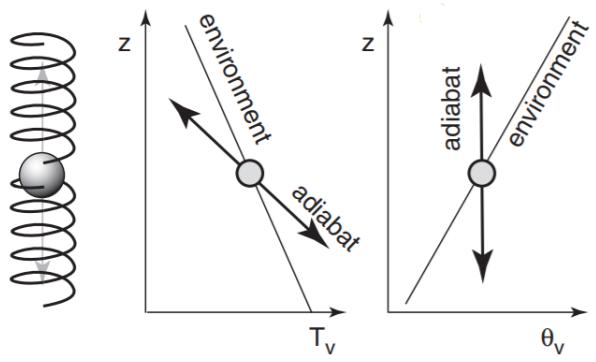


Figura 40: Variación de la temperatura virtual y el potencial de temperatura por el ascenso (descenso) de una parcela de aire.[19]

A la frecuencia de oscilación se denomina *frecuencia de Brunt-Vaisala* N_{BV}:

$$N_{BV} = \sqrt{\frac{|g|}{T_v}\left(\frac{\partial T_v}{\partial z} + \Gamma_d\right)} \tag{62}$$

$$\boxed{N_{BV} = \sqrt{\frac{|g|}{T_v}\frac{\partial \theta_v}{\partial z}}} \tag{63}$$

Donde la T_v debe estar en [K], dando como resultado N_v en radianes/segundo, que es mayor a medida que incrementa la estabilidad y no esta definida para una atmósfera inestable. Para aire seco se considera $T_v \approx T$ y $\theta \approx \theta_v$, en condiciones reales el arrastre debido a la fricción disminuye la oscilación. El período de oscilación se obtiene como:

$$P_{BV} = \frac{2\pi}{N_{BV}} \tag{64}$$

En la medida que la atmósfera se aproxima a un estado neutro el período se indefine.

4.4.2. Estabilidad Dinámica - Número de Richardson

En la medida que el esfuerzo de corte es lo suficientemente fuerte en una atmósfera estáticamente estable el flujo se vuelve turbulento, a lo que se entiende como estabilidad dinámica, la cual es representada por el número de Richardson R_i:

$$R_i = \frac{|g|(\Delta T_v + \Gamma_d \Delta z)\Delta z}{T_v\left[(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2\right]} = \frac{|g|(\Delta \theta_v \Delta z)}{T_v\left[(\Delta U)^2 + (\Delta V)^2\right]} \tag{65}$$

$$\boxed{R_i = \frac{N_{BV}^2}{(\partial u/\partial z)^2+(\partial v/\partial z)^2}} \tag{66}$$

Donde ΔU y ΔV representa la diferencia de la velocidad del viento para dos alturas y T_v debe estar en [K]. Para aire seco se considera $T_v \approx T$ y $\theta \approx \theta_v$. R_i esta definido solo para atmósferas estables por la indefinición de N_{BV} en otros casos. Cuando z es pequeño se puede determinar si el flujo es **dinámicamente inestable y turbulento** si:

$$\boxed{\begin{array}{c} R_i < R_{ic} \\ R_i < 0 \end{array}} \tag{67}$$

Donde $R_{ic} = 0,25$ en número de Richardson crítico, de lo contrario, el flujo es dinámicamente estable.

4.4.3. Determinación de la turbulencia o laminaridad

La estabilidad dinámica y la inestabilidad estática entregan una medida incompleta de la existencia de la turbulencia, donde la primera no incluye los procesos externos de la localidad y la segunda deja fuera los esfuerzos de corte del viento producto del cambio de velocidad y dirección con la altura. Para establecer la turbulencia o laminaridad se debe cumplir [19]:

(i) El flujo debe ser estáticamente o dinámicamente inestable para considerar turbulencia.

(ii) El flujo debe ser estáticamente y dinámicamente estable para considerar laminaridad.

4.5. Estructura según Estabilidad

Durante el día existe una **Capa de Mezclado (ML) estáticamente inestable** y por la noche una **capa límite estáticamente estable (SBL)**, formada bajo una **Capa Residual estáticamente neutra (RL)** que no logra ser afectada por el enfriamiento de la superficie.

En el fondo de la CLA (20 a 200 m) por la fricción, conducción y evaporación desde la superficie, se generan cambios en la velocidad y dirección del viento, la temperatura y la humedad con la altura. Sin embargo, los flujos turbulentos son uniformes con la altura, por lo que se denomina **Capa de flujo Constante o superficial SL**.

Sobre la capa de mezclado, el aire no logra ser modificado por la turbulencia y conserva el perfil de temperatura de la atmósfera estándar. A esta capa se denomina **atmósfera libre (FA)**, separándola de la ML, se encuentra una zona estable de turbulencia intermitente denominada **zona de arrastre (ZE)**, que incorpora el aire proveniente de la FA, hacia la ML, incrementando su profundidad durante el día. Por la noche una porción del fondo de esta capa (capa superficial) se enfría, debido al contacto con la superficie a menor temperatura.
La turbulencia cesa por la noche, dejando una capa de separación denominada **capa de inversión (CI)** que resulta ser fuertemente estable.

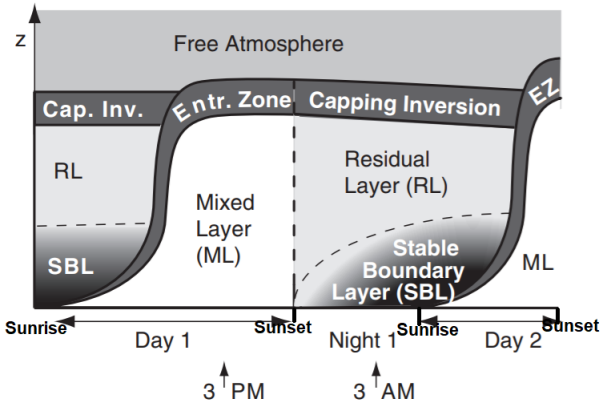


Figura 41: Componentes de la Capa límite atmosférica durante condiciones de buen tiempo en verano. En blanco aire estáticamente inestable, en gris neutro y en negro la estabilidad estática fuerte. [19]

4.5.1. Perfil de Viento

En condiciones de clima favorable, el viento experimenta un ciclo diario. Luego del amanecer en la capa superficial de mezclado (300 m) los vientos son uniformes con la altura y casi cero cerca de la superficie, con el transcurso del día la ML crece y vientos

más lentos invaden la CLA, debido a la mezcla de vientos más rápidos desde mayores alturas con otros más lentos de capas inferiores, incrementando la velocidad cerca de la superficie, bajo los 20 m.
Luego del atardecer la intensidad de la turbulencia en la ML disminuye, al igual que el arrastre contra la superficie, aumentando la velocidad del viento a altura superiores durante la noche. A pesar de esto, los vientos cercanos a la superficie se mantienen a una baja velocidad.
En la atmósfera el esfuerzo causado por el movimiento turbulento es mayor en varios ordenes de magnitud que el esfuerzo causado por la viscosidad molecular, por lo que es válido establecer la fricción y esfuerzo turbulento, no así viscoso. El esfuerzo cinemático en contra de la superficie corresponde a:

$$u_*^2 = |\tau/\rho| = C_D M_{10}^2 \tag{68}$$

Con u_* la velocidad de fricción que toma valores de: 0 m/s, 0.5 m/s, 1 m/s para vientos moderados y fuertes respectivamente. El esfuerzo es mayor en superficies rugosas, lo que se cuantifica por medio del coeficiente de arrastre C_D que varía en un rango de $[2*10^{-2}, 2*10^{-3}]$, siendo menor para superficies suaves y M_{10} corresponde a la velocidad el viento a 10 m.

Para cuantificar la rugosidad de la superficie se utiliza la longitud de **rugosidad aerodinámica** z_0 cuyos valores se encuentran en la literatura. **Para aire estáticamente neutral** se presenta una relación entre el coeficiente de arrastre y la longitud de rugosidad aerodinámica de la superficie, **que pierde importancia para atmósferas inestables**.

$$C_D = \frac{k^2}{\ln^2(z_r/z_0)} \tag{69}$$

$$u_* = \frac{kM_{10}}{\ln(z_r/z_0)} \tag{70}$$

Donde $k = 0{,}4$ corresponde a la constante de Von Kármán y $z_r = 10$ m la altura de referencia para la medición de vientos superficiales. **El coeficiente de arrastre disminuye a medida que el aire se vuelve estáticamente estable**, además los vientos fuertes sobre superficies más rugosas generan un mayor esfuerzo cinemático.

Perfil Logarítmico
En el 5 % del fondo de la CLA estáticamente neutra se encuentra la **Capa Superficial (SL)** donde la velocidad del viento crece de forma logarítmica con la altura para un atmósfera estáticamente neutra comprendida entre los 50-100 m del fondo de la CLA. **Si esta es estáticamente estable entonces el perfil cambia, siendo más bien lineal y variando ligeramente para otras estabilidades estáticas**. Los vientos sobre la SL en general no se encuentran en régimen estacionario y puede incrementar su velocidad en

relación al estado de equilibrio.
La velocidad del viento M es cero en la superficie, específicamente a una altura correspondiente a la rugosidad aerodinámica $M(0) = z_0$. El perfil de la velocidad depende de la rugosidad superficial:

$$\boxed{M(z) = \frac{u_*}{K} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \tag{71}$$

Este perfil permite obtener la velocidad en un punto desconocido M_2, por medio de uno conocido M_1 y la rugosidad aerodinámica de la superficie z_0:

$$\boxed{M_2 = M_1 \frac{\ln(z_2/z_1)}{\ln(z_1/z_0)}} \tag{72}$$

4.5.2. Perfil de Temperatura

- **Variación diaria del flujo de calor**:
  La **CI** atrapa el flujo de calor superficial y la evaporación en la CLA que resulta en la acumulación de calor durante el día o siempre que la superficie se encuentre a mayor temperatura que el aire. Por el contrario, una pérdida de calor ocurre durante la noche o cuando la temperatura de la superficie es menor que el aire, así el perfil de la temperatura depende de esta pérdida o acumulación de calor donde el efecto acumulativo es más relevante que el flujo instantáneo.

  Durante la noche existe una pérdida de calor en la CLA en ausencia de nubes, el flujo de calor desde el aire a la superficie es relativamente constante con el tiempo. Por otra parte, en noches nubosas el flujo de calor superficial es variable por lo que se utiliza un promedio constante para cuantificarlo. Así el **enfriamiento acumulado durante la noche** se expresa como:

$$Q_a = \zeta_H * t \quad [J/m^2] \tag{73}$$

$$Q_{ak} = \frac{\zeta_H * t}{\rho_{aire} C_p} \quad [K/m] \tag{74}$$

  Durante los días despejados, la variación casi sinusoidal de la elevación del sol genera una variación sinusoidal del flujo superficial neto de calor. Así la **acumulación de calor durante el día** resulta:

$$Q_a = \frac{\zeta_{H,max} D}{\pi}[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{D}\right)] \quad [J/m^2] \tag{75}$$

$$Q_{ak} = \frac{\zeta_{H,max} D}{\pi \rho_{aire} C_p}[1 - \cos\left(\frac{\pi t}{D}\right)] \quad [K/m] \tag{76}$$

  Donde D corresponde al tiempo de flujo positivo (presencia del sol) y $\zeta_{H,max}$ el valor del flujo de calor máximo como se puede ver en la figura 42.

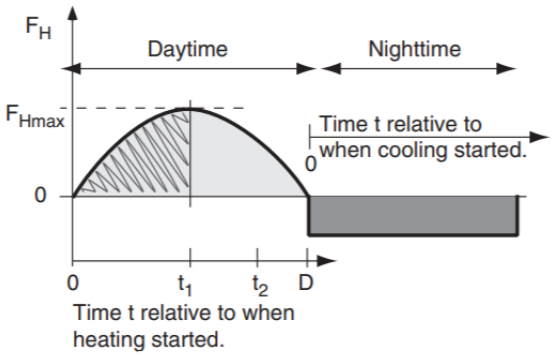


Figura 42: Curva idealizada del flujo de calor, el área sombreada hasta t_1 representa el flujo de calor acumulado hasta dicho tiempo y el área más oscura, el enfriamiento total acumulado durante la noche. [19]

- **Variación estacional de la CLA**:
  Durante el verano los días son más largos que las noches, por lo tanto, mayor acumulación de calor ocurre en el día que las pérdidas por la noche. La capa de mezclado o convectiva comienza cerca de la superficie por las mañanas aumentando rápidamente hasta la capa residual y más lentamente hasta la atmósfera libre. Por la noche el enfriamiento crea una capa límite estable SLB cercana a la superficie, con la capa residual RL en medio de la CLA.

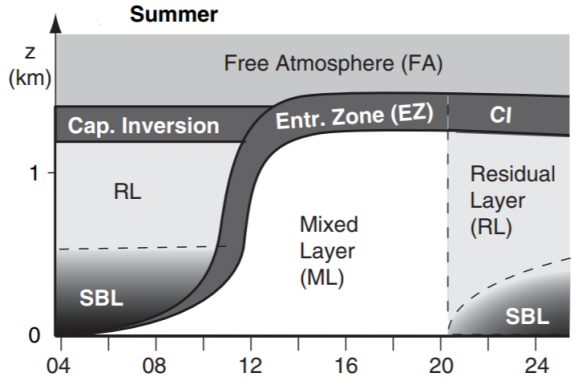


Figura 43: Evolución diaria de la capa límite atmosférica en verano con clima favorable. [19]

Durante el invierno aumenta la duración de las noches, con esto el enfriamiento por sobre el calentamiento diario, así la capa límite estable SBL domina. La capa residual que comienza a formarse temprano por la noche es rápidamente difundida por la SBL.

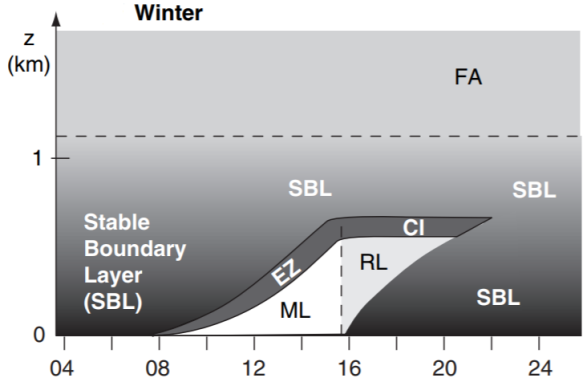


Figura 44: Evolución diaria de la capa límite atmosférica en invierno en condiciones climáticas favorables. [19]

Si el viento mueve el aire en la CLA sobre superficies a diferentes temperaturas,

entonces su estructura puede evolucionar en el espacio más rápido que en el tiempo. El factor más importante en su estructura es la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire. **Si la superficie está a mayor temperatura entonces la capa de mezcla ML se desarrollará sin importar la hora del día, en cambio, si la superficie está a una menor temperatura entonces se creará una capa límite atmosférica estable SBL**

Temperatura en la Capa límite estable SBL

A pesar de que la turbulencia pueda ser intermitente, la simplificación de considerarla continua sobre una superficie plana con vientos ligeros, permite expresar la temperatura potencial como un perfil aproximadamente exponencial con la altura:

$$\boxed{\begin{aligned} \Delta\theta(z) &= \Delta\theta_s \exp -z/H_e \\ \Delta\theta_s &= \tfrac{Q_{ak}}{H_e} \end{aligned}} \tag{77}$$

$$\Delta\theta(z) = \theta(z) - \theta_{RL} \tag{78}$$

$$H_e = aM_{RL}^{3/4} t^{1/2} \tag{79}$$

Con $a = 0{,}15(ms)^{1/4}$ para el flujo sobre una pradera plana, m_{RL} corresponde a la velocidad del viento en la capa residual, $\Delta\theta(z) = \theta(z) - \theta_{RL}$ corresponde a la diferencia entre el potencial de temperatura a una altura z y la capa residual, siendo un valor negativo. $\Delta\theta_s$ se define como la diferencia del potencial de temperatura cercano a la superficie $\Delta\theta_s = \Delta\theta(z = 0)$, denominado intensidad de SBL.

H_e corresponde a la altura *e-folding* de la curva exponencial, que representa la altura a la cual el potencial de temperatura decrece a 1/e del valor inicial de la altura. **Se considera que el espesor de la SBL corresponde a $h = 5H_e$ [19] y este, al igual que la intensidad de la SBL ($\Delta\theta_s$) crecen con la perdida de calor e incrementan con el tiempo, determinando un rápido crecimiento de la SBL al comienzo de la tarde y mucho más lento al final de la noche.**

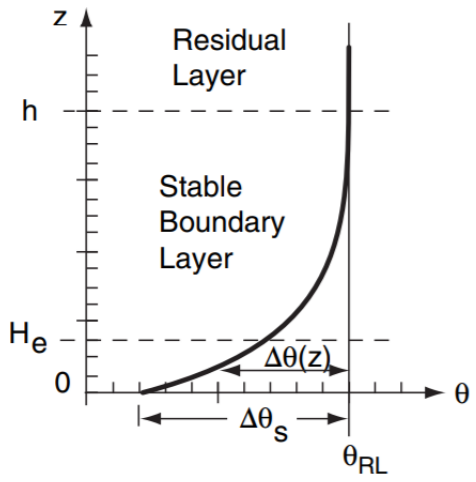


Figura 45: Perfil del potencial de temperatura idealizado en capa límite estable. [19]

5. Metodología

5.1. Cuadrantes de Simulación

Para realizar la simulación del funcionamiento de las máquinas de viento en la localidad de Copequen se genera un cuadrante a mesoescala para proyectar el comportamiento de las variables meteorológicas a partir de las estaciones de Quinta de Tilcoco, Requinoa, Las petacas (El Olivar) y Copequen, que permita obtener las condiciones de borde utilizadas en la simulación local o a microescala, específica al área del Campo Viveros de Copequen donde se utilizan las máquinas de viento, seleccionando un segundo cuadrante más acotado.

5.1.1. Cuadrante de Modelación de Mesoescala

El cuadrante contendrá el accidente geográfico compuesto por 4 cerros: Nicura, Copequen, Las Petacas y El Rincón, que mediante una rotación con vértices fijos en Quinta de Tilcoco y Requinoa y extensión de la distancia entre Requinoa y El Olivar, permitirá posicionar el cordón montañoso en el centro del cuadrante de forma simétrica. La Rotación de 10° permitirá establecer un cuadrante rectangular para facilitar la simulación y el posicionamiento del cordón montañoso.
A partir de la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas dispuesta por Agroclima, con Google Earth y AutoCad se proyectan las distancias de cada localidad al punto de interés, además de establecer las dimensiones del cuadrante y del cordón montañoso requeridas para la simulación y la interpolación inversa ponderada que permitirá obtener los valores de las variables meteorológicas los vértices proyectados V1 y V2.



Figura 46: Ubicación Estaciones Meteorológicas

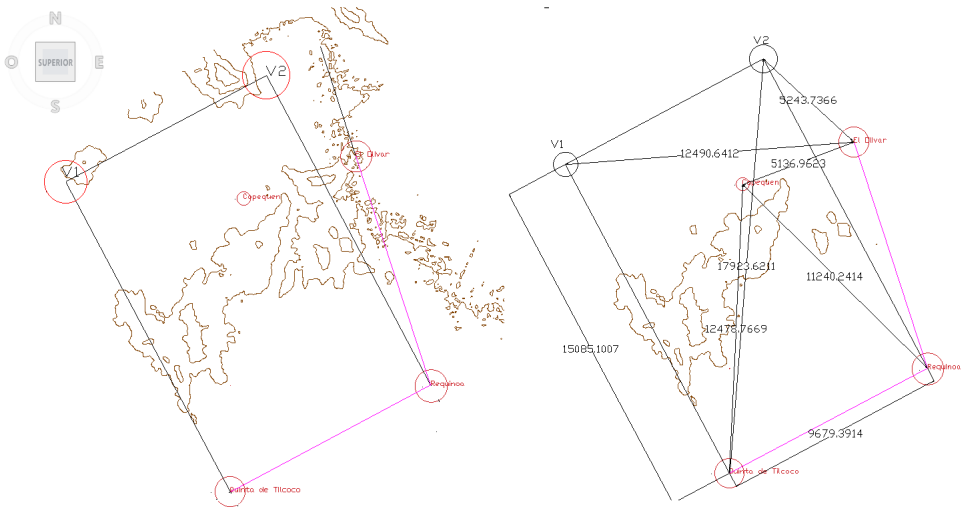


Figura 47: Ubicación Geográfica Cuadrante Nivel Mesoescala y dimensiones en [m]

Por medio Global Mapper (GIS), se extraen las curvas de nivel simplificadas de cordón montañoso, que permitirá generar la superficie asociado, por medio de Inventor, para su posterior incorporación al volumen de control mesoescala y a la plataforma de Ansys fluent. Al igual que el sitio de estudio, el cordón montañoso comienza en la cota 350 sobre el mar, proyectándose con diversos relieves hasta los 700 m en algunos puntos. Por lo anterior y para simplificar la simulación se establecerá el volumen de control con dimensiones de 9600 y 15000 m en el plano xy, y 800 m en altura (z).

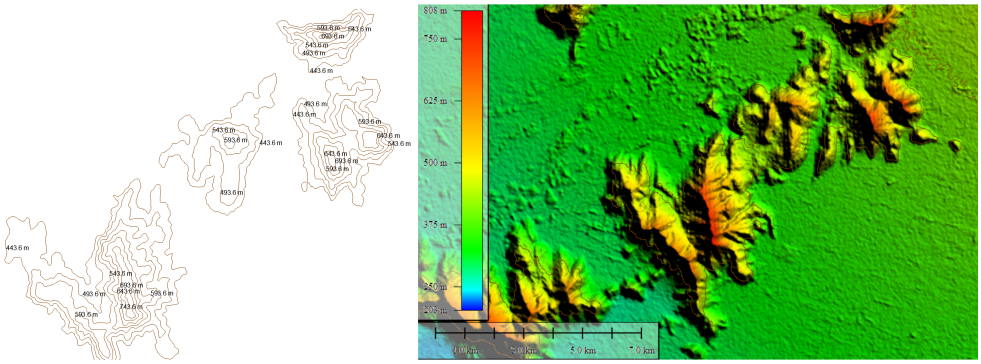


Figura 48: Curvas de nivel y área predominante Cordón Montañoso



Figura 49: superficie Volumen de Control Mesoescala

5.1.2. Cuadrante de simulación Local

En vista de la relevancia que presentan 2 de las variedades producidas en el campo: Santina y Skeena, se establecen 2 cuadrantes de modelación local debido a la ubicación del área de producción de estas especies en el campo.
En la figura (50) se pueden ver las dimensiones de cada uno de los cuadrantes y la ubicación de la máquina de viento instalada en el sector productivo de la variedad Santina.
A pesar de la variabilidad de cotas en el terreno analizado, se presentará como plano para efectos de la modelación según lo corroborado en la visita a terreno.

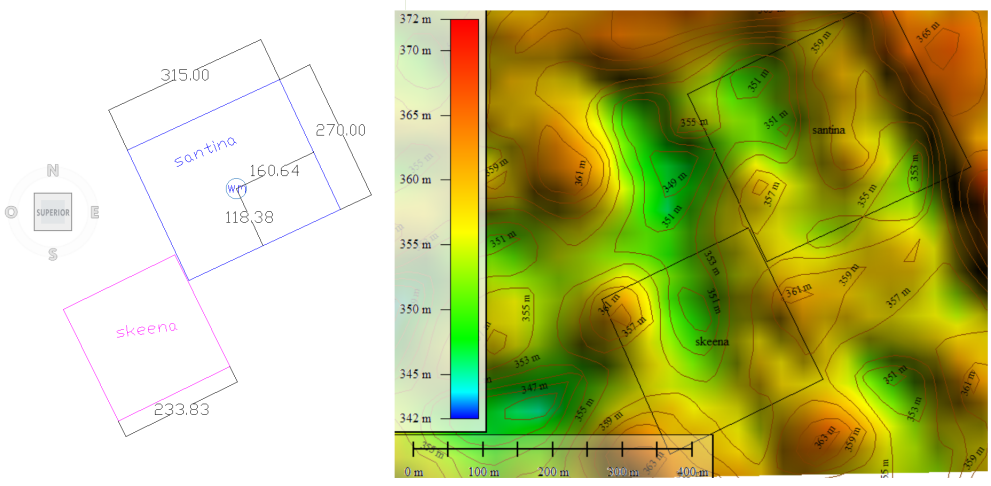


Figura 50: curvas de nivel y altura predominante en el Cordón montañoso

5.2. Análisis Espacial

Este análisis permite manipular la información disponible para obtener datos nuevos en el lugar de interés, por ejemplo, estimar la temperatura, humedad y velocidad y dirección del viento en un sitio donde no se cuenta con estación meteorológica. Uno de los métodos de interpolación más utilizado por los sistemas de información geográfica es el de la interpolación inversa ponderada. (IDW)

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p}} \tag{80}$$

La ponderación permite que los puntos más cercanos, tengan mayor influencia que los más alejados, donde z_p corresponde a la variable interpolada, z_i los n valores interpolados, d_i la distancia de la variable respectiva a la variable interpolada y p el coeficiente de ponderación que determina la influencia de los datos, al ser más grande, menor será el efecto de puntos a mayor distancia y mayor influencia existirá con aquel más cercano.

Es importante notar que, para este tipo de interpolación, los valores máximos y mínimos solo pueden ocurrir en los datos de la muestra, así como también que la exactitud del método disminuye su calidad si la distribución de los datos no es homogénea. Este método asume que las variables modeladas se rigen por la variación local, lo que ocurre con los factores meteorológicos a analizar, a pesar de esto, no se incluye la presencia de accidentes geográficos en este tipo de IDW, que condicionan los resultados obtenidos en los puntos proyectados, pero que se tomarán en consideración en la etapa de simulación del fenómeno.

5.2.1. Interpolación inversa ponderada por distancia: Humedad Relativa, Temperatura y Velocidad

Para la interpolación inversa ponderada por distancia se toman como puntos de muestra las 4 localidades inicialmente: Quinta de Tilcoco, Requinoa, El olivar y Copequen, para proyectar lo valores de temperatura, humedad y velocidad del viento.

El coeficiente de ponderación de la IDW no es fijo y el valor seleccionado se obtendrá mediante la interpolación de 3 de las 4 localidades que permita obtener con mayor exactitud (minimizando el error) los valores asociados a esta última, realizando iteraciones para valores del coeficiente de ponderación p comprendidos en el rango de [-40,40] tomando 41 valores. Se realiza la interpolación para diferentes combinaciones entre las localidades seleccionando la que genere el menor error cuadrático medio asociado.

Las mediciones utilizadas para la interpolación corresponden a un día característico para cada mes, agosto y septiembre, en el rango horario comprendido entre las 05:00-08:00 a.m con registros cada 15 minutos, correspondiente a 13 datos para cada localidad. Los datos medidos en la localidad de Copequen tiene una frecuencia de 1 dato

por cada hora, desconociendo el momento exacto en dicha hora en la cual se registró la medición, que para efectos de la ponderación serán incorporados en el primer registro de la hora correspondiente(0X:00:00).

Los resultados del coeficiente de ponderación son diferentes para cada variable meteorológica, así como también el error asociado y la combinación que lo minimiza.
Producto de la diferencia en el registro de datos correspondiente a Copequen, el incluir a este último en la IDW no genera buenos resultados en ninguna de las 3 variables meteorológicas analizadas: Humedad Relativa, Temperatura y Módulo de la Velocidad.
En la siguiente sección se presentan los resultados del coeficiente de ponderación y el menor error cuadrático medio para cada una de las variables meteorológicas en los meses respectivos.

IDW Humedad Relativa
En la siguiente imagen se puede ver a la izquierda los resultados para agosto y a la derecha los de septiembre. En la parte superior se presenta el comportamiento del error para diferentes valores del coeficiente de ponderación p. En la parte inferior se pueden ver los resultados de la IDW al tomar los datos de Requinoa y El olivar para la obtención de la localidad de Quinta de tilcoco, este último utilizado para la verificación, a partir del coeficiente de ponderación que genera el menor error. Se puede identificar que la proyección del comportamiento de la HR es similar a los datos medidos, con una diferencia entre los valores con IDW al incluir la data asociada a copequen, lo que se acentúa el error para el mes de septiembre. El coeficiente de ponderación y error cuadrático medio para cada mes se presenta a continuación.

Agosto			
Data	Proyección	p	MSE[$\%^2$]
Requinoa-El Olivar	Quinta de Tilcoco	2	0.24995
Requinoa-El olivar-Copequen	Quinta de Tilcoco	4	0.0.26575
Septiembre			
Data	Proyección	p	MSE
Quinta de Tilcoco-El olivar	Requinoa	0	0.018032
Quinta de Tilcoco-El olivar-Copequen	Requinoa	0	0.0.19005

Cuadro 9: Data utilizada para IDW de HR, Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo.

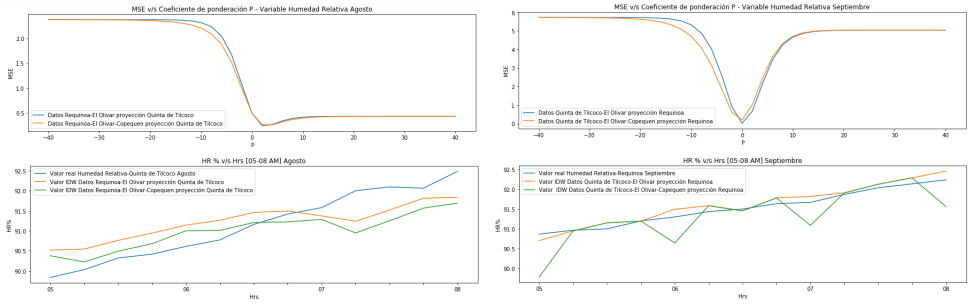


Figura 51: Comportamiento MSE y Humedad Relativa Agosto y Septiembre IDW mesoescala

IDW Temperatura

En la siguiente tabla e imagen se puede ver el MSE es bajo para los 2 meses resultado de la IDW, con data de Quinta de Tilcoco-El olivar y validación con la localidad de Requinoa, la tendencia lograda con la IDW es similar a los datos registrados, sin considerar la localidad de Copequen, que, por la frecuencia de registro de datos, aleja el valor proyectado para el mes de septiembre y en menor grado en el mes de agosto donde se traslapan los resultados al incluir esta última localidad en la IDW.

Agosto			
Data	Proyección	p	MSE [$C°2$]
Quinta de Tilcoco-Requinoa	El olivar	-20	0.01253
Quinta de Tilcoco-Requinoa-Copequen	El olivar	-20	0.01253
Septiembre			
Data	Proyección	p	MSE [$C°2$]
Quinta de Tilcoco-El olivar	Requinoa	2	0.013814
Quinta de Tilcoco-El olivar-Copequen	Requinoa	0	0.04836

Cuadro 10: Data utilizada para IDW de Temperatura, Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo.

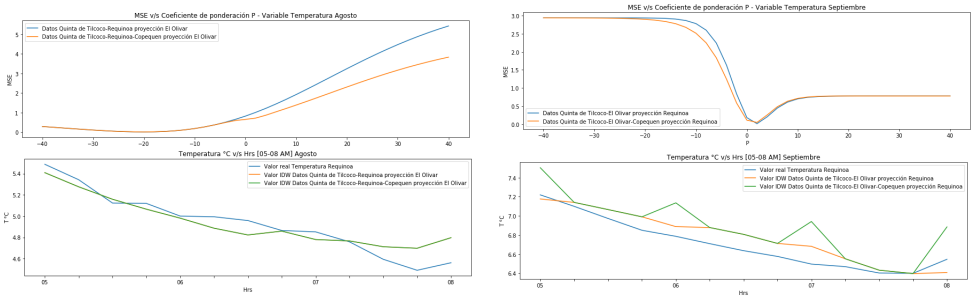


Figura 52: Comportamiento MSE y Temperatura Agosto y Septiembre IDW Mesoescala

IDW Velocidad

En la siguiente imagen se muestra el comportamiento del MSE para los meses de agosto y septiembre (izquierda y derecha) y en la parte inferior el comportamiento de la velocidad en las horas de interés obtenida a partir de la IDW entre Quinta de Tilcoco-Requinoa y verificación a partir de los datos de El olivar. Debido a la variabilidad del comportamiento del módulo de la velocidad del viento, no se obtienen buenos resultados con la IDW para obtener un patrón similar, que requiere un análisis de mayor profundidad para esta variable. A continuación, se presentan los valores del coeficiente de ponderación y el error asociado a la IDW.

Agosto			
Data	Proyección	p	MSE$[(m/s)^2]$
Requinoa-Quinta de Tilcoco	El Olivar	28	0.00281
Requinoa-Quinta de Tilcoco-Copequen	El Olivar	6	0.00304
Septiembre			
Data	Proyección	p	MSE$[(m/s)^2]$
Requinoa-Quinta de Tilcoco	El Olivar	-12	0.00209
Requinoa-Quinta de Tilcoco-Copequen	El Olivar	-12	0.00209

Cuadro 11: Data utilizada para IDW de Módulo Velocidad-Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo.

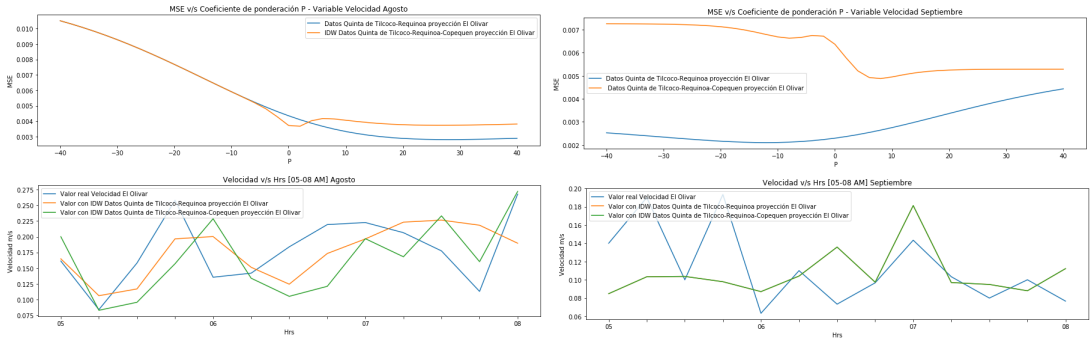


Figura 53: Comportamiento MSE y Módulo Velocidad Agosto y Septiembre IDW mesoescala

Para minimizar el error asociado al módulo de la velocidad se realiza un análisis a partir del promedio del día característico durante las horas de interés y de esta manera realizar la IDW a partir de los valores de velocidad promedio obtenida para cada localidad.
En la siguiente imagen se presentan el comportamiento del módulo de la velocidad para un día característico de las distintas localidades y el valor promedio asociado a cada una de ellas, que será utilizado para la IDW.

Localidad	Promedio Velocidad [m/s] Agosto	Promedio Velocidad Septiembre[m/s]
Requinoa	0.092556	0.084615
Quinta de Tilcoco	0.1933	0.15
El Olivar	0.179156	0.11308
Copequen	0.259032	0.40425

Cuadro 12: Velocidad promedio por localidad/mes utilizada para IDW

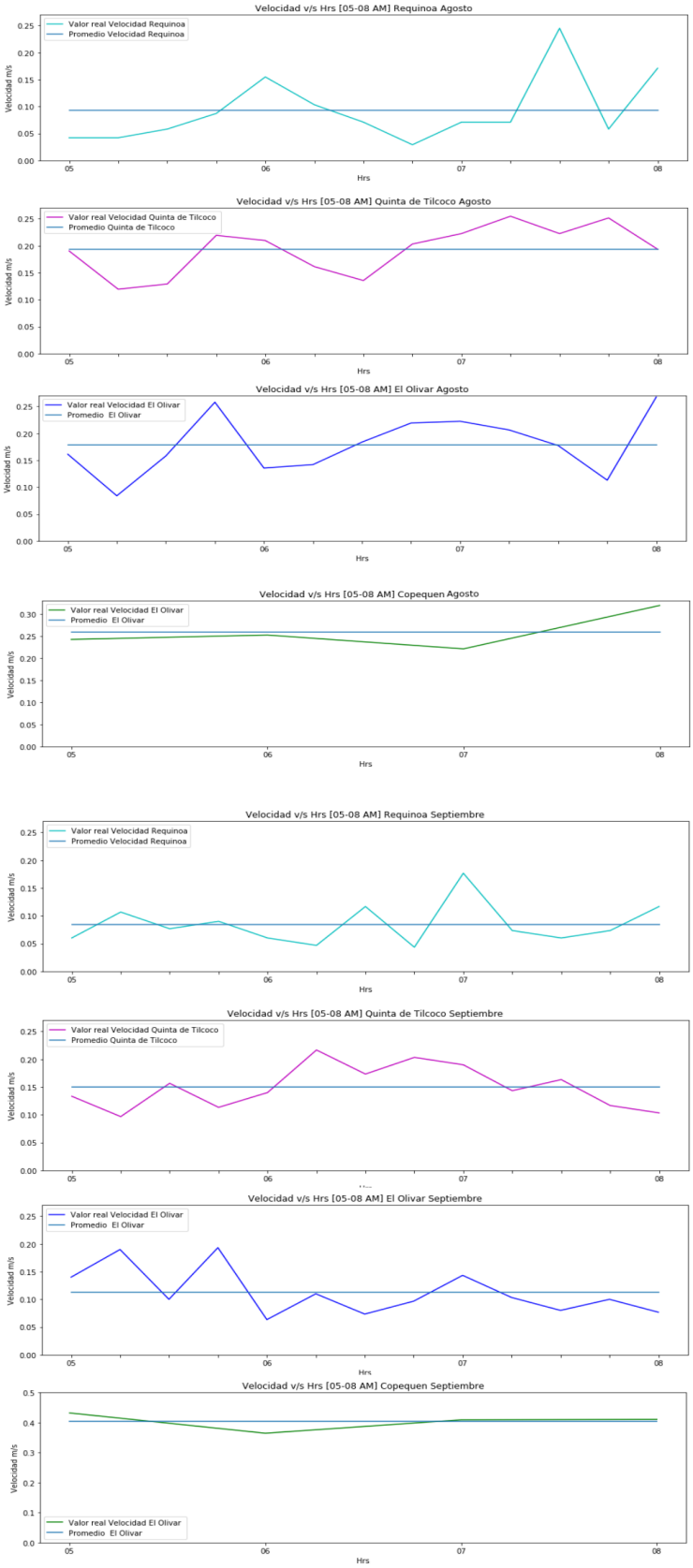


Figura 54: Proyección datos registrados módulo velocidad del viento por localidad/mes y su valor promedio asociado.

La siguiente tabla indica el MSE para cada mes respectivo resultante de la IDW realizada a partir de los promedios obtenidos para cada localidad, minimizando el MSE al realizar la IDW entre Quinta de Tilcoco-Requinoa y validación con El Olivar.

Agosto			
Data	Proyección	p	MSE$[m/s]^2$]
Requinoa-Quinta de Tilcoco	El Olivar	32	3.4908E-8
Requinoa-Quinta de Tilcoco-Copequen	El Olivar	0	6.1173E-6
Septiembre			
Data	Proyección	p	MSE $[m/s]^2$
Requinoa-Quinta de Tilcoco	El Olivar	-5	1.0799E-7
Requinoa-Quinta de Tilcoco-Copequen	El Olivar	-6	2.16778E-6

Cuadro 13: Data utilizada para IDW de Módulo Velocidad,Coeficiente Ponderación y MSE Mínimo.

5.2.2. Interpolación inversa ponderada por distancia y frecuencia: Dirección del viento

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{z_i * frec_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^p}} \tag{81}$$

Para determinar la dirección del viento predominante se realizan 2 análisis, el primero con un mayor rango, correspondiente a las direcciones: Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste, identificadas a partir de los siguientes rangos en relación a los ángulos de registro:

Dirección	Norte	Nordeste	Este	Sudeste	Sur	Sudoeste	Oeste	Noroeste
Grados	0 o 360	]0-90[	90	]90-180[	180	]180-270[	270	]270-360[

Cuadro 14: Primera Subdivisión de identificación de la variable Dirección del viento

El segundo análisis, genera una subdivisión según la frecuencia predominante para cada horario, es decir, si en el horario 12:15 predomina la dirección NO, se realiza una subdivisión en el rango]0-90[.
El detalle de la subdivisión se presenta a continuación:

Dirección	Grados
Nordeste	[0-22.5] - N
	]22.5-45] - NNE
	]45-67.5] - NE
	]67.5-90] - ENE
Sudeste	]90-112.5] - E
	]112.5-135] - ESE
	]135-157.5] - SE
	]157.5-180[- SSE
Sudoeste	]180-202.5] - S
	]202.5-225] - SSO
	]225-247.5] - SO
	]247.5-270[- OSO
Noroeste	]270-292.5] - O
	]292.5-315] - ONO
	]315-337.5] - NO
	]337.5-360] - NNO

Cuadro 15: Segunda Subdivisión de identificación Dirección del Viento predominante

La subdivisión anterior permitirá obtener el rango donde existe una mayor concentración de datos, tras lo cual se utilizará un valor representativo según el caso. Debido a que la dirección predominante se secciona en 4 rangos, se pueden dar alguno de los siguientes casos para los cuales se asignan diferentes valores:

1. Todos los rangos diferentes: en este caso se asigna el valor promedio del rango respectivo.
2. Todos los rangos iguales: en este caso se asigna el valor promedio de los rangos del cuadro (6).
3. 3 de los 4 rangos iguales: dependiendo de los rangos de igual cantidad se asina un valor representativo de estos 3, si estos corresponden al máximo o en relación al 4to rango si este lo fuera.
4. 2 de 4 rangos iguales: dependiendo de los rangos de igual cantidad se asina un valor representativo de estos 2 si estos fueran el máximo, o en relación al 3er y 4to rango según quien correspondiera al máximo.

Dirección	Valor Promedio
N	11.25
NNE	33.7
NE	56.25
ENE	78.75
E	101.25
ESE	123.75
SE	146.25
SSE	168.75
S	191.25
SSO	213.75
SO	236.25
OSO	258.75
O	281.25
ONO	303.75
NO	326.25
NNO	348.75

Cuadro 16: Valor asignado a variable dirección del viento predominante.

Los análisis anteriores son realizados para cada localidad previo a la interpolación, así se generan previamente la data asociada al valor de la variable dirección del viento y frecuencia máxima asociada para cada horario comprendido entre las 00-23:45 hrs con un rango de 15 minutos para un día característico, por mes para cada localidad, requerido en la interpolación según la ec.(81), necesaria para la obtención de dicha variable en los vértices V1 y V2 proyectados en cuadrante mesoescala.

Dirección del Viento

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de ponderación y el MSE asociado a la IDW con la data de Quinta de Tilcoco -Requinoa con validación a partir de El Olivar, que corresponde a la combinación que genera un menor error.

Agosto			
Data	Proyección	p	MSE[rad^2]
Quinta de Tilcoco-Requinoa	Las petacas	30	0.09792
Quinta de Tilcoco-Requinoa-Copequen	Las petacas	-6	1.66948
Septiembre			
Data	Proyección	p	MSE [rad^2]
Quinta de Tilcoco-Requinoa	Las petacas	24	0.02991
Quinta de Tilcoco-Requinoa-Copequen	Las petacas	-4	0.90176

Cuadro 17: Data utilizada para IDW de Dirección del Viento-Coeficiente Ponderación y MSE correspondiente Mínimo.

En la siguiente imagen se puede ver a la izquierda el comportamiento del error para agosto y septiembre (superior e inferior) y a la derecha la tendencia en la dirección del viento registrado y asociada a la IDW. La incorporación de la localidad de Copequen en la IDW aleja los valores proyectado del valor real, lo que ocurre para los 2 meses. En agosto se puede ver un comportamiento prácticamente constante en la dirección del viento proyectada en radianes, lo que no se logra con la IDW pero que genera un bajo MSE. En el mes de septiembre se logra un parecido mayor con el patrón medido en la dirección del viento. La representación de la imagen al igual que para las otras variables, corresponde al horario comprendido entre las 05-08 hrs.

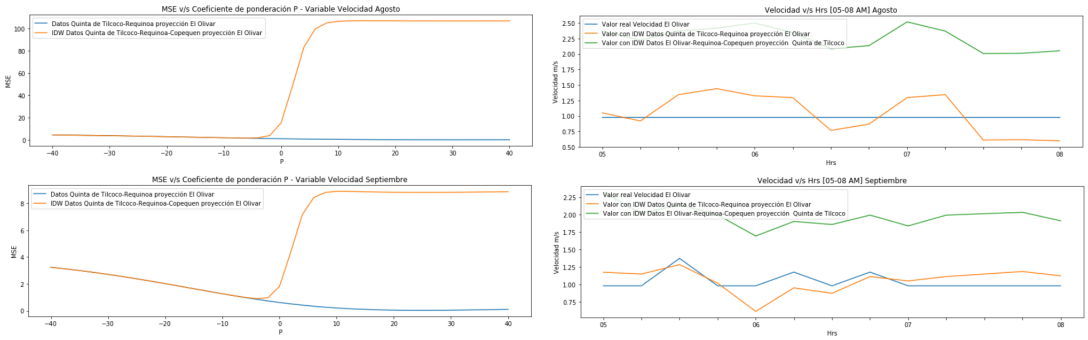


Figura 55: Comportamiento MSE y Módulo Velocidad Agosto y Septiembre IDW mesoescala

5.2.3. Resultados Interpolación

A partir de la IDW realizada a cada variable meteorológica, se establece el considerar para la simulación mesoescala la data correspondiente a las localidades de Quinta de Tilcoco, Requinoa y El Olivar. Así para cada variable meteorológica serán seleccionadas aquellas 2 localidades que permitieron minimizar el MSE, dejando fuera a la localidad permitió validar la IDW respectiva, puesto que el incluirla cambiaría el coeficiente de ponderación que minimiza el MSE respectivo.

La data correspondiente a la localidad de Copequen será utilizada para la validación de la simulación a escala local, puesto que la diferencia en la frecuencia de registro dificulta la obtención de buenos resultados en la IDW.
A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores de coeficiente de ponderación y data utilizada para la obtención de cada variable meteorológica proyectada en los vértices V1 y V2 del cuadrante correspondiente a la modelación mesoescala.

Agosto		
Variable Meteorológica	Data IDW	p
Humedad Relativa	El olivar-Requinoa	2
Temperatura	Quinta de Tilcoco-Requinoa	-20
Modulo Velocidad	Quinta de Tilcoco-Requinoa	32
Dirección del viento	Quinta de Tilcoco-Requinoa	30
Septiembre		
Variable Meteorológica	Data IDW	p
Humedad Relativa	Quinta de Tilcoco-El olivar	0
Temperatura	Quinta de Tilcoco-El Olivar	2
Modulo Velocidad	Quinta de Tilcoco-Requinoa	-4
Dirección del viento	Quinta de Tilcoco-Requinoa	24

Cuadro 18: Data utilizada para la IDW de mínimo MSE y coeficiente de ponderación asociado.

En base a los valores obtenidos a partir de la IDW para cada variable meteorológica de cada mes, se tomará el valor promedio asociado a estos para la asignación de las condiciones de borde requeridas para la simulación. En los anexos se pueden ver los valores de la IDW respectivos para cada hora de cada mes, de cada variable meteorológica respectivo a los vértices V1 y V2.
A continuación, se presenta gráficamente el comportamiento de las variables meteorológicas proyectadas para cada mes, además del valor promedio calculado a partir de los valores obtenidos por la IDW, correspondiente a 13 datos desde las 05-08 AM.

Humedad Relativa Vértices V1 y V2
En la siguiente imagen se presenta el comportamiento de la humedad relativa para los

meses de agosto (izquierda) y septiembre (derecha). En el mes de septiembre se puede ver que los valores de HR de V1 y V2 se traslapan, esto debido a que el coeficiente de ponderación tiene un valor de 0, lo que determina que las distancias entre los vértices y las localidades de Quinta de Tilcoco y El olivar utilizadas para la IDW no tiene incidencia y los valores obtenidos son representativos del promedio asociado a cada horario comprendido entre las 05-08 AM.

Los valores promedios obtenidos para los vértices del cuadrante (V1 y V2), en conjunto con los promedios correspondientes a la caracterización meteorológica frente a un evento de Helada de la localidad de Requinoa y Quinta de Tilcoco, especificados en el capítulo 2 subsecćon 2.3.4 Caracterización Parámetros Meteorológicos para Heladas, permiten obtener el set completo de condiciones de borde requeridas para la simulación mesoescala.

Cuadro 19: Caracterización HR evento Helada

HR[%]	**V1**	**V2**
Agosto	91.30	90.89
Septiembre	91.61	91.61

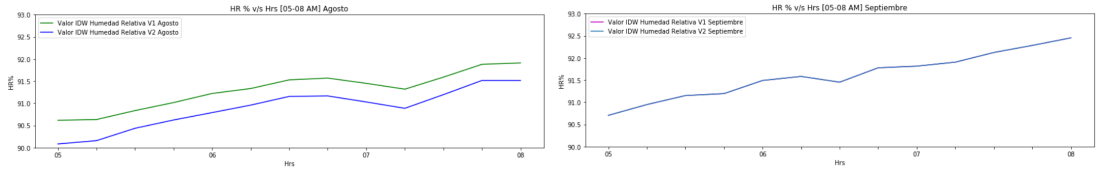


Figura 56: Valores proyectados Humedad Relativa según IDW Agosto-Septiembre

Temperatura : Vértices V1 y V2

Cuadro 20: Caracterización Temperatura evento Helada

T[$C°$]	**V1**	**V2**
Agosto	4.18	7.49
Septiembre	6.53	7.38

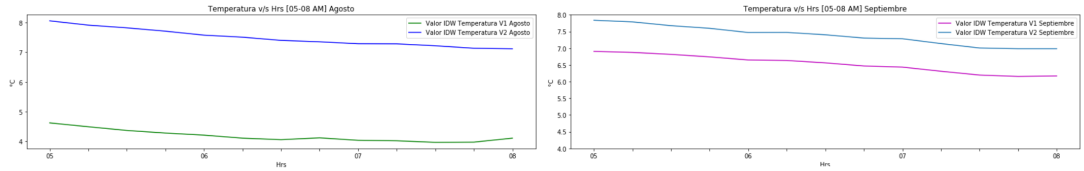


Figura 57: Valores proyectados Temperatura según IDW Agosto-Septiembre

Velocidad : Vértices V1 y V2

Cuadro 21: Caracterización MV evento Helada

MV [m/s]	**V1**	**V2**
Agosto	0.193	0.093
Septiembre	0.107	0.128

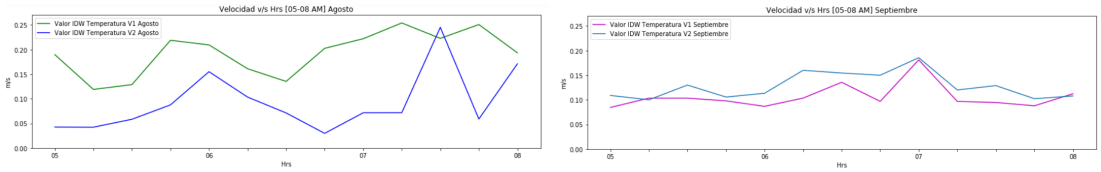


Figura 58: Valores proyectados Modulo de Velocidad según IDW Agosto-Septiembre

Dirección del Viento : Vértices V1 y V2

Cuadro 22: Caracterización DV evento Helada

DV [rad]	**V1**	**V2**
Agosto	0.622	3.345
Septiembre	0.579	3.037

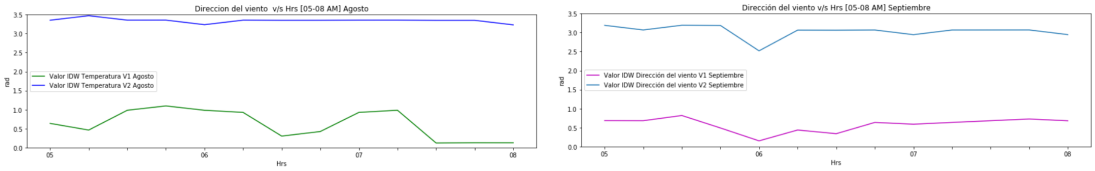


Figura 59: Valores proyectados Dirección del viento según IDW Agosto-Septiembre

5.3. Metodología de Simulación

El fenómeno físico que describe el comportamiento de un fluido newtoniano incompresible representativo al flujo de aire en la capa limite atmosférica, es descrito a partir de un sistema de ecuaciones diferenciales parciales, que sumada a la complejidad propia del fenómeno requieren ser discretizadas, linealizadas y resueltas a través de métodos numéricos. Dichas ecuaciones permiten relacionar las variables desconocidas del problema (presión, temperatura, velocidad, entre otras) y para obtener solución, deben ser integradas sobre un volumen cerrado, lo que da origen a un sistema de ecuaciones discretizadas que representan la conservación de cada propiedad del fluido para un volumen de control finito.

Metodología de Discretización y linealización

Puesto que las ecuaciones gobernantes son no-lineales, se hace necesario linealizarlas y darles solución de forma iterativa, para lo cual los softwares comerciales disponen de los siguientes métodos: Diferencias Finitas, Elementos Finitos y Volúmenes finitos. Este último es seleccionado en vista que presenta ventajas en cuanto a geometrías simples y complejas, además de una convergencia más rápida. Por lo tanto, la metodología utilizada para la resolución del problema de la presente investigación correspondiente a método de volúmenes finitos, que divide al volumen de control en una cantidad finita de celdas y para cada una se asocia un set correspondiente de ecuaciones discretizadas a las que deberá dar solución, por medio del software Ansys Fluente 19.1

A continuación, se presenta la ecuación de transporte general para una propiedad del fluido genérica ϕ:

$$\frac{\delta \rho \phi}{\delta t} = \nabla \cdot (\rho \phi u) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_\phi \tag{82}$$

La integración de la ecuación anterior sobre un volumen finito, con la aplicación del teorema de Gauss, permite obtener:

$$\int_{CV} \rho \phi dV + \int_A \hat{n}(\rho \phi \vec{u}) dA = \int_A \hat{n}(\Gamma \nabla \phi) dA + \int_{CV} S_\phi dV \tag{83}$$

Al discretizar espacialmente la ecuación anterior por medio de la regla de punto medio se obtiene la siguiente ecuación discretizada:

$$\frac{\delta(\rho \phi)}{\delta t} V + \sum_f^N (\rho_f \vec{v}_f A_f \phi_f) \hat{n} = \sum_f^N (\Gamma_\phi \nabla \phi_f) \hat{n} + S_\phi V \tag{84}$$

Donde **N caras** corresponde al número de caras de la subdivisión del volumen y el índice **f** indica el valor de la propiedad en la cara de la celda. El primer término a la izquierda de la ec.(84) representa el cambio de la propiedad ϕ a través del tiempo, el

segundo el transporte de la propiedad debido al flujo (convectivo). El primer término a la derecha representa el transporte debido al cambio de la propiedad de un punto a otro (difusivo) y el segundo la generación de ϕ en el volumen de la celda.

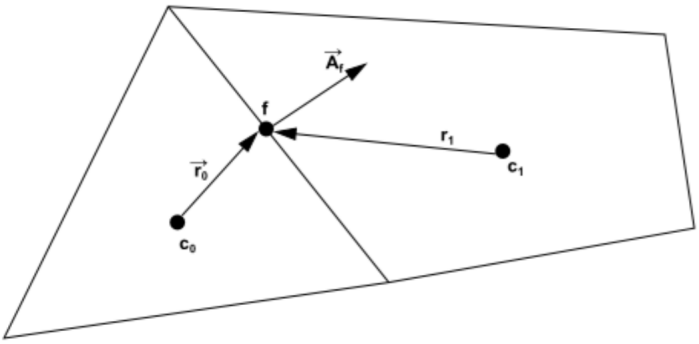


Figura 60: VC ilustración discretización Ec. Gral. Transporte

5.3.1. Discretización de la ecuación general de transporte

Para determinar los valores de ϕ_f en las caras de cada celda y de $\Delta\phi_f$, se tienen diversos métodos,los más utilizados e implementados en Ansys Fluent son: first-order upwind, second-order upwind, power law, y QUICK, ya que Ansys por defecto almacena los valores de la variable en cuestión en el centro de las celdas.
First-order upwind establece que el valor al centro de la celda ϕ representa el valor promedio y para determinar el valor en la cara ϕ_f utiliza el valor de la variable al centro de la celda aguas arriba.
Second-order upwind obtiene los valores en las caras de la celda por medio de una reconstrucción multidimensional, a través de series de Taylor centradas en el centroide de la celda:

$$\phi_f = \phi + \nabla\phi\nabla\vec{S} \tag{85}$$

Donde todos los valores del lado derecho de la ecuación son correspondientes a la celda aguas arriba respectiva. El gradiente se obtiene por medio del teorema de divergencia, utilizando el valor promedio de la variable $\tilde{\phi}$ entre 2 celdas adyacentes a la cara.

$$\nabla\phi = \frac{1}{V}\sum\tilde{\phi}\vec{A} \tag{86}$$

Power law interpola los valores de la variable a partir de la ecuación unidimensional de convección-difusión, que al ser integrada entrega el valor exacto de la variable:

$$\frac{\delta(\rho\phi u)}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta x}\Gamma\frac{\delta\phi}{\delta x} \tag{87}$$

QUICK se basa en una media ponderada entre el esquema second-order upwind e interpolaciones sobre los valores al centro de la celda, este proporciona valores más precisos para mallas estructuradas tipo cuadrangulares y hexaédricas alineadas con el flujo, recomendado para flujos con componentes de giro. El método de volúmenes finitos permite convertir la ecuación general de transporte discretizada a una forma linealizada con la siguiente estructura:

$$a_p\phi = \sum_{nb} a_{nb}\phi_{nb} + b \tag{88}$$

Donde nb representa a las celdas adyacentes, a_p y a_{nb} los coeficientes linealizados de ϕ y ϕ_{nb}. La ecuación anterior se plantea para cada celda contenida en el mallado del volumen de control, formando un set de ecuaciones representadas en forma matricial y resueltas por medio del método de Gauss-Seidel en combinación con multimalla algebraico.

El esquema de discretización a utilizar para la simulación mesoescala será el de primer orden, puesto que el mayor interés de esta simulación es alcanzar la maxima convergencia posible de la solución, que se utilizará como condiciones de borde para la simulación microescala.

5.3.2. Discretización ecuaciones de Momentum y continuidad

Para la discretización de las ecuaciones de conservación de masa y momentum, Ansys dispone de 2 métodos numéricos: Pressure-based solver y Density-based solver. El primero de ellos es utilizado para flujos incompresibles de baja velocidad y el segundo para flujos compresibles de alta velocidad. Ambos obtienen el campo de velocidad a partir de la ecuación de momentum.
Density-based solver, obtiene el campo de densidad por medio de la ecuación de continuidad y el campo de presión por medio de ecuación de gas ideal, lo que es resulto por medio de la ecuación de corrección de presión para Pressre-based solver, que surge de la manipulación de las ec. de continuidad y momentum. **Por lo que el primero de ellos será utilizado en la presente investigación.**

Ec. de Momentum
La ecuación discretizada de momentum-x correspondientes es:

$$a_p u = \sum_{nb} a_{nb}u_{nb} + \sum p_f A\hat{\imath} + S \tag{89}$$

Ansys por defecto almacena los valores de presión y velocidad en el centro de la celda, pero para dar solución de la ecuación anterior se requiere el valor en la cara de esta, por lo que se requiere de esquemas de interpolación para la presión y así obtener los valores de las variables requeridos. Estos esquemas son: Linear, standard, second order,The

Body Force Weigted y PRESTO!.

El esquema **Lineal** calcula el valor de la presión en la cara como media de la presión en las celdas adyacentes. El esquema **Standard** interpola los valores de presión en las caras por medio de los coeficientes de la ecuación de momentum según:

$$P_f = \frac{\frac{P_{c0}}{a_{p,c0}+\frac{P_{c1}}{a_{p,c1}}}}{\frac{1}{a_{p,c0}}+\frac{1}{a_{p1,c1}}} \tag{90}$$

Dicho esquema genera buenos resultados cuando los gradientes de presión entre los centros de las celdas son pequeños, de lo contrario genera discrepancias en los valores de la velocidad, siendo deficiente en flujos con movimientos ciclónicos, swirls elevados (elevada vorticidad) o altos valores para el número de rayleigh. Puede generar error al considerar este esquema en presencia de grandes fuerzas superficiales, o geometrías curvas, en donde asume que el gradiente de presión normal a la pared es cero.

El esquema de **Second order** reconstruye los valores de la presión en la cara de la celda utilizando la interpolación por diferencias centradas. Dicho esquema mejora la exactitud en la solución exceptuando los casos de modelos de mezcla para flujos multifase, cuando la malla es de mala calidad o en presencia de gradientes de presión discontinuos.

El esquema **The Body Force Weigted** obtiene la presión en la cara de la celda asumiendo un valor constante del gradiente de la diferencia entre la presión y las fuerzas de cuerpo, dando buenos resultados al conocerlas a priori.

El esquema **PRESTO!** utiliza el balance de masa en su forma discreta para alternar el volumen de control y obtener la presión en la cara de la celda, permite obtener una exactitud comparable con otros algoritmos para mallas del tipo triangular, tetraédrica, híbrida y poliédrica. Este esquema es recomendado para flujos con altos números de swirls y flujos rotativos de alta velocidad, entre otros.

Debido a que el esquema PRESTO! es recomendado por funcionar en base al principio de conservación de masa, que es uno de los problemas principales en el logro de la convergencia para mallas con grados de asimetría en terreno complejo como la presente investigación, este será utilizado para la simulación mesoescala.

Ec. de Continuidad
La discretización de la ecuación de continuidad es la siguiente:

$$\sum_{f}^{N} J_f A_f = 0 \tag{91}$$

Donde J_f representa el flujo másico a través de la cara. El valor de la velocidad es obtenido de un promedio ponderado de momentum, utilizando factores de peso basados en a_p. J_f es obtenido a partir de los valores almacenados de presión y velocidad normales dentro de 2 celdas a los lados de la cara.

$$J_f = \rho_f \frac{a_{p,c0} v_{n,c0} + a_{p,c1} v_{n,c1}}{a_{p,c0} + a_{p,c1}} + d_c((p_{c0} + (\nabla p)_{c0} \cdot \vec{r_0}) - (p_{c1} + (\nabla p)_{c1} \cdot \vec{r_1})) \quad (92)$$

$$J_f = \tilde{J}_f + d_f(p_{c0} - p_{c1}) \quad (93)$$

Acoplamiento Presión-Velocidad
El acoplamiento Presión-Velocidad se realiza mediante la ecuación de continuidad discretizada para obtener una relación adicional para la presión. Ansys provee de 2 formas para dar solución a fenómeno en cuestión: Segregado o Acoplado: los que difieren en si la solución de las ecuaciones gobernantes se realiza de forma secuencial o simultanea respectivamente. El solver segregado permite elegir entre 4 algoritmos: SIMPLE, SIMPLEC, PISO y Fractional Step (FSM).
EL modelo **SIMPLE** utiliza una relación entre la presión y la correlación de la presión que asegure satisfacer la ecuación de continuidad y así obtener el campo de presión. La ecuación de movimiento se resuelve por medio de un campo ficticio de presión p^* que permite obtener un campo de velocidad provisorio y un flujo másico resultante J^*.

$$J_f^* = \tilde{J}_f^* + d_f(p_{c0}^* - p_{c1}^*) \tag{94}$$

$J*$ no satisface la conservación de masa, por lo que requiere de un factor de corrección del flujo másico, utilizando un factor corregido de presión:

$$J^* = \tilde{J}^* + J' \tag{95}$$
$$J' = d_f(p'_{c0} - p'_{c1}) \tag{96}$$

El sustituir las ecuaciones anteriores en la de continuidad discretizada, se obtiene la ecuación corregida para la presión en cada celda:

$$a_p p' = \sum_{nb} a_{nb} p'_{nb} + b \tag{97}$$
$$b = \sum_{f}^{N} J_f^* A_f \tag{98}$$

Con b el flujo de masa entrante. De las ecuaciones anteriores se obtiene la presión en la celda y el flujo en las caras, que se corrigen a través del factor de relajación α para la presión, satisfaciendo la ecuación de continuidad.

$$p = p^* + \alpha_p p' \tag{99}$$
$$J = J_f^* + d_f(p'_{c0} - p'_{c1}) \tag{100}$$

si α toma valores entre [0,1] se denomina factor de subrelajación y si sobrepasa la unidad de sobrerelajacaión, el primer caso determina una mayor estabilidad computacional y menor velocidad de convergencia. De observase un comportamiento inestable, se propone disminuir los valores de α, para la presión hasta 0.2.

SIMPLEC trabaja de forma similar a SIMPLE, con la diferencia en el coeficiente d_f del flujo, siendo este una función de $a_p - \sum_{nb} a_{nb}$ que permite acelerar la convergencia si esta se ve restringida por el acoplamiento presión-velocidad. Este algoritmo

se recomienda para flujos simples donde la convergencia esté condicionada principalmente por el acoplamiento presión-velocidad, logrado mayor rapidez de convergencia que SIMPLE, en casos más complejos, lograrán tasas de convergencia similares. De igual forma se recomiendan estos algoritmos para flujos transientes con pasos de tiempo cortos, utilizados en modelos de turbulencia LES, pues requieren menor capacidad computacional.

El factor de relajación recomendado para este algoritmo es 1 que permite acelerar la convergencia, valores superiores, aumentan la inestabilidad para mallas muy asimétricas, utilizando un valor más conservador (0.7).

PISO, usa un procedimiento similar a los mencionados anteriormente, pero evitando el cálculo repetitivo de las velocidades y flujos respectivos al no satisfacer la ecuación de momentum luego de resolver la ecuación de presión corregida. Para mejorar la eficiencia del cálculo este procedimiento implementa 2 correcciones adicionales: neightbor y skewness corrections. El primero, permite llevar los cálculos reiterativos dentro de la etapa de solución de la ecuación de presión corregida, disminuyendo el número de iteraciones requeridas para la convergencia. El segundo, luego de dar solución a la ecuación corregida de presión, recalcula su gradiente asociado y lo utiliza para actualizar el valor de la corrección del flujo másico, reduciendo la dificultad en la convergencia para malla asimétricas.

Este algoritmo con la corrección neightbor, es recomendado para flujos transitorios, con grandes pasos de tiempo, pero sin generar mayor diferencia con los algoritmos SIMPLE y SIMPLEC, para pasos de tiempo pequeños, en cuyo caso se recomienda utilizar factores de corrección 1 para todas las ecuaciones.

La corrección skewness, se recomienda para mallas con gran distorsión en flujos estacionarios y transitorios, cuyos coeficientes de relajación deben sumar la unidad para la ec. de la presión y de momentum. La implementación de los 2 métodos de corrección se encuentra por defaul en Ansys, recomendando desacoplarlos para mallas con alta distorsión.

Coupled Algorith se diferencia de los demás por resolver las ecuaciones de momentum y continuidad de forma simultánea o acoplada, mejorando la convergencia pero con un mayor corto computacional. Este esquema funciona de manera más eficiente para problemas de estado estacionario sin cambios de fase, en comparación con los esquemas segregados, discretizando de manera implícita el gradiente de presión en la ecuación de momentum y del flujo másico, logrando mayor eficiencia y rapidez en la convergencia.

Según lo detallado anteriormente se utilizará el algoritmo Coupled para la simulación mesoescala

Evaluación de gradientes y derivadas
La discretización de los gradientes se hace necesaria para la obtención de valores de las variables en las caras de la celda de los términos difusivos y derivadas de la velocidad en las ecuaciones de conservación. Para ello, Ansys dispone de 3 esquemas: Green-Gauss Cell-Based,Green-Gauss Node-Based y Least Squares Cell-Based. El primero de ellos genera el valor del gradiente en la cara de la celda, a partir del valor de la variable obtenida del promedio aritmético entre los valores entre las caras de las celdas vecinas. El segundo, a partir del valor en los nodos de las celdas vecinas por medio de un promedio ponderado. El tercer método, asume una variación lineal, considerando la distancia entre los centroides.

Node-Based y Least Squares, logran una exactitud similar en presencia de una malla asimétrica y distorsionada, el último con menos requerimiento computacional.
Por lo anterior, la desratización de tipo Least Squares Cell-Based será utilizada para la simulación mesoescala

5.3.3. Geometría

La geometría consta del volumen de control de dimensiones generales 15x9.6x0.8 km, el cual contiene la superficie del cordón montañoso correspondiente a la sección del cuadrante analizado. De lo anterior se desprende que, la geometría no contendrá al solido correspondiente a los cordones montañosos, sino que estos serán representados por la superficie que los describe en una de las caras del volumen de control.

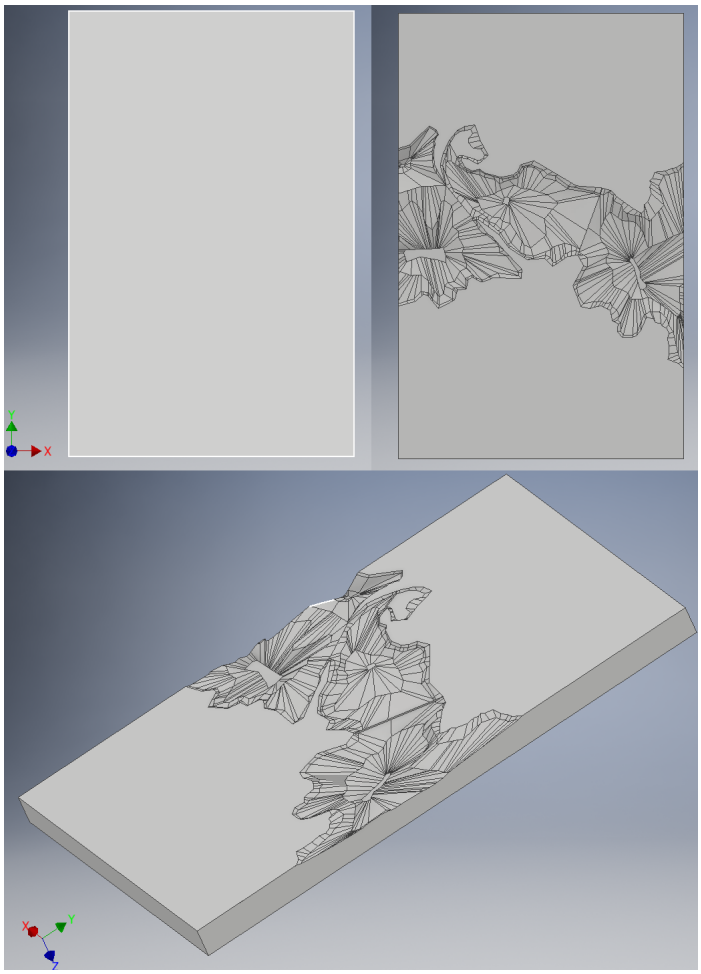


Figura 61: Geometría.
Superior: vista frontal y posterior.
Inferior: vista posterior rotada.

5.3.4. Mallado

La discretización del dominio corresponde a la generación de una malla, que permita converger la solución de las ecuaciones de conservación. Las siguientes denominaciones se incorporan a los contornos del volumen de control:

- V1V2: corresponde a la cara del volumen de control que une los vértices V1-V2
- QV1: corresponde a la cara del volumen de control que une los vértices V1-Quinta de Tilcoco
- QR: corresponde a la cara del volumen de control que une los vértices Quinta de Tilcoco-Requinoa
- RV2: corresponde a la cara del volumen de control que une los vértices Requinoa-V2
- Superficie: superficie inferior del volumen de control sin la superficie correspondiente a los cordones montañosos.
- Cordón: corresponde a la superficie solo de los cordones montañosos.
- Techo: corresponde a la parte superior del volumen de control.

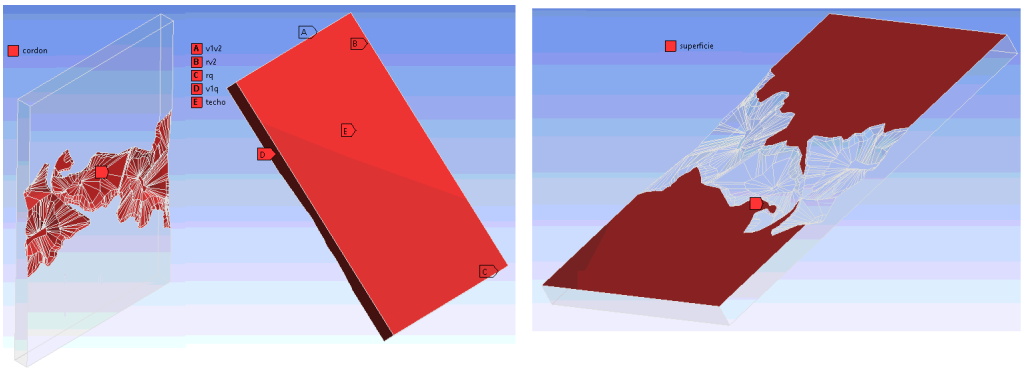


Figura 62: Named Selection

Debido a la irregularidad del cordón montañoso, es que será utilizado el método Cut-cell de tipo cartesiano, de mallado predominantemente hexaédrico con acoplamiento de elementos tetraédricos en secciones dependiendo de la geometría, con un algoritmo de tipo Patch independent, el cual genera los volúmenes correspondientes dentro de la geometría para luego proyectarlos sobre las caras y bordes respectivos, sin tener que ajustar la malla a los bordes de las caras. Lo anterior es útil cuando la geometría presenta caras de tamaño pequeño, que no requieren aumentar el refinamiento de la malla, lo que ocurre en el presente caso donde, el cordón montañoso debido a su irregularidad presenta variabilidad en el tamaño de las caras que lo conforman, haciendo necesario

un mallado que se ajuste a la superficie general de modo de reflejar adecuadamente las características del flujo en su paso por el cordón montañoso, principalmente su dirección.

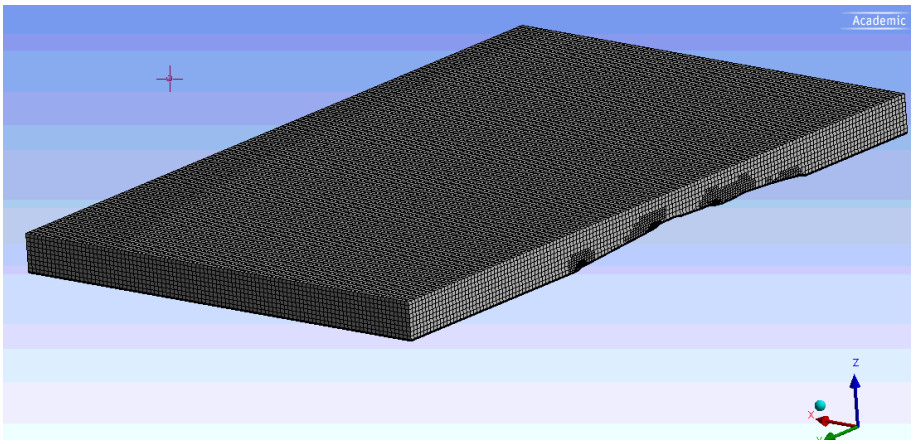


Figura 63: Mallado General Volumen de Control

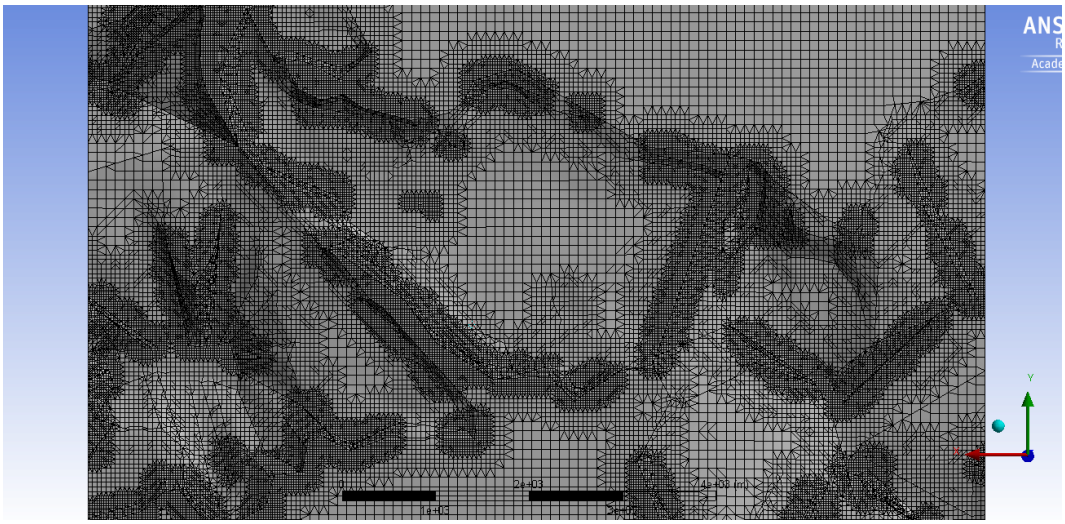


Figura 64: Zoom Mallado general sector Cordón montañoso

El mallado general del volumen de control completo es de tipo hexaédrico, con elementos en el eje x de 99.01 m, 99.36 m en y, y 87.4 m en z. Lo anterior, para el volumen contenido sobre la superficie sin considerar el cordón montañoso, donde existe una deformación de la malla con elementos del tipo hexaédricos y tetraédricos predominantemente, esto generando diferentes tamaños de celdas en el volumen por sobre el cordón como se puede ver en las siguientes imágenes.

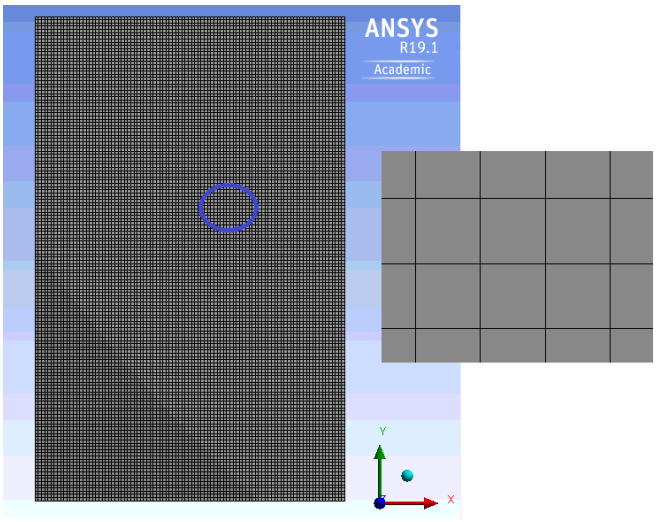


Figura 65: Mallado hexaédrico

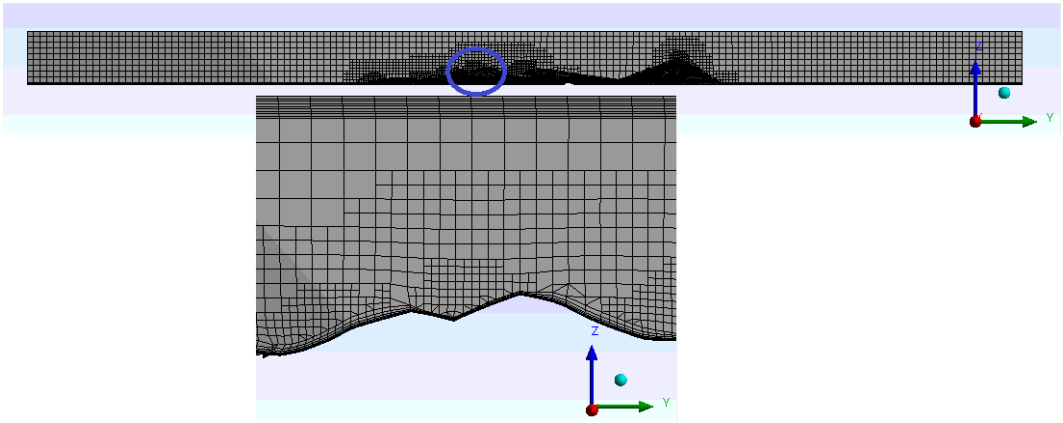


Figura 66: Zoom Contorno superficie Cordón montañoso

Se implementará un refinado de la malla en los primeros 15 m de altura desde la superficie del volumen de control, en toda la extensión del cuadrante, generando 10 capas, cuya distancia de separación aumenta paulatinamente con un factor de de 1.6 (Grow rate). Lo anterior para describir apropiadamente el comportamiento de la dirección del flujo principalmente sobre los cordones montañosos, y la incidencia de estos en el contorno del cuadrante de modelación microescala.

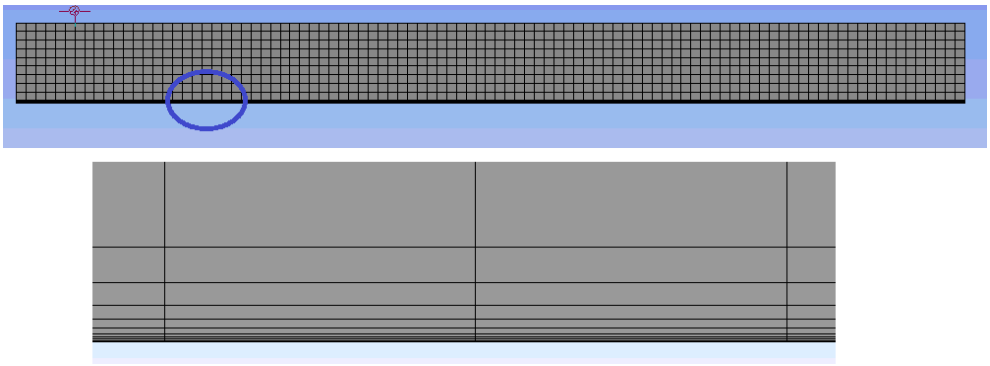


Figura 67: Zoom refinamiento vertical del mallado

capa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
[m]	0.354	0.567	0.907	1.452	2.323	3.716	5.946	9.513	15.221

Cuadro 23: Distanciamiento entre capas desde la superficie

A partir del mallado descrito anteriormente, se obtiene un total de 886.718 nodos y 954.508 elementos, determinando una calidad de la malla en el rango de buena a excelente según los parámetros de Skewness, ortogonalidad y Aspect Ratio.[33]

Aspect ratio relaciona la longitud mayor y menor de los elementos, disminuyendo el error de interpolación y asegurando valores de las magnitudes físicas aceptables, al ser lo más cercano a 1.

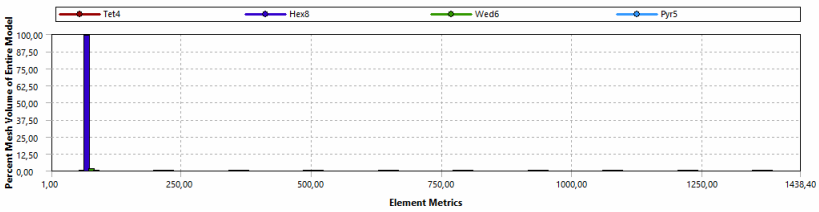


Figura 68: Aspect Ratio

Skewness es una medida de la estrechez de la celda, comparando su tamaño real con el ideal, valores cercanos a cero indican una mejor calidad del mallado.

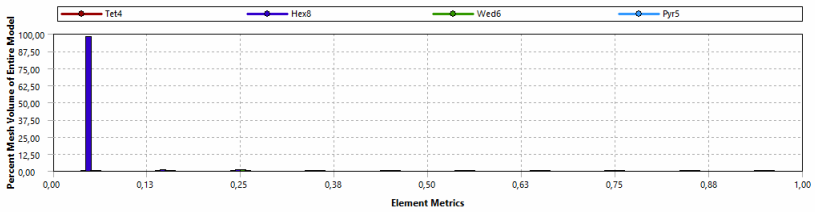


Figura 69: Skewness

Orthogonality quality es la medida de la desviación entre la conexión directa del centro de los elementos vecinos con la línea media de la cara, que asegura un tamaño uniforme de las celdas del mallado, con un valor cercano a 1.

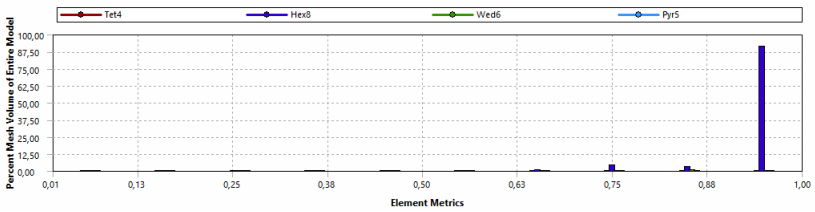


Figura 70: Orthogonal Quality

5.3.5. Set Up: Modelos, Materiales y Condiciones de Borde Mesoescala

Se utiliza el solver **Pressure Based solver**, recomendado para flujos incompresibles de baja velocidad, considerando la ocurrencia del fenómeno en estado estacionario ya desarrollado, en un volumen de control fijo (velocidad absoluta), considerando los efectos de la gravedad. Lo anterior, para ambos meses, agosto y septiembre.

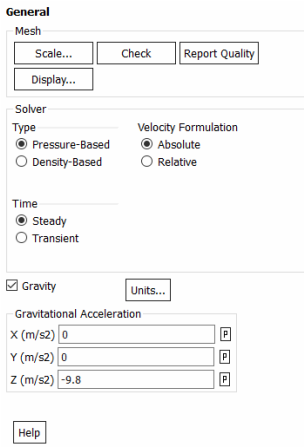


Figura 71: Parámetros generales del Set-Up

Modelos

Para la simulación mesoescala, se utilizarán 2 modelos: viscoso-laminar y viscoso-turbulento, para posteriormente seleccionar aquel que permita obtener un mejor resultado en relación a la validación con los datos medidos en Copequen y a reproducir adecuadamente el fenómeno físico.

El modelo viscoso-laminar resuelve las ecuaciones instantáneas de conservación de masa, momentum y energía con las variables promedio del flujo, como la velocidad y

temperatura, sin considerar las fluctuaciones de estas y con un valor constante para la viscosidad molecular.

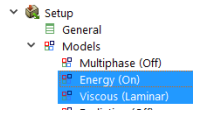


Figura 72: Modelos simulación Mesoescala

El modelo turbulento seleccionado corresponde al Shear Stress Transport (SST) $\kappa - \omega$ Model, que como se verá en la validación de resultados, es el que permite obtener valores de las variables estudiadas más cercanas a los datos registrados en la localidad de Copequen.

El modelo SST$\kappa - \omega$ utiliza una mezcla entre los modelos $\kappa - \varepsilon$ y $\kappa - \omega$ para obtener una solución más robusta y exacta en las regiones cercanas a la pared, donde utilizada un modelo similar al $\kappa - \omega$, y en sectores de flujo libre similar a $\kappa - \varepsilon$, esto en vista de que cada uno de los ellos reproducen el fenómeno físico correspondiente de mejor manera en dichos sectores del flujo. Lo anterior por medio de la incorporación de una función de mezcla que activa o desactiva a cada modelo dependiendo de la cercanía con la pared.

Los modelos mencionados resuelven las ecuaciones promediadas de Reynolds (RANS), que descomponen a las variables instantáneas en una componente promedio y otra fluctuante, para dar solución a las ecuaciones de continuidad, momentum y energía.

$$\phi_i = \bar{\phi} + \phi' \tag{101}$$

Al reemplazar la expresión anterior en las ecuaciones instantáneas de continuidad y momentum, aparece el tensor de esfuerzos de Reynolds, que caracteriza a los flujos turbulentos y que requiere de incorporar una nueva ecuación que permita cerrar el sistema para obtener la solución del problema. En los modelos mencionados se utiliza la aproximación de Boussinesq para modelar el tensor de esfuerzos de Reynolds, debido a su bajo costo computacional:

$$-\rho\overline{u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \tag{102}$$

El modelo $\kappa - \omega$ (también $\kappa - \varepsilon$) agrega 2 ecuaciones de transporte adicional, una para la energía cinética turbulenta κ y otra para su tasa de disipación asociada ε u ω (para cada modelo respectivamente). La diferencia entre los modelos radica en la forma de obtener la viscosidad turbulenta μ_t, los números de Prandtl, que describen a la energía cinética turbulenta y su disipación (constantes) y los términos de generación y destrucción en la ecuación de transporte.

La ecuación de transporte de energía turbulenta y de disipación para el modelo $\kappa - \omega$, corresponde a:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\kappa u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_\kappa \frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right) + G_\kappa - Y_\kappa + S_\kappa \tag{103}$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right) + G_\omega + D_\omega - Y_\omega + S_\omega \tag{104}$$

$$G_\kappa = -\rho\overline{u_i' u_j'}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \tag{105}$$

$$G_\omega = \frac{\alpha\rho G_\kappa}{\mu_t} \tag{106}$$

$$\Gamma_\kappa = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \tag{107}$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \tag{108}$$

Donde G_k representa la generación de energía cinética turbulenta debido al gradiente de la velocidad promedio, G_ω la producción de ω, Γ_κ y Γ_ω la difusividad efectiva de κ y ω respectivamente, Y_κ y Y_ω la disipación κ y ω debido a la turbulencia y S_κ,S_ε los términos fuente definidos por el usuario. D_ω corresponde al termino de difusión cruzada que permite combinar los dos modelos ($\kappa - \omega$ y $\kappa - \varepsilon$).
La viscosidad turbulenta μ_t, es obtenida por medio de:

$$\mu_t = X\frac{\rho\kappa}{\omega} \tag{109}$$

Donde X incorpora un factor de amortiguación de la viscosidad turbulenta α, que permite corregir la viscosidad para R_e bajos y el transporte de energía cinética turbulenta debido al esfuerzo de corte, entre otros.
La transferencia de calor convectivo se relaciona con la incorporación de la ecuación de energía:

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}[u_i(\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[k\frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i(\tau_{ij})\right] + S_h \tag{110}$$

$$\tag{111}$$

Donde E representa la energía total, k la conductividad térmica y τ_{ij} el tensor de esfuerzos de R_e, responsable del calentamiento viscoso.

Debido a que cerca de la pared, el flujo no depende de los parámetros que caracterizan el comportamiento turbulento, sino más bien, la velocidad depende de la distancia a la pared, la densidad, viscosidad y el esfuerzo de corte, lo que se expresa por medio de la ley de pared.

Para establecer el tratamiento de las condiciones de pared que afectan a la simulación se debe optar entre dos metodologías: establecer relaciones semi-empíricas (wall functions) para la solución de la capa viscosa e intermedia entre esta y la capa totalmente turbulenta o modificar los modelos de turbulencia para resolver por medio de una malla adecuada en dichas capas (near-wall modeling). Las dos metodologías tienen en común que separan la zona cercana a la pared 2 sectores, el primero más próximo a la pared donde el amortiguamiento viscoso condiciona las fluctuaciones de la velocidad tangencial y el segundo donde se vuelve relevante la turbulencia debido a la magnitud de los gradientes de velocidad.

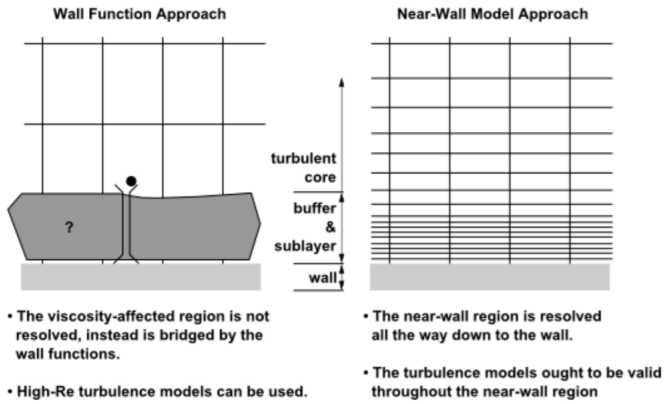


Figura 73: Tratamiento de condiciones de pared en Ansys

En el caso de los modelos RANS, near-wall modeling permite obtener predicciones más consistentes en cuanto a esfuerzo de corte y la transferencia de calor sobre la pared, recomendado para casos de flujos con baja velocidad, flujo cercano a disco rotativo, flujos debido a flotación, entre otros. El método denominado Enhanced wall treatments consiste en separar todo el dominio en una parte viscosa y otra turbulenta por medio del número de Reynolds turbulento, la distancia a la pared y características del flujo, según:

$$Re_y = \frac{\rho y \sqrt{k}}{\mu} \tag{112}$$

La posición con respecto a la superficie, será la relación utilizada para tomar en consideración los efectos de la viscosidad, en las cercanías de la pared o subcapa viscosa, sobre la velocidad y la temperatura, resolviendo las ecuaciones de transporte en cada punto de la malla, correspondientes al modelo viscoso. En la zona más alejada de la pared se resuelven las ecuaciones correspondientes al modelo de turbulencia seleccionado, para este caso SST $\kappa - \omega$.

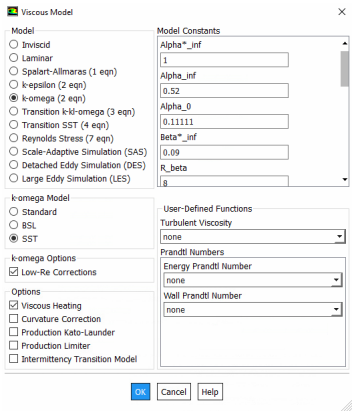


Figura 74: Modelos simulación microescala

Materiales

El fluido corresponde a aire, el cual será considerado incompresible, manteniendo constante la densidad, calor específico, conductividad térmica, viscosidad y peso molecular pre-establecidos.

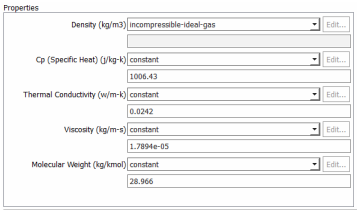


Figura 75: Propiedades Aire

Las características del cordón montañoso son desconocidas y para establecerlas se utilizan los recursos disponibles en la literatura. La densidad se fija en un valor de 2700 kg/m3 correspondiente a rocas de la corteza continental. Debido a la variabilidad de la conductividad térmica con la temperatura y calor específico, se utiliza el siguiente gráfico que representa el comportamiento de las variables mencionadas según la temperatura, la que corresponde a la temperatura potencial virtual promedio de los 4 vértices del cuadrante de modelación, con un valor de 281.51 y 283.05 K, para el mes de agosto y septiembre respectivamente.

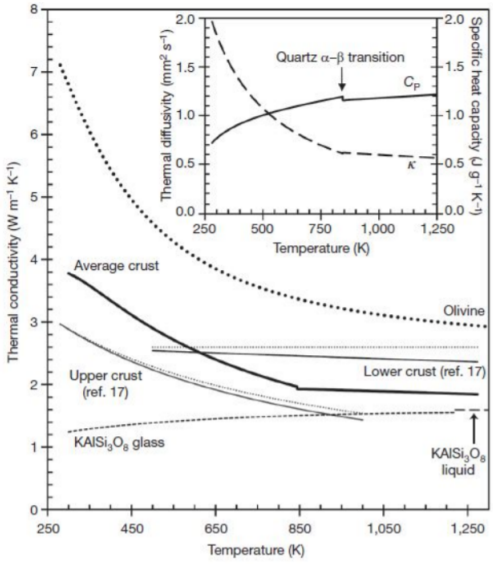


Figura 76: Conductividad térmica de rocas corticales en función de la temperatura (Whittington et al., 2009) [29]

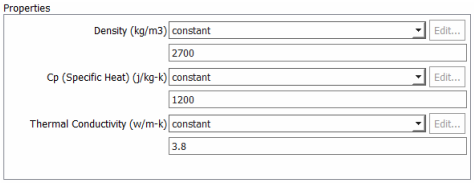


Figura 77: Propiedades Cordón Montañoso

Se hace necesario definir las propiedades físico-químicas del suelo (sin incluir el cordón montañoso), como la conductividad térmica, la cual varía de acuerdo con la densidad aparente del suelo, el contenido mineral, orgánico y de agua[34]. Dichas características son desconocidas y difíciles de cuantificar por la magnitud del cuadrante de modelación, en vista de esto, es que se utilizaran valores característicos según el tipo de suelo de la provincia de Cachapoal a la cual pertenece el sitio de estudio.

Según diversas investigaciones[35][36], la granulometría de la provincia se encuentra entre franco arcillo-limosa a franco limosa, donde la cualidad de franco representa la textura ideal, con una mezcla equilibrada entre arena, limo y arcilla. En base a lo anterior, se tomarán valores promedio de las propiedades físico-químicas de dichas partículas obtenidas desde la literatura[37][38].

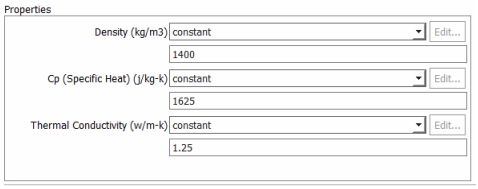


Figura 78: Propiedades Suelo

Condiciones de Borde simulación Mesoescala
Para la generación de las condiciones de borde se utilizarán valores promedio asociados al horario comprendido entre las 05-08 AM, de un día característico representativo de las localidades Requinoa y Quinta de tilcoco, vértices del cuadrante de simulación mesoescala.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los valores a utilizar para el cálculo de las condiciones de borde asociadas a los vértices V1 y V2, obtenidas a partir del año 2018. Las variables de Humedad Relativa (HR) y Temperatura (T) fueron medidas a 1.5 m y 2 m para la velocidad, por lo que el perfil de dichas variables que caracterizan su comportamiento a mayor altura y a nivel de superficie que se detallará en las siguientes secciones.

	Agosto				septiembre			
Variable	Quinta de T.	Requinoa	V1	V2	Quinta de T.	Requinoa	V1	V2
HR [%]	91.14	92.58	91.3	90.89	93.91	91.53	91.61	91.61
T[C°]	7.60	4.07	4.18	7.49	4.99	6.71	6.53	7.38
V[m/s]	0.193	0.093	0.193	0.093	0.149	0.085	0.107	0.128

Cuadro 24: Resumen condiciones de borde vértices cuadrante de modelación mesoescala.

Obtención Perfil de Temperatura

El perfil de temperatura para una atmósfera estáticamente estable, presenta un perfil exponencial según la ecuación:

$$\Delta\theta(z) = \Delta\theta_s \exp(-z/H_e) \tag{113}$$

$$\Delta\theta(z) = \theta(z_i) - \theta(z = RL) \tag{114}$$

$$\Delta\theta_s = \theta(z = 0) - \theta(z_{RL}) \tag{115}$$

Utilizada para establecer la condición de borde para la temperatura en cada una de las aristas del volumen de control. Para obtener la constate He de la ecuación anterior se utiliza:

$$h_{RL} = 5H_e \tag{116}$$

Donde h_{RL} corresponde a la profundidad de la RL y cuya ecuación es válida para una atmósfera estáticamente estable [19]. Para determinar dicha altura a la cual comienza la capa residual (altura a la cual la temperatura se vuelve constante), se utiliza la investigación realizada en el valle central de la región de O'Higgins (34°05'S 71°42'W) en las cercanías de la localidad de Graneros, que permitirá realizar una comparación con lo obtenido en el documento: Caracterización de la estructura térmica de la atmósfera en la cuenca de Santiago y su relación con la calidad del aire [27].

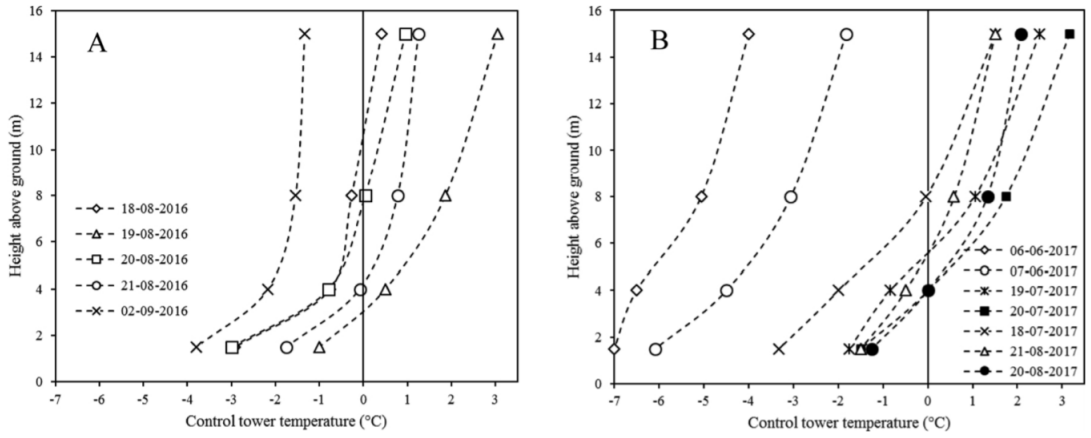


Figura 79: Perfil de temperatura obtenido en [14] durante la media hora mas fría en lo eventos de Heladas Radiativas.

A partir del registro de temperaturas en graneros se validará el balance energético descrito en el capítulo 4. Marco teórico, aplicado dicha localidad, que permitirá obtener la profundidad de la RL por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta\theta_s = \theta(z = 0) - \theta(z = h) = \frac{t * Q_H}{H_e * \rho * C_p} \quad [K] \tag{117}$$

De la ecuación se hace necesario conocer la temperatura a nivel de superficie y a los h m de altura, pero el registro corresponde a 1.5 m, la siguiente ecuación será utilizada para realizar la aproximación:

$$\theta(z = 1{,}5m) = T(z = 1{,}5m) + 0{,}0098 * z \quad [K] \tag{118}$$

$$\theta(z = RL) = \theta(z = 1{,}5m) - \Delta\theta_s * \exp(-1{,}5/H_e) \quad [K] \tag{119}$$

$$\tag{120}$$

Donde t corresponde al tiempo de enfriamiento, equivalente a las horas de duración de la noche, que para el período es de 14 hrs (puesta-salida del sol, 50400 segundos), ρ y C_p corresponden a la densidad y el calor especifico del aire, con un valor de $\rho * C_p 1231$ J/kgK. La incorporación de las variables mencionadas anteriormente permite obtener el flujo de calor sensible en unidades de [K*m], requeridas para obtener la diferencia de la temperatura potencial entre la superficie y el comienzo de la capa residual en [K].

El balance de energía superficial corresponde a:

$$R_n - Q_g = Q_H - Q_L \quad [W/m2] \tag{121}$$

$$Q_g = 0{,}5RN \quad [W/m2] \tag{122}$$

$$RN = -f\varepsilon_0\sigma T(z = 1{,}5m)^4 \quad [W/m2] \tag{123}$$

$$\varepsilon_0 = 0{,}34 - 0{,}139\sqrt{P_v(z = 15)} \tag{124}$$

Con R_Nv la radiación neta incidente sobre la superficie, Q_g el flujo de calor del subsuelo, Q_H y Q_L el flujo de calor sensible y latente respectivamente, donde este último será despreciado, considerando que no existe un cambio de fase en el vapor de agua contenido en el aire. El flujo de calor del subsuelo puede estimarse como un porcentaje del flujo neto de radiación [19], equivalente al 50 % durante la noche. El valor de f relaciona la nubosidad, con un valor de 1 para cielos completamente despejados correspondiente al caso general y más desfavorable de eventos de heladas[10], σ corresponde a la constante de Stefan-Boltzmann, finamente ε_0 la emisividad neta aparente entre la superficie y el cielo.

Por medio de la validación con los datos registrados en la localidad de graneros, se puede establecer un valor de He correspondiente a 71.25 m, lo que equivale a una profundidad de la capa residual de 356.25 m que será utilizado para los meses de agosto y septiembre en vista de que no existe registro de heladas para el mes de septiembre de 2017 en dicho estudio.

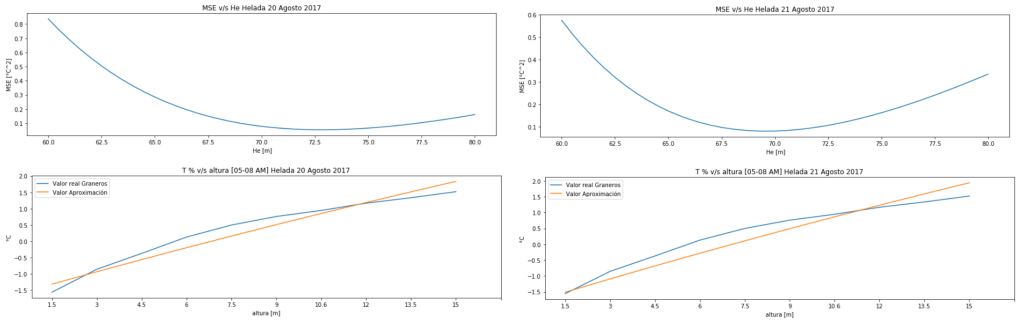


Figura 80: Comportamiento del error para diferentes valores de He y de la temperatura registrada en graneros v/s aproximación del balance energético.

El orden de magnitud de estos valores fue contrastado con lo registrado en caracterización de la estructura térmica de la atmósfera en la cuenca de Santiago y su relación con la calidad del aire [27], donde se observa una inversión térmica superficial fuerte hasta los 22 m, entre los 110-500 existe un suave incremento de temperatura equivalente a un menor gradiente y luego de los 500 m el perfil se vuelve relativamente isotérmico para comenzar con el decaimiento de la temperatura con la altura tras los 770 m. Los registros corres poden a las horas comprendidas entre 04-08 a.m de los meses fríos (abril-agosto) registrados en la estación meteorológica de la platina para 1990, utilizado para varios estudios de estabilidad atmosférica de la cuenca de Santiago.

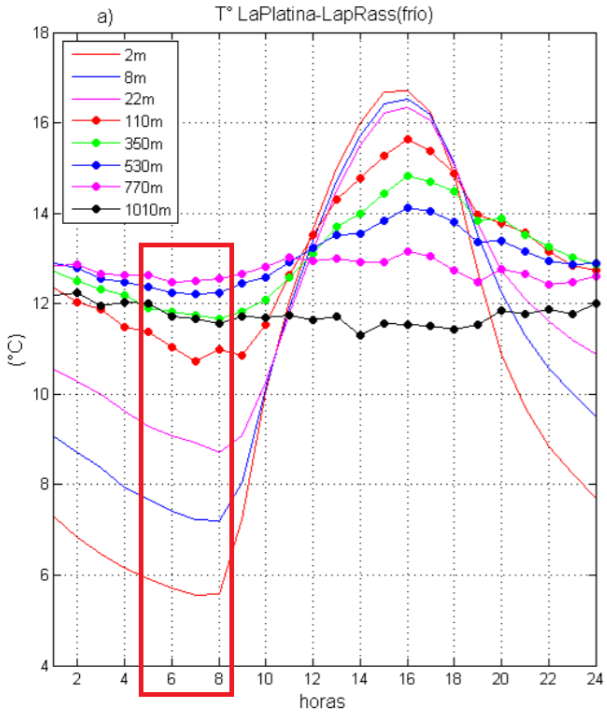


Figura 81: Ciclo diario promedio de temperatura para distintos niveles obtenidos desde la Torre La Platina y el perfilador para el período 1999.[27]

Se utilizará una relación proporcional para el volumen de control de la simulación con respecto a la altura para establecer los sectores en los cuales existe una inversión térmica, un perfil relativamente isotérmico y finalmente cuando la temperatura desciende con la altura correspondiente a un perfil adiabático, propio de la RL y ML[19]:

$$T(z_i) = -9{,}8(z_i - z_{i-1}) + T(z_{i-1}) \tag{125}$$

$$\theta(z) = T(z) - 0{,}0098z \tag{126}$$

La T(z=1.5m) fue obtenida para V1 y V2 por medio de IDW y será utilizada para generar las ecuaciones gobernantes del perfil de temperatura en dichos puntos.

Las ecuaciones anteriores permiten obtener la temperatura potencial, la cual no considera el efecto de la humedad y haría necesario incluir la ecuación de continuidad y de transporte representativa del cambio del contenido de humedad en un volumen fijo de aire. Para evitar esto, se utiliza el potencial de temperatura virtual como condición de borde final para la temperatura en los vértices del volumen de control.

$$\theta_v = \theta \left(\frac{P - 0{,}62 * \phi P_s}{P - \phi P_s} \right) \tag{127}$$

Donde la presión de saturación debe ser la correspondiente a la temperatura, y la presión total a la presión atmosférica. La presión de saturación será obtenida por medio

de las relaciones aportadas por La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado ASHRAE.

Obtención Perfil de Velocidad

El perfil del viento será obtenido a través del modelo logarítmico, que permite considerar la rugosidad aerodinámica y el valor correspondiente al módulo de la velocidad proyectado para los vértices V1 y V2 y registrado para las localidades de Quinta de tilcoco y Requinoa a una altura de referencia de 2 m desde la superficie, según la ecuación:

$$M(z) = M(z_r)\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) / \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)\right] \tag{128}$$

Donde z_0 corresponde a la rugosidad aerodinámica, z_r la altura de referencia a la cual fueron registradas las mediciones y $M(z_r)$ la velocidad registrada a dicha altura. $M(z_r)$ es obtenido en base al promedio de los valores proyectados correspondientes para cada contorno del volumen de control.

La rugosidad aerodinámica a mesoescala tendrá un valor de 0.1 m, representativo de terrenos abiertos, con áreas cultivadas de árboles de baja estatura, obstáculos ocasionales y arbustos individuales.[19] [28]

Implementación Condiciones de Borde

Luego de obtener los valores de Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad y dirección del viento en cada uno de los vértices del cuadrante a mesoescala: V1 y V2 por medio de la IDW y los datos de muestra de Requinoa y Quinta de Tilcoco, será ingresado como condición de borde para cada contorno del volumen de control el promedio entre los valores (dirección del viento) y/o funciones (temperatura y velocidad) de las aristas involucradas en la cara respectiva.

La condición de borde correspondiente a la temperatura será incorporada a través de la temperatura potencial virtual, en base al comportamiento exponencial de la temperatura descrito anteriormente, para los primeros 375 m de altura, y posteriormente al entrar en la capa residual, el perfil de temperatura será considerado adiabático, con un perfil de temperatura potencial constante, respectivo para cada contorno en cada mes. A continuación, se muestran las ecuaciones correspondientes para cada contorno.

$z \leq 375m$	Agosto	Septiembre
Contorno	Función Temperatura Potencial virtual	Función Temperatura Potencial virtual
V1-V2	$\theta_v(z) = 1{,}00415 * [-20{,}56\exp(-z/71{,}25) + 25{,}98]$	$\theta_v(z) = 1{,}00455 * [-20{,}19\exp(-z/71{,}25) + 26{,}74]$
V2-Requinoa	$\theta_v(z) = 1{,}00415 * [-20{,}53\exp(-z/71{,}25) + 25{,}89]$	$\theta_v(z) = 1{,}00455 * [-20{,}16\exp(-z/71{,}25) + 26{,}8]$
Requinoa-Q. de Tilcoco	$\theta_v(z) = 1{,}00415 * [-20{,}49\exp(-z/71{,}25) + 25{,}92]$	$\theta_v(z) = 1{,}00418 * [-20{,}46\exp(-z/71{,}25) + 25{,}9]$
Q. de Tilcoco-V1	$\theta_v(z) = 1{,}00415 * [-20{,}53\exp(-z/71{,}25) + 26{,}00]$	$\theta_v(z) = 1{,}00418 * [-20{,}48\exp(-z/71{,}25) + 25{,}83]$
$z \geq 375m$	$\theta_v(z = 375m)$	

Cuadro 25: Condiciones de borde Temperatura Simulación Mesoescala

La condición de borde para la velocidad será incorporada según lo especificado anteriormente. A continuación, se presentan las ecuaciones correspondientes para cada contorno.

	Agosto	septiembre
Contorno	Función Velocidad	Función Velocidad
V1-V2	$M(z) = 0{,}1429[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$	$M(z) = 0{,}1173[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$
V2-Requinoa	$M(z) = 0{,}0928[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$	$M(z) = 0{,}1064[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$
Requinoa-Q.de Tilcoco	$M(z) = 0{,}1429[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$	$M(z) = 0{,}1173[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$
Q. de Tilcoco-V1	$M(z) = 0{,}1931[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$	$M(z) = 0{,}1282[\ln(z/0{,}1)/\ln(2/0{,}1)]$

Cuadro 26: Condiciones de borde Perfil de Velocidad Simulación Mesoescala

Finalmente, la condición de borde de la dirección del viento, se obtiene como valor promedio entre las aristas correspondientes.

	Agosto	Septiembre
Contorno	Dirección del viento [Rad]	Dirección del viento [Rad]
V1-V2	1.9834	2.7228
V2-Requinoa	3.5378	3.3585
Requinoa-Q. de Tilcoco	2.4392	2.409
Q. de Tilcoco-V1	0.8849	1.7633

Cuadro 27: Condiciones de borde Dirección del Viento

Elección Condiciones de Borde preestablecidas por Ansys Fluent
Para el cordón montañoso y la superficie, se ingresa la condición de borde **Wall**, a partir de la cual se restringe la característica de no deslizamiento propia de un fluido viscoso. La rugosidad aerodinámica no es especificada en dicha condición, puesto que su influencia queda incorporada en los perfiles de velocidad asociados a cada contorno.
La temperatura para la superficie corresponde al promedio de temperatura potencial virtual de los 4 vértices del cuadrante obtenidas por medio del perfil de temperatura potencial virtual respectivo a una altura de z=0 m y para el cordón montañoso, a una altura de z=15 m, en vista de una mayor exactitud requerida por la simulación bajo esta altura.

Named Selection	Superficie	cordón
T Agosto [K]	278.59	282.51
T Septiembre [K]	279.17	283.05

Cuadro 28: Temperatura ingresada condición **Wall**

La parte superior del volumen de control o *Techo*, es del tipo **Symmetry**, que caracteriza a geometrías con un eje de simetría, pero que también puede ser utilizada para

representar cero cizalle en flujos viscosos, cuando la condición de borde se encuentra lo suficientemente alejada de la superficie para no generar influencia y establecer flujo nulo de todas las cantidades con respecto al contorno de condición simétrica. Por tanto, no existe flujo difusivo a través de este plano: el gradiente normal de las variables con respecto al plano es cero al igual que la velocidad normal a este y el esfuerzo de corte.

Para los contornos QR, V1V2, V2R y V1Q, se ingresan los perfiles de temperatura potencial virtual respectivos, por medio de UDF o funciones definidas por el usuario interpretadas por Ansys. A partir de la dirección del viento predominante en los contornos del volumen de control, se selecciona el tipo de condición de borde para la velocidad entre:

- **Velocity Inlet**: la dirección de la velocidad indica el ingreso del flujo al volumen de control, incorporando el perfil de velocidad respectivo por medio de **UDF**, así como la dirección del viento correspondiente.
- **Outflow**: de utilidad al desconocer las características de las variables en las salidas, fijando la condición de flujo desarrollado en la cual el gradiente normal al borde es cero para todas las variables exceptuando la presión.

Debido a que la dirección del viento para cada contorno es respectiva a cada mes (septiembre y agosto), las condiciones de borde para cada uno de ellos son presentadas a continuación:

Contorno	Agosto	Septiembre
Q-R	Velocity Inlet	Velocity Inlet
V1-Q	Outflow	Outflow
V2-R	Outflow	Velocity Inlet
V1-V2	Outflow	Outflow

Cuadro 29: CB Preestablecidas Agosto-Septiembre simulación Mesoescala

5.3.6. Solución

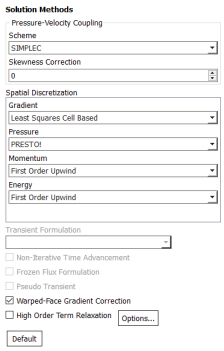


Figura 82: Methods simulación Mesoescala escenario Laminar

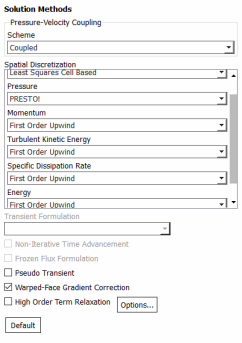


Figura 83: Methods simulación Mesoescala escenario Turbulento

Métodos

5.3.7. Controls

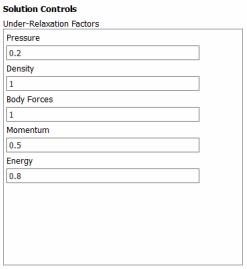


Figura 84: Controls simulación Mesoescala escenario Laminar

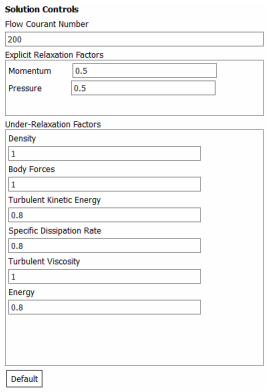


Figura 85: Controls simulación Mesoescala escenario Turbulento

Inicialización

Será utilizada la modalidad de inicialización estándar, con los valores predeterminados según las condiciones de borde asociadas con el modelo, la simulación sera realizada con 1000 iteraciones, comenzando desde el contorno RQ del volumen de control.

6. Resultados

6.1. Escenarios

Debido a que el contorno RQ del volumen de control es el único con mediciones reales y los contornos V1Q, V1V2 y RV2 fueron estimados por medio de análisis matemáticos, es que se realizan diversas pruebas para establecer el mejor escenario de simulación, variando los tipos de condiciones de borde en los contornos V1Q, V1V2 y RV2, para el mes de Agosto.

El primer caso analizado corresponde a la asignación de la condición de borde **Velocity Inlet**, que permite ingresar el perfil de velocidad y dirección del viento (también el perfil de temperatura) obtenido por medio de la interpolación inversa ponderada por distancia y frecuencia respectiva. Este escenario no logra cumplir con la conservación de masa dentro del volumen de control, con diferencias del orden de 10^9 Kg/s, debido a la ocurrencia de **Reversed Flow**.

Contorno	Condición de borde
RQ	Velocidad inlet
QV1,V1V2,V2R	Vel. Inlet
Superficie,cordon	wall
techo	symmetry

Cuadro 30: Condiciones de Borde caso 1

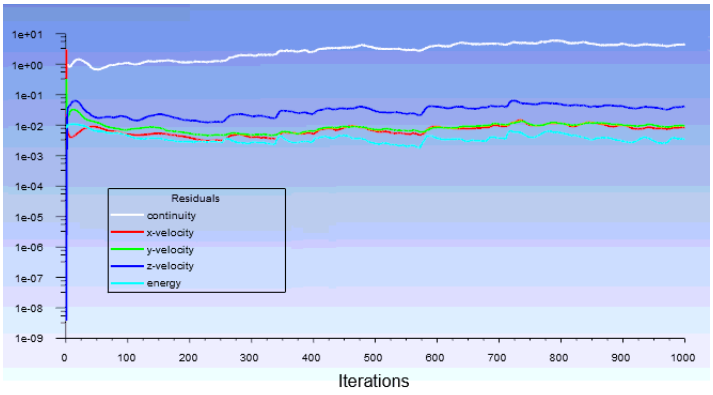


Figura 86: Comportamiento residuales asociados a C.B Velocity Inlet

	Continuidad	Vel. x	Vel. y	Vel. z.	Energía
Residuales	10^0	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}

Cuadro 31: Valores finales Residuales C.B Velocity Inlet

El segundo caso analizado corresponde a la asignación de **Pressure Outlet** a los contornos mencionados anteriormente, en este caso la conservación de masa es de 3000 [kg/s], debido a la ocurrencia de **Reversed Flow**.

Contorno	Condición de borde
RQ	Velocidad inlet
QV1,V1V2,V2R	Pressure Outlet
Superficie,cordon	wall
techo	symmetry

Cuadro 32: Condiciones de Borde Caso 2

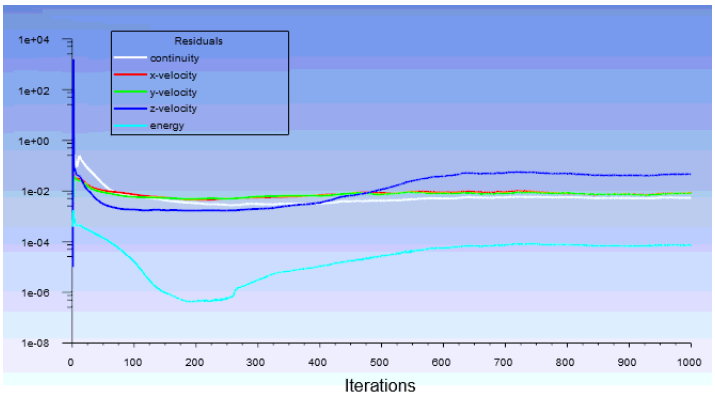


Figura 87: Comportamiento residuales asociados a C.B Pressure outlet

Residuales	Continuidad	Vel. x	Vel. y	Vel. z.	Energía
	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-5}

Cuadro 33: Valores finales Residuales C.B Pressure Outlet

El tercer caso analizado corresponde la asignación de **Outflow**, que, según la literatura, presenta un mejor comportamiento frente a la condición de inversión del flujo. Para este caso la conservación de masa dentro del volumen de control se reduce a 0.247 Kg/s. Este escenario será el utilizado finalmente para la obtención de resultados de la simulación mesoescala, al no contar con las condiciones reales para los 3 contornos del cuadrante de simulación mencionados anteriormente.

Contorno	Condición de borde
RQ	Velocidad inlet
QV1,V1V2,V2R	outflow
Superficie,cordon	wall
techo	symmetry

Cuadro 34: Condiciones de Borde

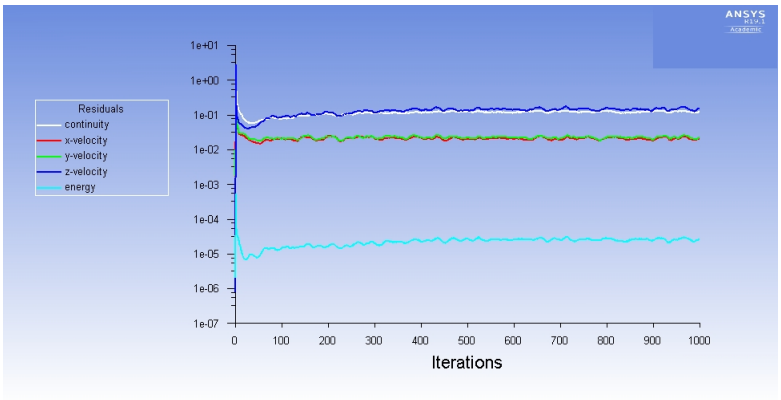


Figura 88: Comportamiento residuales asociados a C.B Outflow

	Continuidad	Vel. x	Vel. y	Vel. z.	Energía
Residuales	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-5}

Cuadro 35: Valores finales Residuales C.B Outflow

Cabe señalar que las pruebas para diferentes condiciones de borde señaladas anteriormente, se realizaron bajo el modelo laminar, logrando un comportamiento similar bajo el modelo turbulento con una conservación de masa de 0.289 kg/s, como se puede ver en la siguiente imagen.

	Continuidad	Vel. x	Vel. y	Vel. z.	Energía	κ	ω
Residuales	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-5}	10^{-1}	10^{-1}

Cuadro 36: Valores finales Residuales C.B Outflow

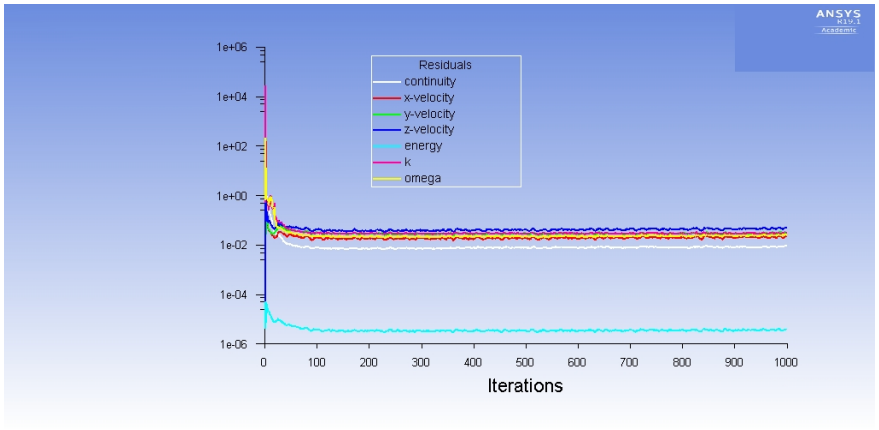


Figura 89: Residuales Modelo turbulento

6.2. Validación de resultados

En base a los registros de las variables meteorológicas: Humedad Relativa, Temperatura, velocidad y dirección del viento en la localidad de Copequen del año 2018, se validarán los resultados obtenidos por medio de la simulación mesoescala en el contorno correspondiente al cuadrante microescala (localidad de Campo Viveros Copequen).

Mes	HR[%]	T°C	θ_v °C	Velocidad [m/s]
Agosto	91.64	4.67	4.70	0.259
Septiembre	89.08	7.80	7.85	0.404

Cuadro 37: Valores promedio variables meteorológicas registrados en la localidad de Copequen entre las 05-08 A.M

Debido a que los registros de la estación meteorológica se encuentran a una distancia de aproximadamente 150 metros de la máquina de viento instalada en el cuadrante de modelación microescala y por su ubicación, representan las condiciones de uno de los 4 contornos laterales de dicho cuadrante, como se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 90: Ubicación Estación meteorológica con respecto al cuadrante de modelación microescala

Los resultados de la simulación en el contorno del cuadrante microescala, específicamente en el lado LA, corresponden a 4 nodos. El error relativo de cada uno de ellos con respecto al valor registrado por la estación meteorológica se presenta a continuación, para cada modelo utilizado.

Cuadro 38: Error % Temperatura y Velocidad

	Temperatura		Modulo Velocidad	
Nodo	Error %	Error %	Error %	Error %
N1	-27.17	-31.24	63.36	-16.83
N2	-32.95	-31.06	51.72	-19.07
N3	-33.47	-30.83	31.35	-19.45
N4	-34.90	-30.50	44.96	-19.17
	M. Laminar	M. Turbulento	M. Laminar	M. Turbulento

De la tabla anterior se desprende un error porcentual promedio para la temperatura -32 y -31 % para el modelo laminar y turbulento respectivamente, y para el módulo de velocidad de 48 y -19 %.

La dirección del viento y frecuencia respectiva para los horarios comprendido entre las 05-08 A.M se muestran a continuación:

Cuadro 39: Frecuencias relativa dirección del viento Copequen Agosto horario 05-08 Am

	N	**NE**	**NO**	**S**	**O**	**SO**	**SE**	**E**	**SI**
5:00	0	0.516	0	0	0	0.258	0.226	0	0
6:00	0	0.516	0.065	0	0	0.290	0.129	0	0
7:00	0	0.516	0.0968	0	0	0.387	0	0	0
8:00	0	0.419	0.0968	0	0	0.258	0.226	0	0

Cuadro 40: Frecuencia relativa dirección del viento Copequen Septiembre horario 05-08 A.M

	N	**NE**	**NO**	**S**	**O**	**SO**	**SE**	**E**	**SI**
5:00	0	0.433	0.1	0	0	0.3	0.167	0	0
6:00	0	0.433	0.033	0	0	0.367	0.167	0	0
7:00	0	0.367	0.033	0	0	0.433	0.167	0	0
8:00	0	0.3	0.033	0	0	0.6	0.067	0	0

Debido a que la dirección del viento ingresada como condición de borde fue obtenida por medio de la ponderación inversa por distancia y frecuencia, tomando en consideración la frecuencia máxima para cada localidad, es que se realiza un desglose del rango de dirección del viento con mayor frecuencia.

Cuadro 41: Desglose dirección predominante Copequen Agosto

	[0-22.5]	**]22.5-45]**	**]45-67.5]**	**]67.5-90]**	**Dirc. Pred.**	**Frec.**
5:00	0	3	7	6	NE	0.516
6:00	0	3	5	8	NE	0.516
7:00	2	3	4	7	NE	0.516
8:00	0	2	4	7	NE	0.419

Cuadro 42: Desglose dirección predominante Copequen Septiembre

	[0-22.5]	**]22.5-45]**	**]45-67.5]**	**]67.5-90]**	**Dirc. Pred.**	**Frec.**
5:00	1	1	2	9	NE	0.433
6:00	2	1	2	8	NE	0.433
	[180-202.5]	**]202-5225]**	**]225-247.5]**	**]247.5-270]**	**Dirc. Pred.**	**Frec.**
7:00	27	2	0	0	SO	0.433
8:00	27	1	0	1	SO	0.6

A partir del desglose realizado para cada frecuencia predominante, se puede ver que para todos los horarios del mes de agosto y para el horario 05-06 A.M del mes de septiembre, el total de veces en que la dirección del viento se encuentra en alguno de los rangos correspondientes a la dirección predominante, es bajo, con un máximo de 9 veces del total de 31 y 30 días (para cada horario, agosto y septiembre), lo que representa una dificultad para realizar la validación de estos. En cambio, los valores obtenidos para el mes de septiembre en el horario 07-08 A.M son representativos con un máximo de 27 veces de los 30 días.

Por lo mencionado anteriormente, los valores de dirección del viento obtenidos por medio de la simulación en el contorno microescala, difícilmente podrían representar fielmente su comportamiento en la realidad, debido a la variabilidad que presenta en su naturaleza meteorológica. De igual manera se presentan los resultados obtenidos en el contorno microescala para la dirección del viento en las secciones sucesivas.

6.3. Comparación de Resultados Agosto Modelo Viscoso-Laminar y Viscoso-Turbulento

Los resultados para el mes de agosto que se presentan a continuación corresponden al escenario detallado en la tabla siguiente:

Contorno	Condición de borde
RQ	Velocidad inlet
QV1,V1V2,V2R	outflow
Superficie,cordon	wall
techo	symmetry

Cuadro 43: Condiciones de Borde

6.3.1. Análisis Termodinámico

Se presenta la distribución de la temperatura en la superficie del volumen de control incluyendo el relieve correspondiente al cordón montañoso, para el modelo laminar (izquierda) y turbulento (derecha).

No se puede identificar un patrón en el plano xy para ninguno de los modelos, a pesar de esto, el modelo turbulento logra mayor homogeneidad en el cuadrante.
Se puede observar que en los sectores de menor altura se alcanzan las temperaturas más bajas, lo contrario ocurre en los sectores de más altos, representativo del fenómeno de inversión térmica.
Se evidencia el aumento de temperatura en la interfaz fluido-superficie cordón montañoso, producto del rozamiento viscoso, potenciado en los sectores de mayor altura, con mayor velocidad, donde los esfuerzos tangenciales viscosos producen la trasformación de la energía cinética en energía térmica, que se traduce en un aumento de la temperatura.

Cuadro 44: Resultados Temperatura Potencial Virtual Superficie [°C]

Plano	Mesoescala	Microescala	Mesoescala	Microescala
Tprom	6.11	6.02	6.97	6.76
Tmin	5.21	5.89	5.76	6.53
Tmax	6.68	6.15	7.63	7.03
Desv. Est.	0.28	0.07	0.28	0.17
Modelo	Laminar		Turbulento	

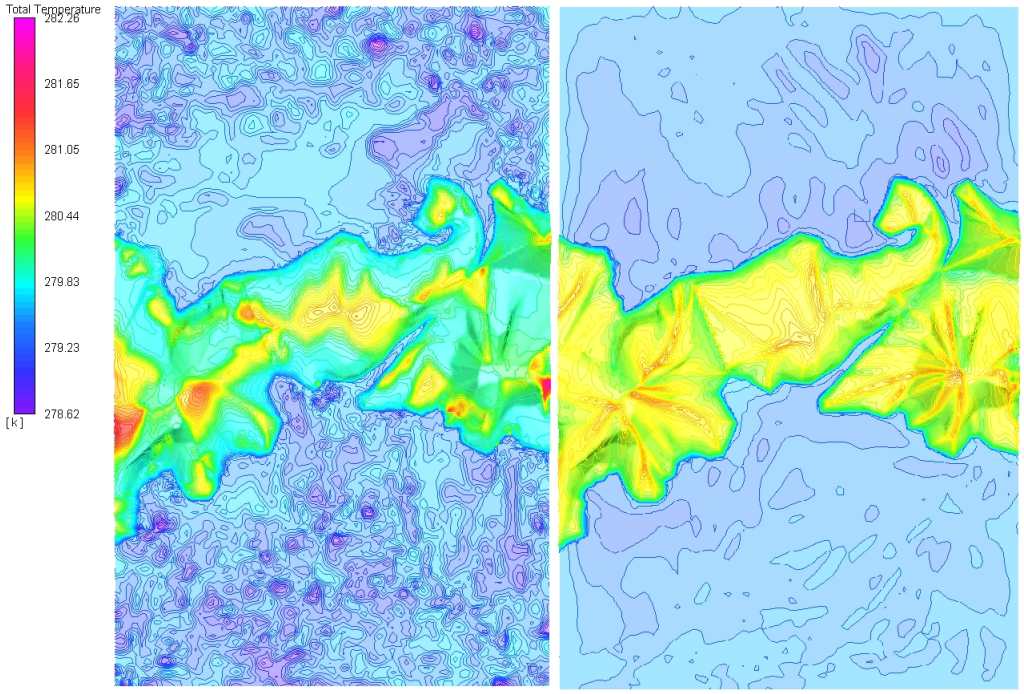


Figura 91: Distribución de Temperatura Potencial Virtual superficie V.C Mesoescala

Plano xy, z=1.5 [m]
Debido a que los datos de humedad relativa y temperatura utilizados para las condiciones de borde, fueron medidos a 1.5 m de altura, se presenta la distribución de temperatura potencial virtual en este plano.

Se observa un incremento de la temperatura en toda la extensión del cuadrante con respecto al plano z=0 [m], específicamente en los contornos del cordón montaños debido al calentamiento viscoso, lo que se acentúa en aquellas zonas de canalización de flujo, en las cuales aumenta la superficie de contacto entre el fluido y la superficie.

En ambos modelos la distribución de temperatura es en general homogénea en el cuadrante de modelación mesoescala y microescala. A pesar de esto en el modelo laminar se pueden observar sectores de menor temperatura distribuidos en distintas partes del cuadrante.

Cuadro 45: Resultados Temperatura potencial Virtual z=1.5[m] [°C]

Plano	Mesoescala	Microescala	Mesoescala	Microescala
Tprom	6.3	6.11	7.5	7.13
Tmin	5.5	5.94	6.16	15.92
Tmax	8.46	6.28	8.46	7.29
Desv. Est.	0.17	0.07	0.32	0.13
Modelo	Laminar		Turbulento	

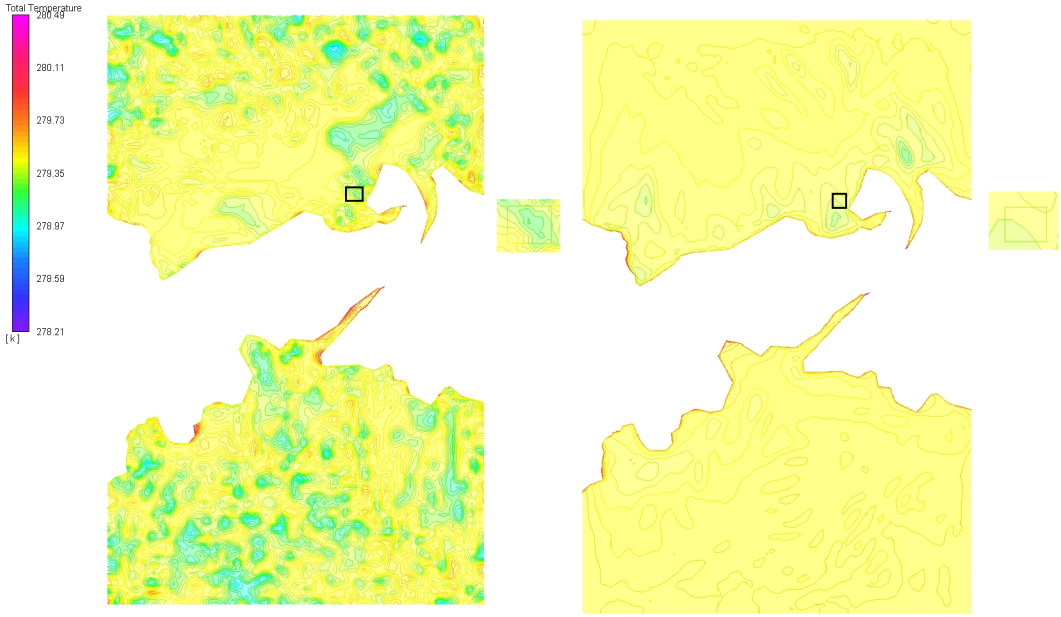


Figura 92: Distribución de Temperatura cuadrante Mesoescala z=15.m

Plano xy, z=[3,9.32,15.26] m
En la siguiente Figura se puede ser la distribución de temperatura en el cuadrante mesoescala para distintas alturas. En la parte superior el modelo laminar y en la inferior el modelo turbulento.

En los dos modelos se evidencia un aumento de la temperatura en aquellas zonas donde se canaliza el flujo debido al calentamiento viscoso y un incremento de la temperatura con la altura. Este incremento es mayor en el modelo laminar que en el viscoso.

Se diferencian en que el modelo laminar presenta una mayor heterogeneidad, con sectores de mayor y menor temperatura lo que se mantiene con el incremento de la altura, no así el modelo turbulento, donde aumenta la homogeneidad de temperatura en el cuadrante, propio del mezclado característico del régimen turbulento.

Existe un incremento paulatino de las temperaturas máximas y mínimas, disminuyendo también la desviación estándar y por tanto homogeneizando la distribución de la temperatura en el cuadrante microescala con el incremento de la altura. A continuación, se presenta una tabla resumen con los valores respectivos de cada plano.

Cuadro 46: Resultados Temperatura Potencial Virtual v/s altura

Modelo	Laminar	Turbulento	Laminar	Turbulento	Laminar	Turbulento
Tprom	6.18	6.25	6.51	5.61	6.55	7.66
Tmax	6.34	6.26	8.46	7.67	8.46	7.73
Tmin	6.07	6.22	5.85	7.56	5.85	7.56
Desv. Est.	0.073	0.012	0.12	0.03	0.12	0.04
z [m]	3		9.32		15.26	
Cuadrante	Microescala					

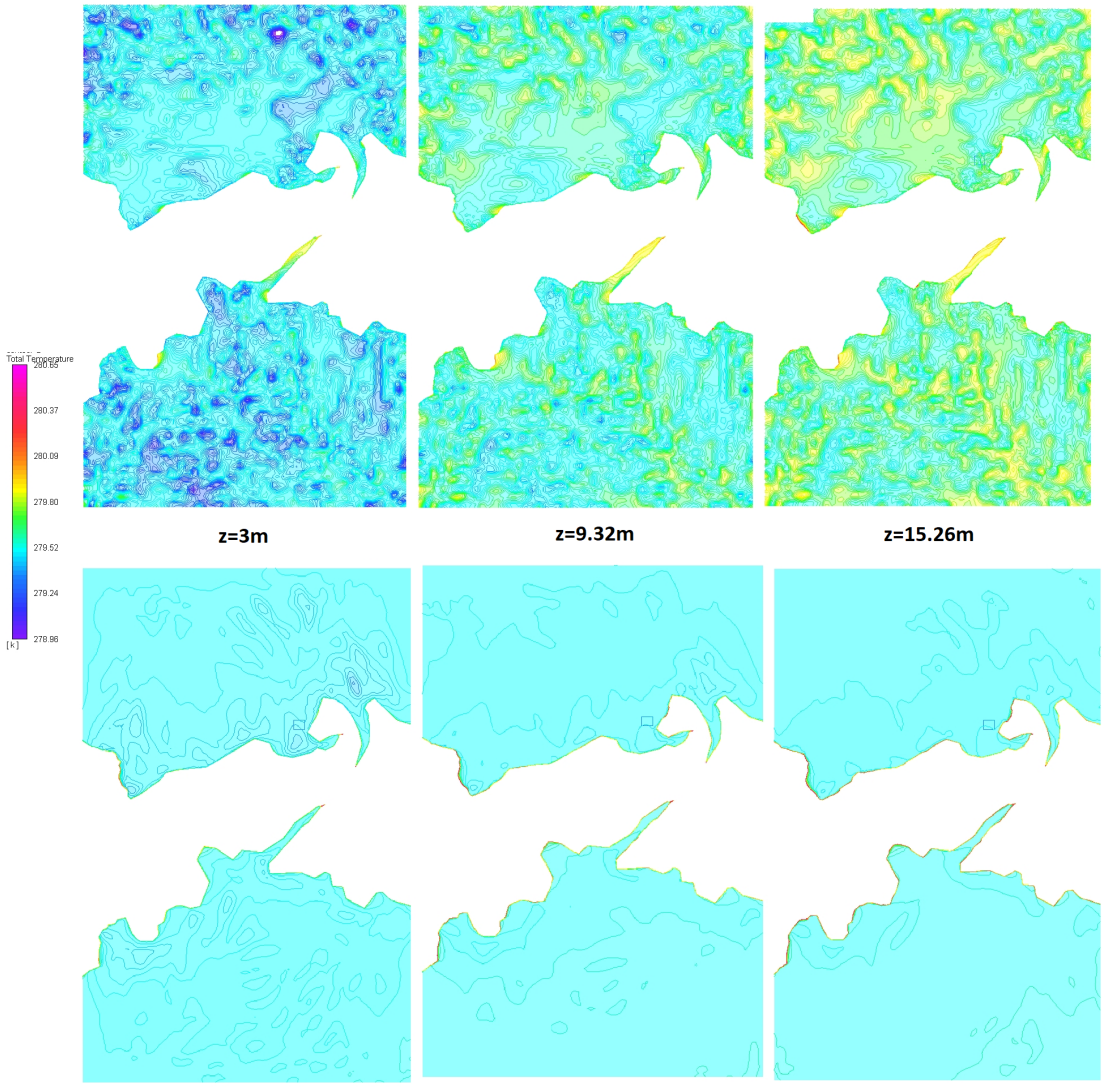


Figura 93: Distribución de Temperatura según altura cuadrante de modelación Mesoescala

6.3.2. Análisis Dinámico

Como se puede ver en la siguiente imagen, la presión varia con respecto a la presión atmosférica, disminuyendo según la altura como se observa en la superficie correspondiente al cordón montañosos, donde los valores más bajos de presión se encuentran en los sectores más altos del cordón y menores variaciones son observadas en la superficie, en donde la presión alcanza los valores máximos. Específicamente estos ocurren en el contorno cordón montañoso en contacto con la superficie, correspondiente al punto de estancamiento del flujo, al encontrarse con el accidente geográfico, tras lo cual comienza a acelerarse y ascender sobre la superficie del cordón montañoso.

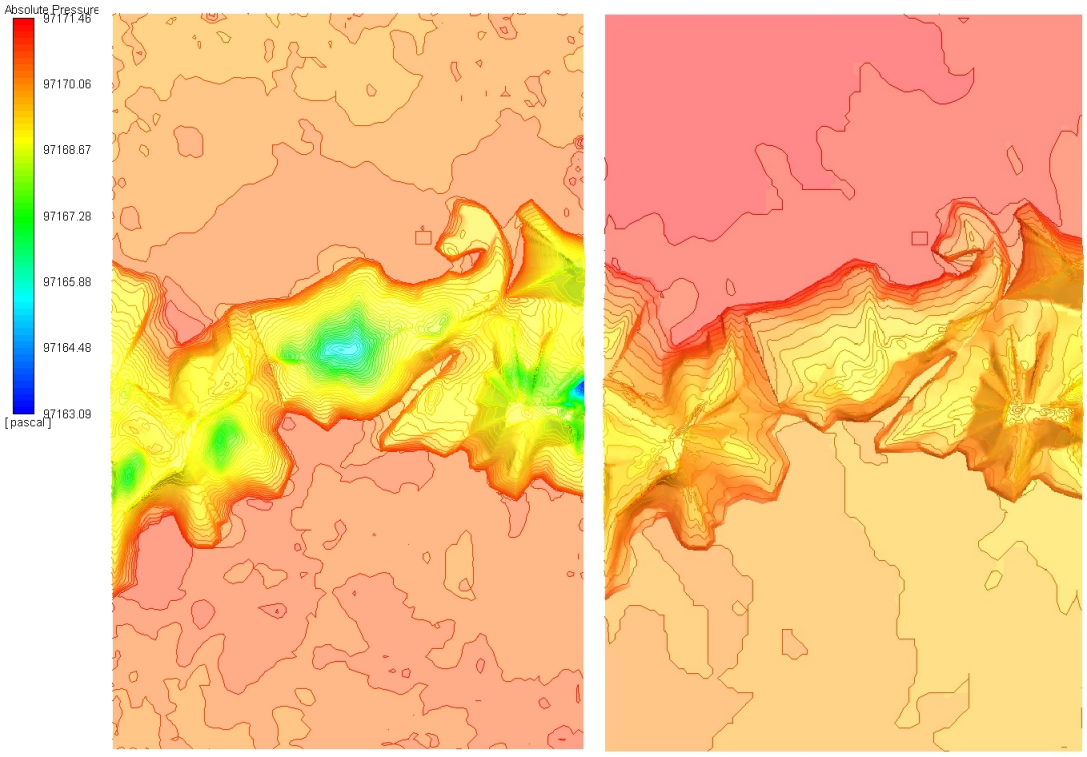


Figura 94: Presión Superficie Cuadrante de Modelación Mesoescala

La siguientes imágenes muestran el campo de velocidad en un plano x=$L_x/2$ y y=$L_y/2$, es decir, en la mitad del volumen de control paralelo al eje y e x respectivamente, el cuadro de color negro de la figura 95 y 96. es amplificado para mostrar los vectores de velocidad, donde el tamaño esta escalado para evidenciar la dirección que estos toman con respecto al relieve correspondiente.

La distribución de velocidad superior corresponde al modelo laminar, y la inferior al modelo turbulento. Ambos modelos muestran un comportamiento similar en la dirección del vector velocidad, caracterizado por la convergencia horizontal del flujo (ingreso del flujo horizontal por izquierda y derecha) por el aumento de la velocidad vertical con la altura, producto del gradiente vertical de presión, provocando un movimiento ascendente o divergencia vertical del flujo.
El esfuerzo turbulento, el gradiente de presión, la adveccion vertical y la gravedad, son los principales responsables del ascenso del flujo evidenciado en las imágenes, al generar un desplazamiento del equilibrio hidrostático de las parcelas de aire, desencadenando el movimiento vertical del flujo.

La dirección del viento evidenciado en las imágenes, puede ser comparado con lo ocurrido debido a la circulación forzada por la convergencia friccional en la capa limite planetaria predominante por sobre los efectos de intercambio de calor superficie-aire o advección térmica que produce un vórtice ciclónico en una atmósfera de presión y densidad constante estáticamente estratificada, considerando la baja variación de presión en el volumen de control.

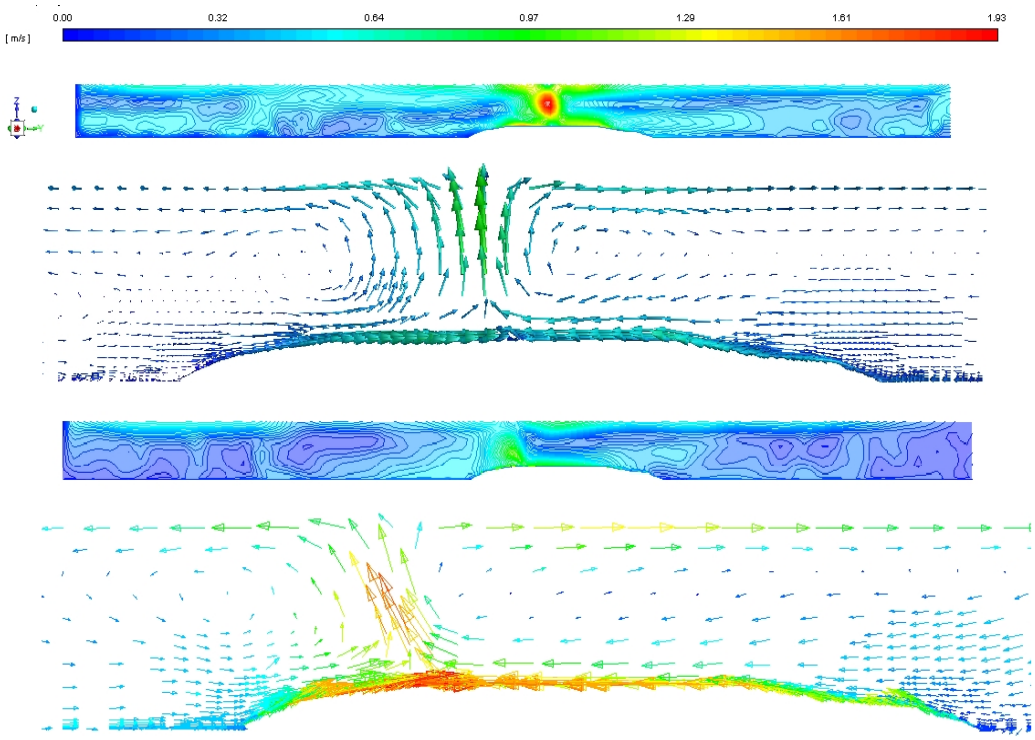


Figura 95: Campo de velocidad Plano paralelo eje X medio V.C

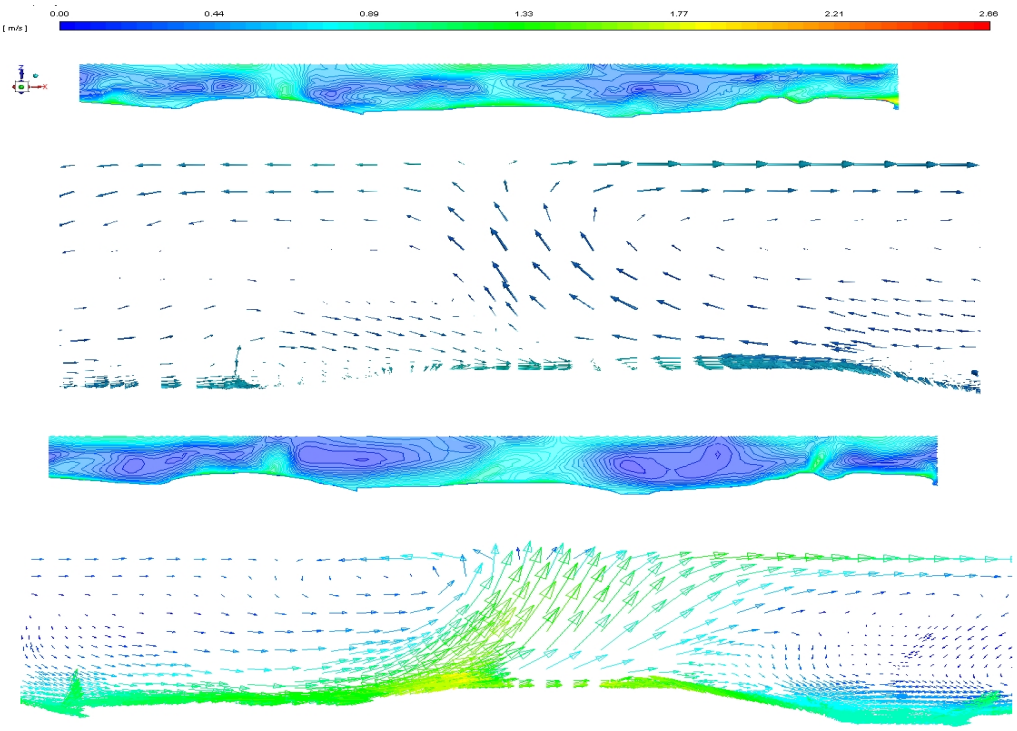


Figura 96: Campo velocidad Plano paralelo eje Y medio V.C

Plano XY, z=2 [m]
Debido a que los registros de magnitud y dirección del viento utilizados para generar las condiciones de borde para la simulación mesoescala fueron registrados a 2 m, es que se prestan los resultados obtenidos en este plano. En la parte superior de la figura se muestra la distribución de velocidad (izquierda) y presión (derecha) para el modelo laminar, y en la parte inferior para el turbulento.

El modelo laminar presenta una mayor heterogeneidad en cuanto el módulo de la velocidad en el cuadrante mesoescala, lo contrario ocurre en el modelo turbulento, donde se puede ver claramente un incremento del módulo de la velocidad en los sectores que rodean al cordón montañoso. Por lo anterior, el campo de presión en el cuadrante mesoescala presenta una mayor variabilidad en el modelo laminar, por el contrario, en el modelo turbulento, se pueden evidencia dos zonas: de presión intermedia (zona inferior) y de alta presión (zona superior), lo que se traduce en una desaceleración del flujo en el sector superior, contrario al modelo laminar.

En ambos modelos se produce aceleración del flujo en zonas de canalización debido a la forma del cordón montañoso, con mayor magnitud de velocidad en dichos sectores para el modelo laminar como se puede ver en la figura 13.

En el cuadrante microescala se evidencia homogeneidad en cuanto a la magnitud de la velocidad para ambos modelos, a pesar de esto, valores más altos de velocidad se evidencian en el turbulento. Por el contrario, en el modelo laminar, el cuadrante microescala podría corresponder a una zona de estancamiento del flujo, con menores valores de velocidad.

Cuadro 47: Resumen Valores Velocidad cuadrante Meso y Microescala [m/s]

Plano	Mesoescala	Microescala	Mesoescala	Microescala
Vprom	0.264	0.117	0.269	0.236
Vmin	0.002	0.074	0.004	0.142
Vmax	1.811	0.184	1.357	0.276
Desv. Est.	0.204	0.027	0.186	0.031
Modelo	Laminar		Turbulento	

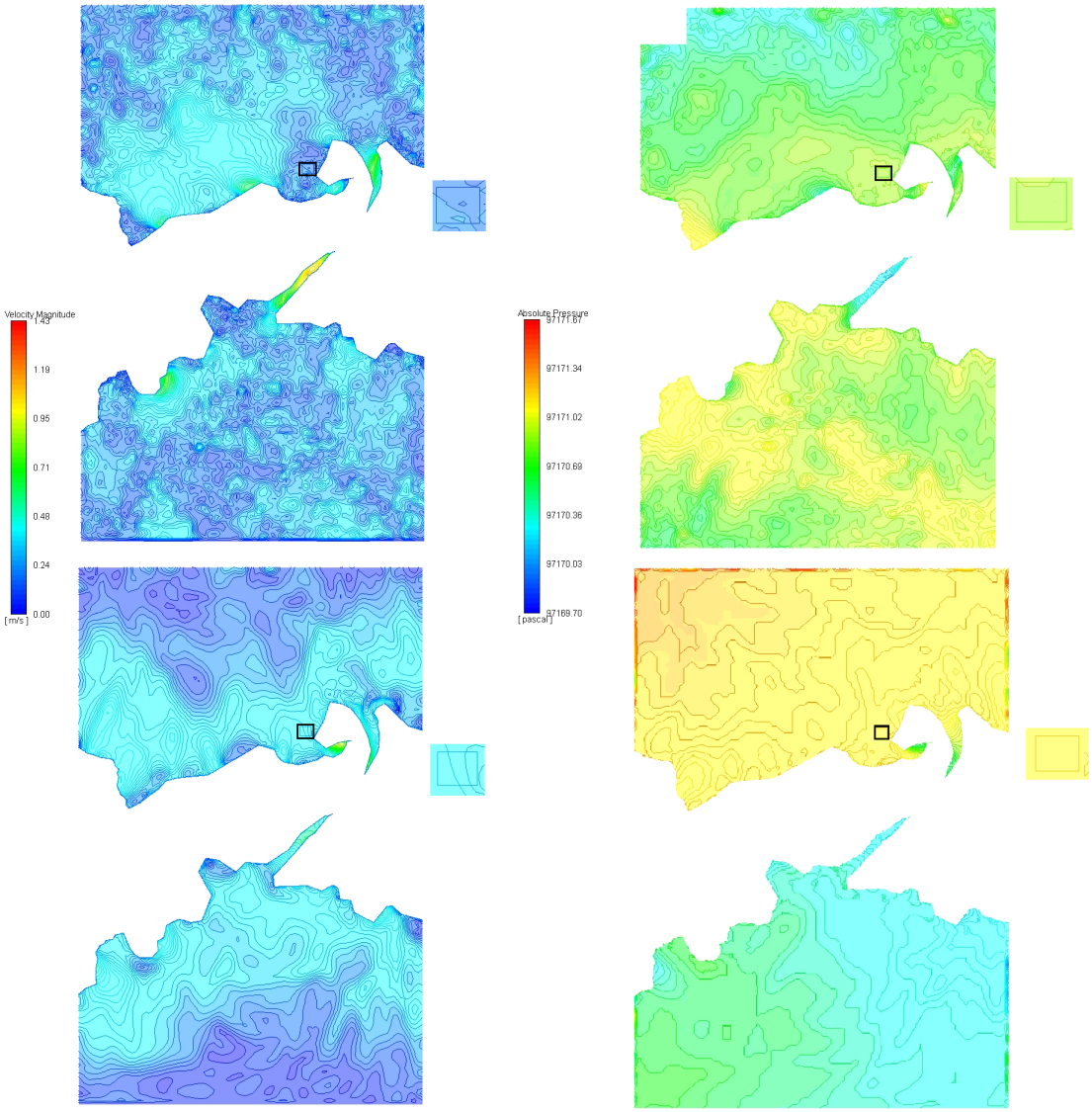


Figura 97: Campo de presión y velocidad 2 m meso y microescala

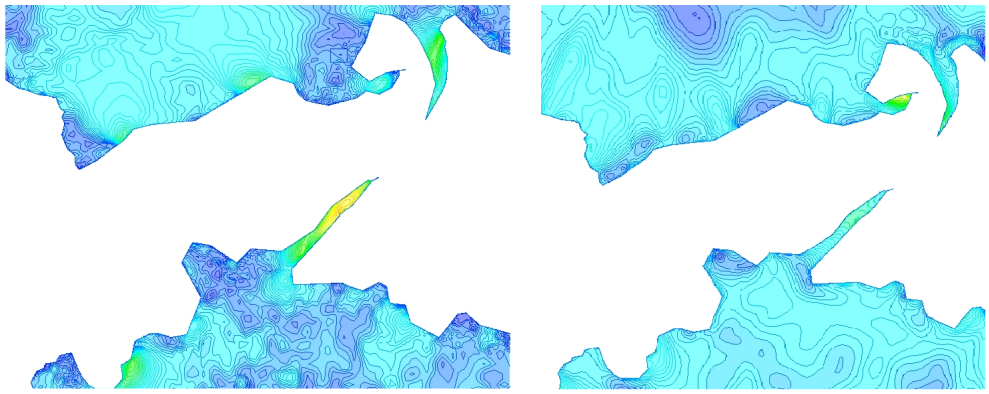


Figura 98: Zoom campo de Velocidad 2m

En los dos modelos existe una alta variabilidad en cuanto a la dirección del viento, se pueden identificar sectores en los cuales existe una dirección predominante, esto ocurre principalmente en aquellos sectores donde la magnitud de la velocidad es homogénea.

Existe un grado de similitud en la dirección del viento en aquellas zonas de canalización de flujo y en las cercanías del contorno inferior del cordón montañoso, donde la tendencia del flujo es en dirección al cordón.

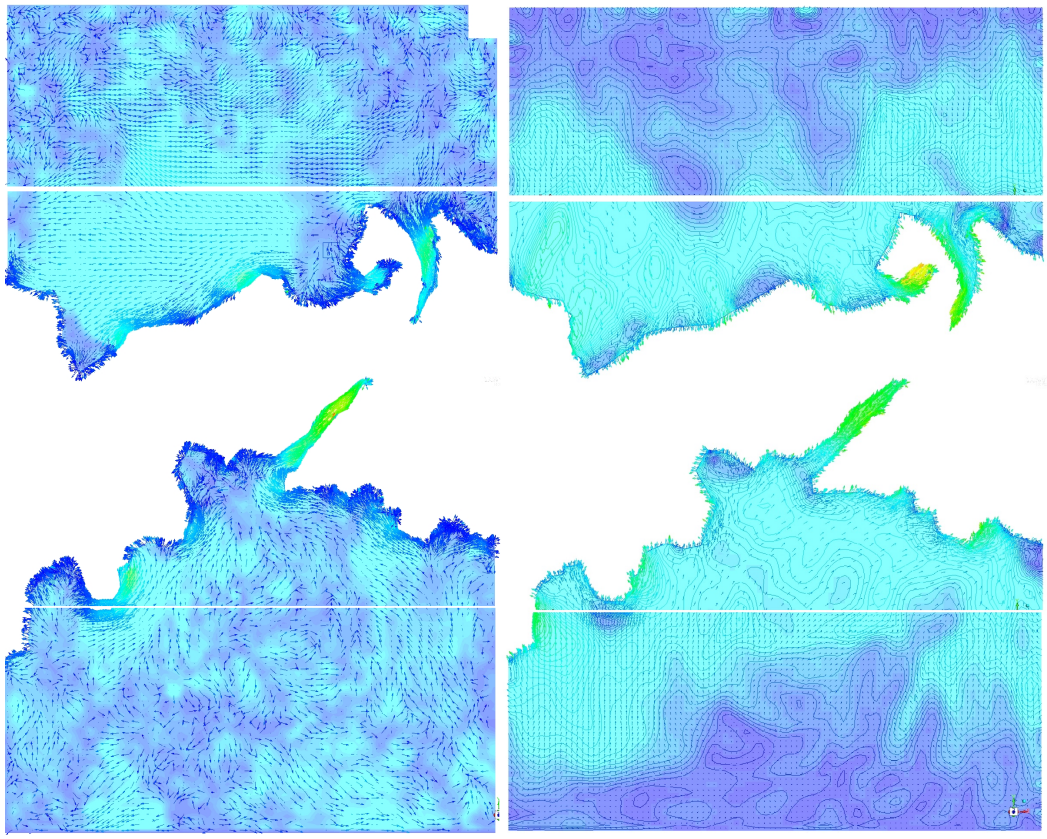


Figura 99: Campo de vectores velocidad 2m

En la figura 100 se presenta el comportamiento de la dirección del viento en el contorno del cuadrante de modelación microescala para ambos modelos, el laminar a la izquierda y turbulento a la derecha. En este último se puede identificar una tendencia más uniforme.

	Contorno A	Contorno B	contorno C	contorno D
Dirección promedio °	264.74	315.15	283.79	279.49
Desv. Estd. °	2.69	5.86	3.12	175.58
Coef. Var. %	2.12	2.86	5.23	9.19

Cuadro 48: Resumen Dirección velocidad Contornos V.C microescala 2 m Modelo Laminar

	Contorno A	Contorno B	contorno C	contorno D
Dirección promedio °	309.15	16.33	14.04	237.76
Desv. Estd. °	5.61	9.00	14.85	25.69
Coef. Var. %	0.87	35.88	22.22	73.85

Cuadro 49: Resumen Dirección velocidad Contornos V.C microescala 2 m Modelo Turbulento

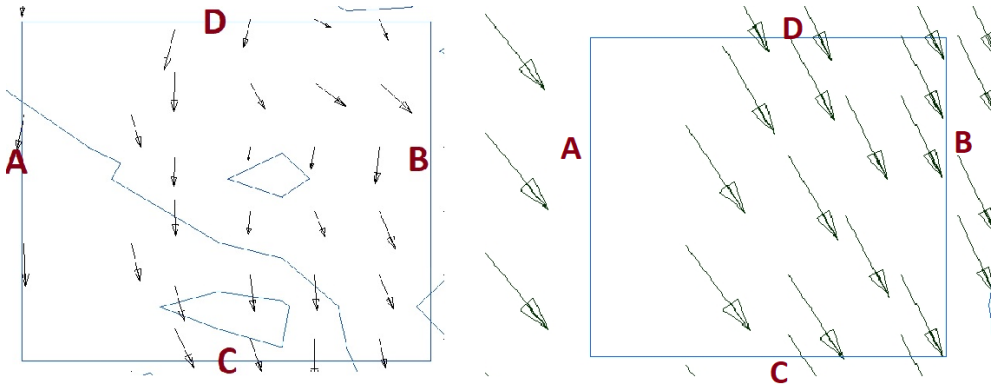


Figura 100: Dirección Velocidad Cuadrante Microescala 2 m

Plano XY, z=[3,9.32,15.26] [m]
A continuación, se muestran los planos XY para diferentes alturas, 3, 9.32 y 15.26 m, que permitan visualizar el cambio de las variables estudiadas con el incremento de la altura.

En la parte superior de la Figura 101 se puede ver el comportamiento de la presión en el cuadrante mesoescala con el incremento de la altura para el modelo laminar, la cual se homogeniza y disminuye gradualmente para cada plano. En el caso del modelo turbulento (inferior), sigue evidenciándose una zona de mayor presión y presión intermedia separadas por el cordón montañoso.

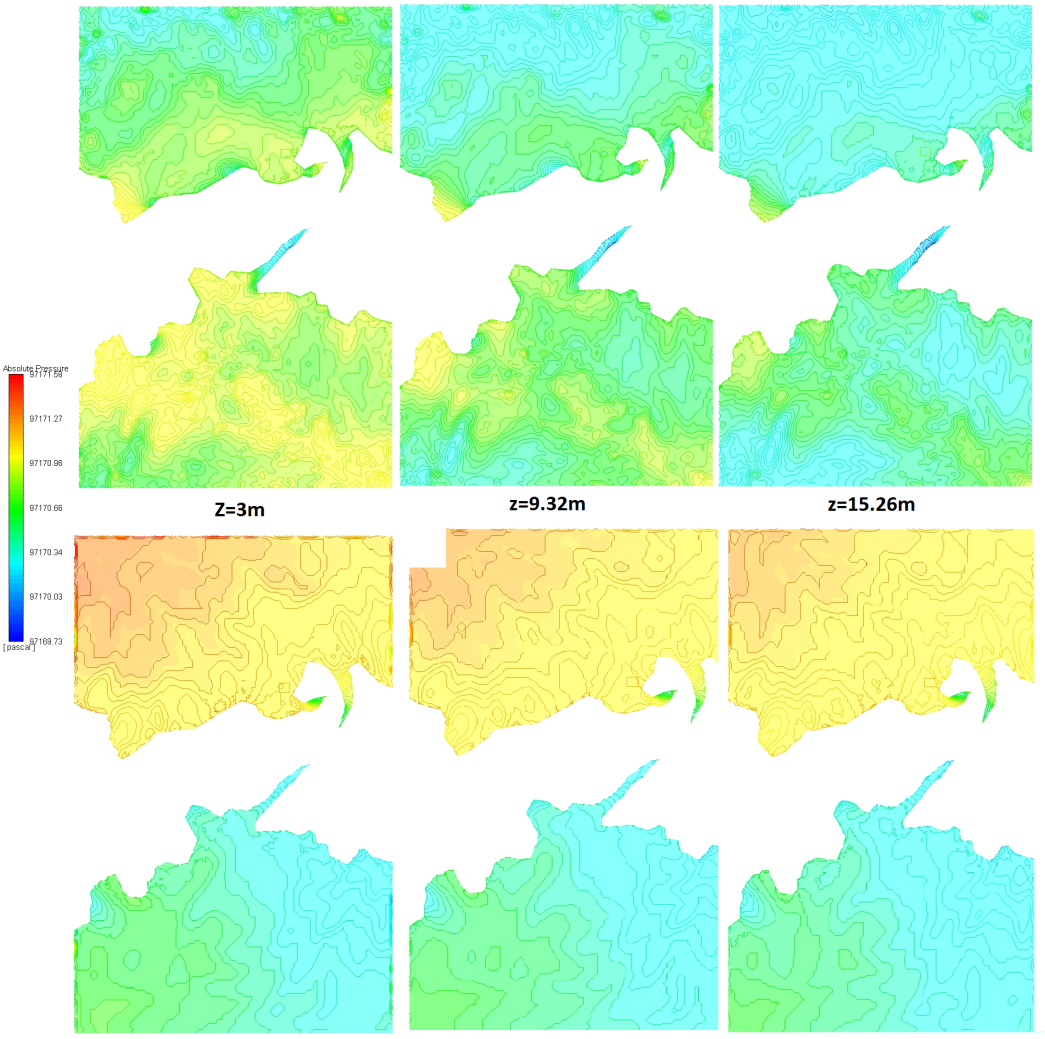


Figura 101: Campo de presión para diferentes alturas cuadrante modelación mesoescala

La magnitud de la velocidad se mantiene variable en el cuadrante mesoescala para el modelo laminar, existiendo una zona de estancamiento del flujo en el sector del cua-

drante microescala, por el contrario, el modelo turbulento, se identifican claramente las zonas de menor y mayor velocidad, esta última en el contorno del cordón montañoso, incluyendo el sector del cuadrante microescala.

Cuadro 50: Resultados Velocidad según altura cuadrante Meso y Microescala [m/s]

Modelo	Laminar	Turbulento	Laminar	Turbulento	Laminar	Turbulento
Vprom	0.117	0.276	0.13	0.271	0.129	0.283
Vmax	0.184	0.310	0.198	0.307	0.218	0.328
Vmin	0.074	0.254	0.071	0.207	0.072	0.207
Desv. Est.	0.027	0.017	0.038	0.021	0.042	0.023
z[m]	3		9.32		15.26	
Cuadrante	microescala					

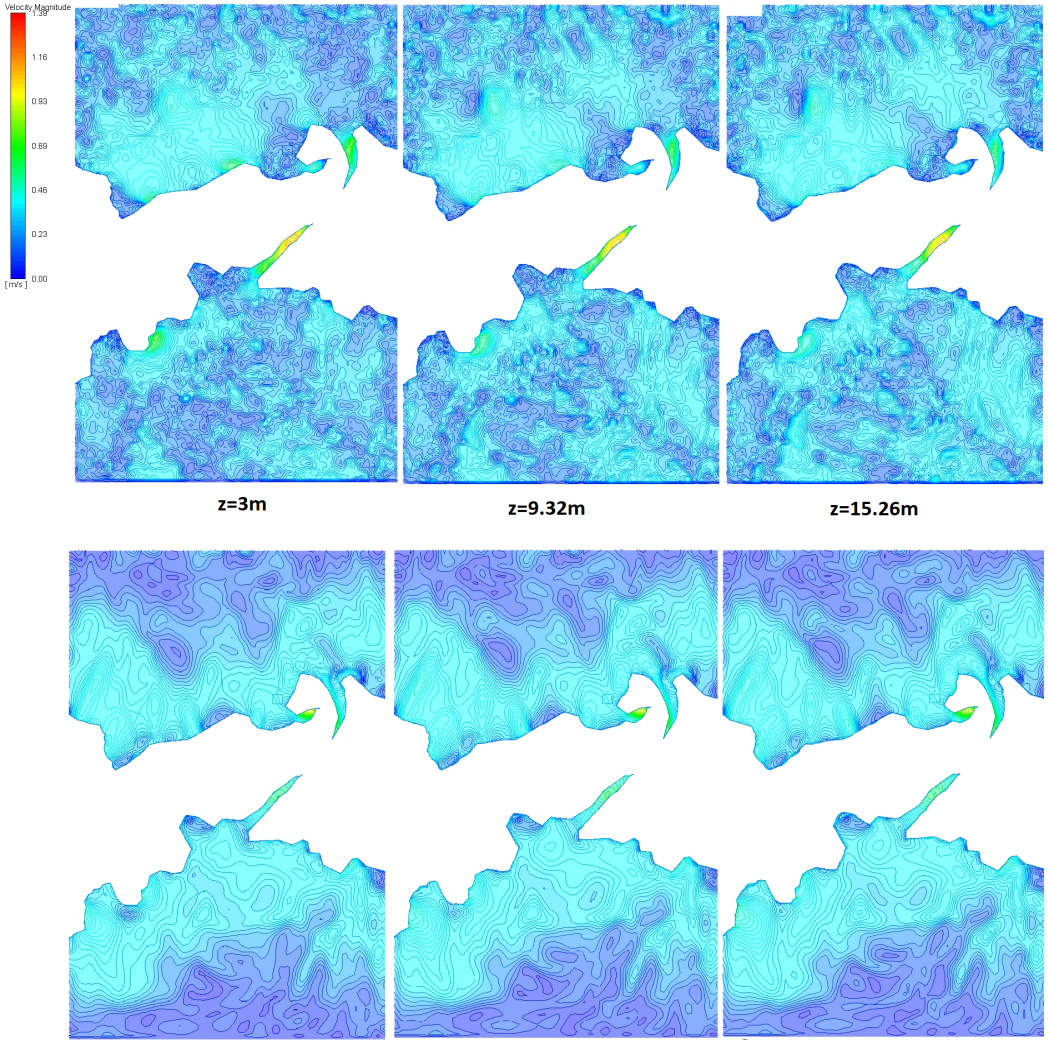


Figura 102: Magnitud velocidad para diferentes alturas cuadrante modelación mesoescala

7. Conclusión

La ocurrencia de heladas advectivas o radiativas en la región de O'Higgins, tiene consecuencias relevantes en el sector agrícola debido a su importancia en el sector productivo de la región, que corresponde a un 8.2 % de la superficie nacional destinada a rubros silvoagropecuarios, de los cuales un 21.5 % corresponde a plantaciones frutales, 15.6 % a cereales y 9.9 % viñas y parronales, todos estos afectos a las consecuencias de la ocurrencia de heladas.

Durante los años 2017 y 2018 en estudio, la ocurrencia de heladas contempla zonas desde la región de Coquimbo a Los Lagos, específicamente en la región de O'Higgins, su ocurrencia abarca gran parte del territorio, precisamente en los meses de agosto y septiembre, donde su afecta gravemente a las plantaciones de cerezo, incrementando el número de eventos en el mes de septiembre del 2018 entre los sectores de Rancagua y San Fernando.

En el Campo Viveros de Copequen, no se han registrado pérdidas significativas de producción, en comparación con a la pérdida total por la presencia de heladas advectivas en el año 2013, que motivó a la incorporación de las máquinas de ventilación, y así cubrir al menos los costos productivos o conservar las características de cerezas para obtener el mínimo beneficio pasando de 237.6 mil USD a 162 mil USD anuales.
Si bien no se han registrado pérdidas productivas en los últimos años, si se han registrado 4 eventos en agosto del en 2018 con una duración máxima de 6 hrs entre las 03-08 am y ninguno en 2017 para los meses de agosto y septiembre, considerando temperaturas bajo 0°.

El objetivo principal de las máquinas de ventilación es mezclar el aire cálido ubicado sobre la capa de inversión térmica, con aire frío ubicado en el cultivo, por medio de una hélice de 2 aspas, a 10 metros de altura y 6°C de inclinación, con una frecuencia de giro de 4.3 minutos, eliminando la estratificación del aire a través del mezclado de masas de aire a diferentes temperaturas y la fricción con el follaje del cultivo.

Existen diversas marcas de máquinas de viento, las que varían según: cantidad de aspas, consumo y tipo de combustible, nivel de ruido, entre otros. Entre los proveedores existe un patrón común en la indicación de sus características operacionales: no se especifica las condiciones bajo las cuales fueron cuantificadas, esto en relación a establecer la efectividad de los equipos bajo diversas condiciones de operación, generalizando su efectividad en cuanto al radio de cobertura, hectáreas protegidas por equipo y consumo de combustible.
La efectividad de los equipos va a depender tanto de los parámetros operaciones y de funcionamiento, los que se ven estrictamente condicionados a factores medioambientales, como la flotabilidad del aire, el grado y altura de la inversión térmica, velocidad y dirección de viento natural y la topografía del sitio y el marco de plantación, pero

también de características propias de la máquina como su ángulo de depresión, ángulo y frecuencia de giro, disposición y recorrido del flujo de viento y la altura de la torre. Por lo anterior, no es correcto establecer a priori la efectividad de las máquinas de viento de manera generalizada, si el sitio de emplazamiento y las características del cultivo no corresponden a las mismas bajo las cuales se establecen sus alcances, además de considerar todos los factores mencionados anteriormente de manera conjunta.

La simulación numérica del fenómeno correspondiente a heladas radiativas en la zona de estudio, se encuentra condicionada por el comportamiento del flujo de viento estratificado en una atmosfera estáticamente estable a mesoescala, por la falta de registros suficientes en el contorno del cuadrante de modelación microescala correspondiente al campo de Viveros Copequen, que permita determinar las condiciones de borde respectivas a este cuadrante.

El método utilizado para simular el comportamiento del flujo a mesoescala sobre terreno complejo, corresponde al de volúmenes finitos, considerando el aire como un fluido newtoniano incompresible, debido a las bajas velocidades alcanzadas, sin cambios de fase del vapor de agua contenida, despreciado la evotranspiración de la vegetación en el área de estudio y bajo una atmosfera estáticamente estable, en el caso del régimen laminar y estáticamente dinámica en el caso del régimen turbulento de baja intensidad.

La metodología establecida para generar los perfiles de velocidad y temperatura dentro del cuadrante mesoescala, obedecen a la estabilidad neutra y estática de la atmosfera respectivamente. En el caso del perfil de velocidad, corresponde a un modelo logarítmico propio del 5 % del fondo de la capa limite atmosférica estáticamente neutra, el que comienza a linealizarse en la medida que incrementa la estabilidad estática, pero que para su implementación requiere de conocer la longitud de Obukhov y el flujo de calor superficial, ambos desconocidos.
El perfil de temperatura se caracteriza a través de la temperatura potencial, obedeciendo a la estabilidad estática de la atmosfera, que determina un perfil exponencial, el que depende de la temperatura y la profundidad al comienzo de la capa residual, parámetros aproximados y/o contrastados por medio de estudios realizados previamente, que describen el perfil de temperatura propio de una helada y la profundidad de capa residual.

La parametrización de los perfiles de temperatura potencial virtual, perfil de viento y su dirección para cada contorno del volumen de control, se obtuvo en base a los registros de las estaciones meteorológicas. En vista de la falta de información apropiada y la distribución de las estaciones meteorológicas dispuesta en la zona en estudio, se realió una metodología de interpolación, correspondiente a la interpolación ponderada por distancia (IDW), utilizada por los sistemas de información geográfica (GIS), la que corresponde a una herramienta matemática, carente de fundamento físico, condicionada a la distribución homogénea de los datos (estaciones meteorológicas) y sin considerar

la presencia de accidentes geográficos, pero que permite lograr una aproximación en base a las herramientas disponibles y validada por los GIS disponibles (ArcGis,Global Mapper,QGis) para investigaciones científicas. Lo descrito anteriormente, condicionara la exactitud de los resultados obtenidos.

Las consideraciones mencionadas, determinan la exactitud en la validación de los resultados obtenidos a partir de los registros en el Campo Viveros de Copequen, con un error porcentual promedio para la temperatura de 32 y 31 % para el modelo laminar y turbulento respectivamente, y para la de velocidad de 48 y 19 %.
La componente de la dirección del viento no fue validada, debido a su naturaleza aleatoria, incluso en pequeños períodos de tiempo, por lo que no sería apropiado establecer una comparación.

A pesar de los errores presentados, la metodología desarrollada en la investigación, logra reproducir adecuadamente el fenómeno físico de helada radiativa, en cuanto al comportamiento de los parámetros que la caracterizan dinámica y termodinámicamente. En el primer caso, se verifica que la presencia del cordón montañoso en las cercanías del Campo Viveros Copequen, favorece la canalización del flujo de aire, con lo cual contrarresta el efecto negativo de las heladas radiativas en cuanto al estancamiento del flujo de bajas temperaturas que afecta a los cultivos, a pesar de esto, el orden de magnitud de las velocidades en el cuadrante microescala se encuentra entre [0.074-0.184] m/s para el modelo laminar y entre [0.142-0.276] m/s en el turbulento, que asegura un efecto favorable de las maquinas de viento si existe un grado de inversión térmica de entre 1.5 a 2 °C. La velocidad se encuentra en los rangos mencionados en los primeros metro, incrementando su módulo en la medida en la medida que crece el gradiente de presión con la altura.
En el caso termodinámico, la presencia del cordón también contrarresta el efecto negativo de las heladas radiativas, al incrementar la temperatura del medio circundante debido al calentamiento viscoso. En el cuadrante microescala la temperatura es prácticamente homogénea, concentrando las temperaturas más bajas cercanas a la superficie, afecto características de las heladas radiativas debido a la mayor densidad del flujo, perjudicial para los cultivos.

Los resultados de la simulación podrían ser mejorados al incorporar un sistema de registro de las variables meteorológicas en puntos estratégicos en el lugar de emplazamiento de las máquinas de ventilación, que contemplaran mediciones como mínimo en 2 puntos a diferentes alturas, para la velocidad y dirección del viento y la temperatura principalmente, los que permitirían generar perfiles de temperatura potencial virtual y de velocidad con mayor exactitud y establecer un patrón característico del sitio de estudio para la dirección del viento en caso de existir, al ser un factor extremadamente relevante para establecer el apropiado funcionamiento de estos equipos. Con lo anterior se limitaría el análisis a una simulación microescala, apuntando a una metodología que busque establecer una rugosidad aerodinámica representativa del sitio de estudio, que condicionaría fuertemente la exactitud en el resultado de la simulación para establecer la eficiencia real de las maquinas de ventilación bajo las condiciones en las cuales tienen funcionamiento.

Bibliografía

[1] Serie estudios para la innovación FIA. (2016). *Estudio de Vigilancia Tecnológica Sistemas de Control y Manejo de Heladas para el Sector Agrícola Nacional. Parte 1: Análisis del Panorama Científico y Tecnológico.*

[2] Serie estudios para la innovación FIA (2016). *Estudio de Vigilancia Tecnológica Sistemas de Control y Manejo de Heladas para el Sector Agrícola Nacional. Parte 2: Análisis de la Oferta Comercial.*

[3] FIA. (2016). *Heladas: Tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño.*

[4] Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2007). *Efecto de las heladas en la agricultura- Boletín 165.*

[5] P. Gonzáles C. (2001). *Comportamiento horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agro-ecosistemas de la región del maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999.*

[6] Dirección Meteorológica de Chile (2018). *Boletín Agroclimático Agosto y Septiembre 2017.*

[7] Dirección Meteorológica de Chile (2018). *Boletín Agroclimático Agosto y Septiembre 2018.*

[8] Yongguang Hu, Eric Amoah Asante, Yongzong Lu, Ashraf Mahmood,Noman Ali Buttar, Shouqi Yuan (2018). *Review of air distrurbance tecnology for plant frost protecction.*

[9] A. Ribeiro, J. De Melo-Abreu, R. Snyder (2006). *Apple orchard frost protection with wind machine operation. Agricultural and Forest Meteorology.*

[10] R. Snyder y J. De Melo-Abreu (2010). *Protección contra las Heladas: fundamentos, prácticas y economía. Vol 1.*

[11] Hu Y G, Li P P, Dai Q L, Zhang X L, Tanaka K H, Cui G L. (2007). *System design and experiment on elevated wind machine for tea frost protection. Transactions of the CSAM,97–99.(in Chinese)*

[12] T. V. Crawford (1964). *Computing the heating requirements for frost protection.Journal of Applied Meteorology .750–760.*

[13] R. L. Davis (1977). *An evaluation of frost protection provided by a wind machine in the Okanagan valley of British Columbia. Canadian Journal of Plant Science.71–74.*

[14] V. Beyá, J. Herrera, T. Fichet y F. Santibáñez. (2019). *Microclimate modification under the effect of stationary and portable wind machines.*

[15] L. Molina V. (1999). *Descripción técnica y evaluación económica de diferentes métodos de control de Heladas en Palto.*

[16] F. Turrel (1973). *The science and technology of frost protection. In: Reuther, The Citrus Industry. Division of Agricultural Sciences. University of California, pp.338–520.*

[17] H. Fraser, K. Slingerland, K. Ker, K.Fisher, R. Brewster (2009). *Reducing Cold Injury to Grapes Through the Use of Wind Machines. Ontario,Canada.*

[18] Yongguang Hu,Pingping Li,Xiuhong Wang,Xiliang Zhang (2014). *Control Method and apparatus of wind machine for plant frost protection.*

[19] Roland b. Stull (2011). *Meteorology for Scientist and Engineers.*

[20] Roland b. Stull (1999). *An introduction to boundary layer meteorology.*

[21] Ludwig Stowhas (2016). *Fundamentos de Hidrología Aplicada.*

[22] Juan Inzunza (2007). *Meteorología Descriptiva: Capítulo 3: Radiación solar y terrestre.*

[23] R. Garreaud s y C. Meruane N (2005). *Modulo 3: Flujos turbulentos.*

[24] F. Santibañez y H. Merlet (1987). *Los regímenes de Heladas en la zona central de Chile.*

[25] S. Villaseca, R. Novoa y J. Carrasco (1989). *Heladas y su importancia en la agricultura. Parte 1.*

[26] A. Norero (1991). *Agricultura y tecnología: Impacto de las heladas en la agricultura.*

[27] M. Corral F. (2014). *Caracterización de la estructura térmica de la atmósfera en la cuenca de Santiago y su relación con la calidad del aire.*

[28] J.F. Manwell, J.G. Mcgowan, A.L. Rogers (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application.*

[29] P. Valdenegro C (2015). *Contribución a la conductividad térmica y la producción de calor radiogénico a la estructura termal de la corteza superior en la latitud de Santiago, Chile.*

[30] ANSYS, Inc (2013). *Ansys Fluent User Guide.*

[31] ANSYS, Inc (2013). *Ansys Fluent Theory Guide.*

[32] ANSYS, Inc (2013). *Manual UDF Ansys Fluent.*

[33] ANSYS, Inc (2016). *ANSYS Meshing Advanced Techniques.*

[34] E. Misle A. y A. Norero (2002). *Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas.*

[35] Instituto de investigación de Recursos Naturales CORFO (1964). *Suelos: Descripciones proyecto aerofotogrametrico Chile.*

[36] CIREN (1996). *Estudio Agrológico VI Región:Descripción de suelos, materiales y símbolos.*

[37] A. Zenteno A (2013). *Modelación Térmica del suelo alrededor de tubos enterrados en sistemas de colección de energía geotérmica de baja entalpía.*

[38] INIA y colaboradores (2015). *Propiedades Físico-Hídricas del Suelo en el Cultivo del Maíz Grano. Cap. 2.*

[39] Shawn Wasserman (2016). *Choosing the Right Turbulence Model for Your CFD Simulation.*

[40] http://www.fdf.cl/noticias/2012/11/historia_fdf.htm

[41] http://agricola.tecnipak.com/

[42] http://agromet.inia.cl/index.php

[43] http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=288323

[44] http://agromet.inia.cl/estaciones.php

[45] Tow and Blow Limited. http://www.towandblow.co.nz

[46] https://towandblow.co.nz/products/tow-and-blow/frost-fan

[47] https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

[48] https://acolita.com/interpolacion-con-la-distancia-inversa-ponderada-idw/

[49] https://sigmcalispa.files.wordpress.com/2013/01/10-4-anc3a1lisis-espacial_interpolacic3b3n_metodos1.pdf

[50] http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/viento/19.html

[51] https://ifn.infor.cl/index.php/informacion-regional/region-ohiggins#report77

Anexos

A. Valores Humedad Relativa en vértices V1-V2 por IDW

Cuadro 51: Valores Humedad Relativa obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V1**

Fecha	HR IDW	HR Promedio	Fecha	HR IDW	HR Promedio
08-2018 5:00	90.61626	91.03871	09-2018 5:00	90.705	90.705
08-2018 5:15	90.63305	91.00968	09-2018 5:15	90.94833	90.94833
08-2018 5:30	90.83533	91.15161	09-2018 5:30	91.15167	91.15167
08-2018 5:45	91.01617	91.32742	09-2018 5:45	91.195	91.195
08-2018 6:00	91.22148	91.5629	09-2018 6:00	91.49167	91.49167
08-2018 6:15	91.33287	91.62903	09-2018 6:15	91.58333	91.58333
08-2018 6:30	91.52859	91.82419	09-2018 6:30	91.45333	91.45333
08-2018 6:45	91.56858	91.8871	09-2018 6:45	91.77833	91.77833
08-2018 7:00	91.44977	91.78226	09-2018 7:00	91.815	91.815
08-2018 7:15	91.31825	91.65968	09-2018 7:15	91.905	91.905
08-2018 7:30	91.5903	91.90323	09-2018 7:30	92.12333	92.12333
08-2018 7:45	91.8794	92.16774	09-2018 7:45	92.28333	92.28333
08-2018 8:00	91.91071	92.22419	09-2018 8:00	92.45333	92.45333

Cuadro 52: Valores Humedad Relativa obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2**

Fecha	HR IDW	HR Promedio	Fecha	HR IDW	HR Promedio
08-2018 5:00	90.08229	91.03871	09-2018 5:00	90.705	90.705
08-2018 5:15	90.157	91.00968	09-2018 5:15	90.94833	90.94833
08-2018 5:30	90.43556	91.15161	09-2018 5:30	91.15167	91.15167
08-2018 5:45	90.62276	91.32742	09-2018 5:45	91.195	91.195
08-2018 6:00	90.78992	91.5629	09-2018 6:00	91.49167	91.49167
08-2018 6:15	90.95853	91.62903	09-2018 6:15	91.58333	91.58333
08-2018 6:30	91.15495	91.82419	09-2018 6:30	91.45333	91.45333
08-2018 6:45	91.16599	91.8871	09-2018 6:45	91.77833	91.77833
08-2018 7:00	91.02952	91.78226	09-2018 7:00	91.815	91.815
08-2018 7:15	90.8867	91.65968	09-2018 7:15	91.905	91.905
08-2018 7:30	91.19477	91.90323	09-2018 7:30	92.12333	92.12333
08-2018 7:45	91.51495	92.16774	09-2018 7:45	92.28333	92.28333
08-2018 8:00	91.51447	92.22419	09-2018 8:00	92.45333	92.45333

B. Valores Temperatura en vértices V1-V2 por IDW

Cuadro 53: Valores Temperatura obtenidos por IDW y según promedio-**Vértice V1**

Fechas	Temperatura IDW	Temperatura Promedio	Fecha	Temperatura IDW	Temperatura Promedio
08-2018 5:00	4.621855	6.340323	09-2018 5:00	6.903452	6.638333
08-2018 5:15	4.492328	6.203226	09-2018 5:15	6.873168	6.613333
08-2018 5:30	4.367609	6.095161	09-2018 5:30	6.814295	6.57
08-2018 5:45	4.279722	5.995161	09-2018 5:45	6.739718	6.496667
08-2018 6:00	4.209904	5.893548	09-2018 6:00	6.647061	6.413333
08-2018 6:15	4.107765	5.808065	09-2018 6:15	6.632033	6.393333
08-2018 6:30	4.0575	5.729032	09-2018 6:30	6.560678	6.321667
08-2018 6:45	4.118459	5.735484	09-2018 6:45	6.467457	6.23
08-2018 7:00	4.035181	5.66129	09-2018 7:00	6.433164	6.191667
08-2018 7:15	4.019447	5.651613	09-2018 7:15	6.308925	6.073333
08-2018 7:30	3.967439	5.593548	09-2018 7:30	6.195308	5.965
08-2018 7:45	3.974151	5.554839	09-2018 7:45	6.154236	5.918333
08-2018 8:00	4.107919	5.612903	09-2018 8:00	6.168529	5.936667

Cuadro 54: Valores Datos Temperatura obtenidos por IDW y según promedio Vértice V2

Fecha	Temperatura IDW	Temperatura Promedio	Fecha	Temperatura IDW	Temperatura Promedio
08-2018 5:00	8.05879	6.340323	09-2018 5:00	7.835811	6.638333
08-2018 5:15	7.914123	6.203226	09-2018 5:15	7.786945	6.613333
08-2018 5:30	7.822714	6.095161	09-2018 5:30	7.67342	6.57
08-2018 5:45	7.710601	5.995161	09-2018 5:45	7.594471	6.496667
08-2018 6:00	7.577193	5.893548	09-2018 6:00	7.469023	6.413333
08-2018 6:15	7.508364	5.808065	09-2018 6:15	7.471484	6.393333
08-2018 6:30	7.400564	5.729032	09-2018 6:30	7.401221	6.321667
08-2018 6:45	7.352509	5.735484	09-2018 6:45	7.302535	6.23
08-2018 7:00	7.2874	5.66129	09-2018 7:00	7.282452	6.191667
08-2018 7:15	7.283779	5.651613	09-2018 7:15	7.137446	6.073333
08-2018 7:30	7.219658	5.593548	09-2018 7:30	7.005247	5.965
08-2018 7:45	7.135526	5.554839	09-2018 7:45	6.98385	5.918333
08-2018 8:00	7.117887	5.612903	09-2018 8:00	6.983933	5.936667

C. Valores Módulo Velocidad en vértices V1-V2 por IDW

Cuadro 55: Valores Modulo Velocidad (MV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V1**

Fecha	MV IDW [m/s]	MV Promedio [m/s]	Fecha	MV IDW [m/s]	MV Promedio [m/s]
08-2018 5:00	0.189735	0.116129	09-2018 5:00	0.084481	0.096667
08-2018 5:15	0.119048	0.080645	09-2018 5:15	0.103328	0.101667
08-2018 5:30	0.128751	0.093548	09-2018 5:30	0.103374	0.116667
08-2018 5:45	0.218831	0.153226	09-2018 5:45	0.09779	0.101667
08-2018 6:00	0.20946	0.182258	09-2018 6:00	0.086707	0.1
08-2018 6:15	0.16106	0.132258	09-2018 6:15	0.103419	0.131667
08-2018 6:30	0.135228	0.103226	09-2018 6:30	0.135584	0.145
08-2018 6:45	0.202536	0.116129	09-2018 6:45	0.096748	0.123333
08-2018 7:00	0.22198	0.146774	09-2018 7:00	0.181118	0.183333
08-2018 7:15	0.25411	0.162903	09-2018 7:15	0.096702	0.108333
08-2018 7:30	0.22267	0.233871	09-2018 7:30	0.094497	0.111667
08-2018 7:45	0.250846	0.154839	09-2018 7:45	0.0878	0.095
08-2018 8:00	0.193459	0.182258	09-2018 8:00	0.112215	0.11

Cuadro 56: Valores Modulo Velocidad (MV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2**

Fecha	MV IDW [m/s]	MV Promedio [m/s]	Fecha	MV IDW [m/s]	MV Promedio [m/s]
08-2018 5:00	0.042523	0.116129	09-2018 5:00	0.108852	0.096667
08-2018 5:15	0.042242	0.080645	09-2018 5:15	0.100005	0.101667
08-2018 5:30	0.058346	0.093548	09-2018 5:30	0.12996	0.116667
08-2018 5:45	0.087621	0.153226	09-2018 5:45	0.105544	0.101667
08-2018 6:00	0.155056	0.182258	09-2018 6:00	0.113293	0.1
08-2018 6:15	0.103456	0.132258	09-2018 6:15	0.159914	0.131667
08-2018 6:30	0.071223	0.103226	09-2018 6:30	0.154416	0.145
08-2018 6:45	0.029722	0.116129	09-2018 6:45	0.149919	0.123333
08-2018 7:00	0.071568	0.146774	09-2018 7:00	0.185549	0.183333
08-2018 7:15	0.071696	0.162903	09-2018 7:15	0.119965	0.108333
08-2018 7:30	0.245072	0.233871	09-2018 7:30	0.128837	0.111667
08-2018 7:45	0.058831	0.154839	09-2018 7:45	0.1022	0.095
08-2018 8:00	0.171057	0.182258	09-2018 8:00	0.107785	0.11

D. Valores Dirección del Viento en vértices V1-V2 por IDW

Cuadro 57: Valores Dirección del viento (DV) obtenidos por IDW y según promedio **Vértice V1**

Fecha	DV IDW [RAD]	DV Promedio [RAD]	Fecha	DV IDW [RAD]	DV Promedio [RAD]
08-2018 5:00	0.636078	2.552544	09-2018 5:00	0.681821	2.552544
08-2018 5:15	0.460394	2.356194	09-2018 5:15	0.679882	2.552544
08-2018 5:30	0.982494	2.748894	09-2018 5:30	0.817123	2.552544
08-2018 5:45	1.095866	2.748894	09-2018 5:45	0.488534	2.25802
08-2018 6:00	0.981821	2.748894	09-2018 6:00	0.149433	1.767146
08-2018 6:15	0.925808	2.748894	09-2018 6:15	0.435051	2.25802
08-2018 6:30	0.30184	2.159409	09-2018 6:30	0.337978	2.159409
08-2018 6:45	0.421931	2.25802	9-2018 6:45	0.634782	2.552544
08-2018 7:00	0.925808	2.748894	09-2018 7:00	0.587742	2.454369
08-2018 7:15	0.982494	2.748894	09-2018 7:15	0.634782	2.552544
08-2018 7:30	0.119604	1.963495	09-2018 7:30	0.679882	2.552544
08-2018 7:45	0.125903	1.963495	09-2018 7:45	0.724983	2.552544
08-2018 8:00	0.12523	1.963495	09-2018 8:00	0.677943	2.552544

Cuadro 58: Valores Dirección del viento (DV) obtenidos por IDW y según promedio -**Vértice V2**

Fecha	DV IDW [RAD]	DV Promedio [RAD]	Fecha	DV IDW [RAD]	DV Promedio [RAD]
08-2018 5:00	3.354251	2.552544	09-2018 5:00	3.192809	2.552544
08-2018 5:15	3.472931	2.356194	09-2018 5:15	3.070394	2.552544
08-2018 5:30	3.356198	2.748894	09-2018 5:30	3.194953	2.552544
08-2018 5:45	3.356835	2.748894	09-2018 5:45	3.189748	2.25802
08-2018 6:00	3.236527	2.748894	09-2018 6:00	2.520921	1.767146
08-2018 6:15	3.355879	2.748894	09-2018 6:15	3.066516	2.25802
08-2018 6:30	3.352373	2.159409	09-2018 6:30	3.064978	2.159409
08-2018 6:45	3.353048	2.25802	09-2018 6:45	3.069679	2.552544
08-2018 7:00	3.355879	2.748894	09-2018 7:00	2.946549	2.454369
08-2018 7:15	3.356198	2.748894	09-2018 7:15	3.069679	2.552544
08-2018 7:30	3.351349	1.963495	09-2018 7:30	3.070394	2.552544
08-2018 7:45	3.351384	1.963495	09-2018 7:45	3.071108	2.552544
08-2018 8:00	3.231713	1.963495	09-2018 8:00	2.947978	2.552544

A continuación se presentan los resultados de la simulación en los planos que delimitan en cuadrante de modelación microescala como aparece en la siguiente imagen.

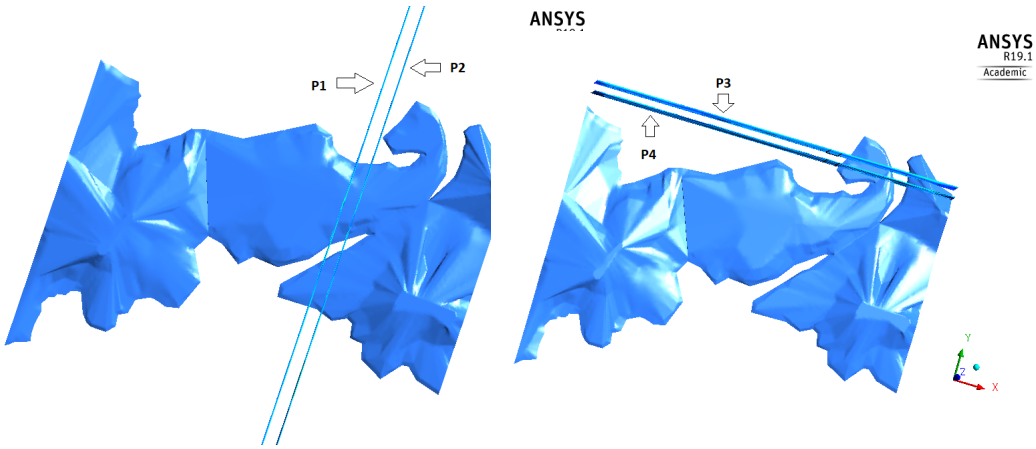


Figura 103: Planos delimitación Cuadrante Microescala.

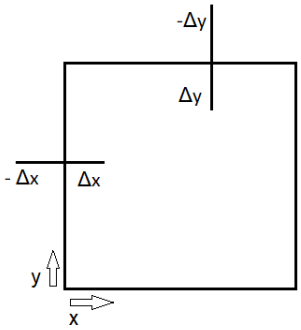


Figura 104: Representación ejes coordenados utilizados para la generación de resultados.

T: Temperatura Potencial Virtual [K]
V: Modulo Velocidad [m/s]
v_i: Componente Velocidad x,y,z [m/s]
AP: Presión [Pa]

E. Resultados cuadrante microescala Plano 1

Cuadro 59: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Laminar - Variedad Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-7.71	0.18	279.20	0.117	0.012	-0.117	0.001	97170.86
0	91.65	0.18	279.30	0.118	0.006	-0.115	-0.029	97170.85
0	191.00	0.18	279.30	0.109	-0.012	-0.107	-0.016	97170.86
0	290.36	0.18	279.02	0.089	-0.003	-0.088	0.006	97170.90
0	-7.71	0.64	279.42	0.122	0.002	-0.122	-0.001	97170.85
0	91.65	0.64	279.36	0.145	0.008	-0.121	-0.079	97170.84
0	191.00	0.64	279.35	0.120	-0.015	-0.112	-0.039	97170.84
0	290.36	0.64	279.08	0.090	-0.004	-0.089	0.014	97170.88
0	-7.71	1.38	279.50	0.121	-0.005	-0.120	-0.003	97170.82
0	91.65	1.38	279.43	0.157	0.010	-0.123	-0.097	97170.81
0	191.00	1.38	279.40	0.126	-0.020	-0.117	-0.042	97170.82
0	290.36	1.38	279.13	0.093	-0.003	-0.090	0.021	97170.85
0	-7.71	2.55	279.55	0.143	-0.018	-0.141	-0.004	97170.79
0	91.65	2.55	279.49	0.178	0.004	-0.135	-0.115	97170.78
0	191.00	2.55	279.46	0.125	-0.023	-0.114	-0.047	97170.79
0	290.36	2.55	279.20	0.095	-0.007	-0.091	0.027	97170.82
0	-7.71	4.44	279.59	0.137	-0.022	-0.135	-0.007	97170.73
0	91.65	4.44	279.56	0.184	-0.006	-0.133	-0.128	97170.73
0	191.00	4.44	279.51	0.128	-0.031	-0.113	-0.052	97170.74
0	290.36	4.44	279.26	0.104	-0.010	-0.099	0.030	97170.76
0	-7.71	7.46	279.65	0.161	-0.039	-0.156	-0.010	97170.66
0	91.65	7.46	279.63	0.191	0.001	-0.143	-0.126	97170.66
0	191.00	7.46	279.57	0.127	-0.025	-0.116	-0.046	97170.67
0	290.36	7.46	279.35	0.100	-0.008	-0.094	0.034	97170.68
0	-7.71	12.29	279.70	0.168	-0.053	-0.159	-0.009	97170.56
0	91.65	12.29	279.70	0.192	-0.010	-0.146	-0.124	97170.56
0	191.00	12.29	279.63	0.126	-0.032	-0.115	-0.042	97170.57
0	290.36	12.29	279.43	0.112	-0.034	-0.101	0.035	97170.57
0	-7.71	20.02	279.77	0.187	-0.060	-0.177	-0.009	97170.43
0	91.65	20.02	279.77	0.205	-0.027	-0.164	-0.120	97170.43
0	191.00	20.02	279.69	0.159	-0.047	-0.147	-0.040	97170.43
0	290.36	20.02	279.54	0.154	-0.054	-0.140	0.036	97170.43
0	-7.71	32.39	279.83	0.201	-0.068	-0.189	-0.007	97170.26
0	91.65	32.39	279.83	0.224	-0.047	-0.185	-0.117	97170.25
0	191.00	32.39	279.77	0.206	-0.071	-0.190	-0.035	97170.24
0	290.36	32.39	279.67	0.216	-0.085	-0.195	0.037	97170.24
0	290.38	76.98	279.87	0.324	-0.111	-0.303	0.027	97169.81
0	191.03	77.01	279.87	0.310	-0.096	-0.294	-0.017	97169.81
0	91.68	77.04	279.89	0.293	-0.085	-0.267	-0.087	97169.81
0	-7.66	77.06	279.90	0.272	-0.085	-0.257	-0.026	97169.81
0	290.43	157.95	279.98	0.420	-0.083	-0.412	0.010	97169.30
0	191.10	158.06	279.98	0.424	-0.072	-0.418	-0.004	97169.29
0	91.77	158.15	279.99	0.417	-0.068	-0.409	-0.046	97169.28
0	-7.54	158.24	279.99	0.408	-0.067	-0.400	-0.043	97169.28

Cuadro 60: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-7.71	0.18	279.71	0.171	0.158	0.066	0.008	97171.06
0	91.65	0.18	279.84	0.135	0.130	0.038	-0.001	97171.05
0	191.00	0.18	280.14	0.096	0.096	0.007	-0.005	97171.05
0	290.36	0.18	280.14	0.114	0.113	0.012	-0.007	97171.06
0	-7.71	0.64	279.88	0.187	0.173	0.066	0.024	97171.03
0	91.65	0.64	280.15	0.150	0.146	0.034	-0.002	97171.02
0	191.00	0.64	280.30	0.111	0.111	0.001	-0.013	97171.03
0	290.36	0.64	280.31	0.126	0.125	0.008	-0.017	97171.03
0	-7.71	1.38	280.03	0.200	0.185	0.066	0.036	97171.00
0	91.65	1.38	280.32	0.160	0.157	0.029	-0.002	97170.99
0	191.00	1.38	280.40	0.119	0.118	-0.003	-0.016	97170.99
0	290.36	1.38	280.42	0.134	0.132	0.004	-0.020	97171.00
0	-7.71	2.55	280.19	0.210	0.197	0.058	0.044	97170.95
0	91.65	2.55	280.45	0.172	0.171	0.021	-0.001	97170.94
0	191.00	2.55	280.49	0.142	0.140	-0.010	-0.018	97170.94
0	290.36	2.55	280.52	0.152	0.150	-0.006	-0.023	97170.94
0	-7.71	4.44	280.33	0.220	0.210	0.044	0.050	97170.87
0	91.65	4.44	280.56	0.186	0.185	0.005	-0.001	97170.86
0	191.00	4.44	280.58	0.157	0.155	-0.021	-0.017	97170.87
0	290.36	4.44	280.62	0.168	0.165	-0.017	-0.024	97170.87
0	-7.71	7.46	280.47	0.232	0.225	0.024	0.052	97170.77
0	91.65	7.46	280.66	0.201	0.201	-0.013	-0.003	97170.76
0	191.00	7.46	280.67	0.178	0.174	-0.035	-0.015	97170.77
0	290.36	7.46	280.71	0.192	0.186	-0.039	-0.025	97170.76
0	-7.71	12.29	280.60	0.244	0.238	-0.015	0.050	97170.64
0	91.65	12.29	280.76	0.221	0.217	-0.044	-0.005	97170.63
0	191.00	12.29	280.76	0.207	0.197	-0.063	-0.013	97170.63
0	290.36	12.29	280.80	0.221	0.208	-0.068	-0.025	97170.63
0	-7.71	20.02	280.75	0.262	0.246	-0.078	0.042	97170.46
0	91.65	20.02	280.86	0.240	0.221	-0.092	-0.008	97170.44
0	191.00	20.02	280.87	0.234	0.206	-0.110	-0.013	97170.44
0	290.36	20.02	280.90	0.246	0.215	-0.119	-0.024	97170.44
0	-7.71	32.39	280.89	0.293	0.246	-0.156	0.030	97170.22
0	91.65	32.39	280.97	0.277	0.227	-0.158	-0.013	97170.21
0	191.00	32.39	280.98	0.278	0.213	-0.178	-0.013	97170.21
0	290.36	32.39	281.00	0.290	0.217	-0.191	-0.026	97170.21
0	290.38	76.98	281.14	0.369	0.202	-0.308	-0.028	97169.70
0	191.03	77.01	281.13	0.361	0.204	-0.297	-0.018	97169.70
0	91.68	77.04	281.13	0.354	0.211	-0.284	-0.017	97169.70
0	-7.66	77.06	281.11	0.358	0.223	-0.281	0.007	97169.70
0	290.43	157.95	281.25	0.432	0.091	-0.421	-0.026	97169.09
0	191.10	158.06	281.25	0.427	0.092	-0.417	-0.022	97169.08
0	91.77	158.15	281.25	0.427	0.096	-0.415	-0.020	97169.08
0	-7.54	158.24	281.24	0.429	0.102	-0.416	-0.015	97169.08

Cuadro 61: Resultados P1 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-7.71	0.18	289.94	1.884	0.512	1.813	0.001	101323.42
0	91.65	0.18	289.88	1.816	0.514	1.742	0.001	101323.46
0	191.00	0.18	289.82	1.752	0.510	1.676	0.001	101323.50
0	290.36	0.18	289.78	1.702	0.514	1.623	0.001	101323.55
0	-7.71	0.64	290.65	1.448	0.329	1.411	0.001	101323.38
0	91.65	0.64	290.52	1.465	0.358	1.420	0.001	101323.42
0	191.00	0.64	290.40	1.476	0.392	1.423	0.002	101323.46
0	290.36	0.64	290.30	1.484	0.424	1.422	0.003	101323.52
0	-7.71	1.38	290.89	1.029	0.119	1.022	-0.001	101323.33
0	91.65	1.38	290.80	1.112	0.200	1.094	0.001	101323.37
0	191.00	1.38	290.71	1.188	0.273	1.156	0.001	101323.41
0	290.36	1.38	290.63	1.246	0.336	1.200	0.002	101323.45
0	-7.71	2.55	290.99	0.608	-0.115	0.597	-0.002	101323.25
0	91.65	2.55	290.96	0.688	0.000	0.688	-0.001	101323.28
0	191.00	2.55	290.93	0.795	0.124	0.785	-0.001	101323.32
0	290.36	2.55	290.89	0.906	0.228	0.877	0.000	101323.37
0	-7.71	4.44	291.03	0.414	-0.196	0.365	0.006	101323.13
0	91.65	4.44	291.02	0.454	-0.050	0.451	0.005	101323.16
0	191.00	4.44	291.01	0.568	0.101	0.559	0.002	101323.20
0	290.36	4.44	291.00	0.701	0.222	0.665	0.002	101323.24
0	-7.71	7.46	291.11	0.200	-0.081	0.183	0.010	101322.97
0	91.65	7.46	291.11	0.298	0.131	0.268	0.005	101322.99
0	191.00	7.46	291.11	0.489	0.307	0.381	0.000	101323.02
0	290.36	7.46	291.09	0.644	0.424	0.485	0.000	101323.06
0	-7.71	12.29	291.17	0.246	0.151	0.194	-0.004	101322.72
0	91.65	12.29	291.17	0.486	0.390	0.290	-0.005	101322.74
0	191.00	12.29	291.16	0.678	0.570	0.367	-0.006	101322.77
0	290.36	12.29	291.13	0.790	0.665	0.427	-0.004	101322.80
0	-7.71	20.02	291.26	0.502	0.452	0.218	-0.007	101322.35
0	91.65	20.02	291.24	0.703	0.639	0.294	-0.008	101322.37
0	191.00	20.02	291.23	0.830	0.756	0.343	-0.009	101322.38
0	290.36	20.02	291.20	0.890	0.805	0.381	-0.006	101322.41
0	-7.71	32.39	291.34	0.685	0.638	0.250	-0.009	101321.80
0	91.65	32.39	291.34	0.798	0.742	0.296	-0.013	101321.80
0	191.00	32.39	291.34	0.864	0.799	0.329	-0.016	101321.81
0	290.36	32.39	291.33	0.887	0.813	0.355	-0.012	101321.82
0	290.38	76.98	291.53	0.755	0.709	0.260	-0.014	101320.15
0	191.03	77.01	291.52	0.741	0.698	0.248	-0.012	101320.15
0	91.68	77.04	291.52	0.714	0.673	0.239	-0.005	101320.15
0	-7.66	77.06	291.52	0.670	0.629	0.230	0.004	101320.16
0	290.43	157.95	291.78	0.681	0.673	0.099	-0.011	101317.69
0	191.10	158.06	291.78	0.667	0.660	0.097	-0.001	101317.70
0	91.77	158.15	291.78	0.652	0.644	0.100	0.010	101317.70
0	-7.54	158.24	291.78	0.635	0.627	0.102	0.021	101317.71

Cuadro 62: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-7.71	0.18	289.45	0.253	0.239	0.069	0.041	9719.31
0	91.65	0.18	289.22	0.215	0.202	0.065	0.034	9719.31
0	191.00	0.18	289.06	0.266	0.247	0.089	0.044	9719.30
0	290.36	0.18	288.74	0.360	0.342	0.108	0.039	9719.28
0	-7.71	0.64	292.39	0.344	0.332	0.091	0.003	9719.30
0	91.65	0.64	292.37	0.303	0.294	0.072	0.016	9719.30
0	191.00	0.64	292.36	0.365	0.356	0.081	0.017	9719.29
0	290.36	0.64	292.40	0.488	0.478	0.093	0.030	9719.27
0	-7.71	1.38	292.75	0.350	0.342	0.076	0.008	9719.29
0	91.65	1.38	292.76	0.312	0.305	0.058	0.027	9719.29
0	191.00	1.38	292.81	0.378	0.371	0.067	0.029	9719.28
0	290.36	1.38	292.94	0.507	0.500	0.079	0.039	9719.26
0	-7.71	2.55	293.29	0.362	0.360	0.033	0.002	9719.27
0	91.65	2.55	293.32	0.327	0.325	0.019	0.025	9719.28
0	191.00	2.55	293.42	0.395	0.393	0.034	0.024	9719.27
0	290.36	2.55	293.58	0.532	0.528	0.054	0.033	9719.25
0	-7.71	4.44	293.85	0.383	0.382	-0.029	-0.009	9719.25
0	91.65	4.44	293.88	0.351	0.349	-0.038	0.012	9719.26
0	191.00	4.44	293.97	0.418	0.418	-0.010	0.012	9719.25
0	290.36	4.44	294.09	0.554	0.553	0.021	0.019	9719.23
0	-7.71	7.46	294.27	0.410	0.398	-0.097	-0.015	9719.23
0	91.65	7.46	294.30	0.382	0.370	-0.095	-0.002	9719.23
0	191.00	7.46	294.37	0.442	0.438	-0.056	0.000	9719.23
0	290.36	7.46	294.44	0.573	0.573	-0.012	0.007	9719.21
0	-7.71	12.29	294.59	0.438	0.406	-0.164	-0.012	9719.19
0	91.65	12.29	294.62	0.417	0.388	-0.153	-0.011	9719.20
0	191.00	12.29	294.67	0.468	0.456	-0.102	-0.010	9719.19
0	290.36	12.29	294.71	0.592	0.590	-0.047	-0.002	9719.18
0	-7.71	20.02	294.85	0.466	0.406	-0.229	-0.005	9719.14
0	91.65	20.02	294.89	0.456	0.403	-0.213	-0.020	9719.15
0	191.00	20.02	294.93	0.496	0.472	-0.152	-0.023	9719.15
0	290.36	20.02	294.95	0.613	0.607	-0.084	-0.013	9719.13
0	-7.71	32.39	295.10	0.489	0.396	-0.288	0.007	9719.08
0	91.65	32.39	295.15	0.496	0.413	-0.273	-0.034	9719.09
0	191.00	32.39	295.19	0.529	0.485	-0.204	-0.051	9719.09
0	290.36	32.39	295.19	0.638	0.625	-0.123	-0.037	9719.08
0	290.38	76.98	295.56	0.717	0.674	-0.200	-0.138	9718.93
0	191.03	77.01	295.57	0.597	0.500	-0.297	-0.138	9718.94
0	91.68	77.04	295.55	0.554	0.406	-0.370	-0.072	9718.94
0	-7.66	77.06	295.51	0.508	0.343	-0.372	0.043	9718.94
0	290.43	157.95	295.81	0.810	0.744	-0.236	-0.217	9718.73
0	191.10	158.06	295.83	0.663	0.547	-0.294	-0.231	9718.73
0	91.77	158.15	295.83	0.559	0.422	-0.335	-0.148	9718.74
0	-7.54	158.24	295.81	0.455	0.318	-0.326	0.007	9718.74

Cuadro 63: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-28.39	0.18	279.13	0.181	-0.172	-0.057	0.012	97170.85
0	70.97	0.18	279.21	0.139	-0.128	-0.055	0.007	97170.85
0	170.32	0.18	279.36	0.147	-0.115	-0.092	-0.001	97170.83
0	269.68	0.18	279.34	0.109	-0.033	-0.104	-0.008	97170.86
0	-28.39	0.64	279.20	0.194	-0.178	-0.073	0.021	97170.84
0	70.97	0.64	279.27	0.157	-0.141	-0.065	0.021	97170.83
0	170.32	0.64	279.46	0.147	-0.113	-0.094	-0.001	97170.82
0	269.68	0.64	279.40	0.111	-0.028	-0.106	-0.018	97170.84
0	-28.39	1.38	279.26	0.204	-0.186	-0.080	0.020	97170.81
0	70.97	1.38	279.32	0.175	-0.157	-0.073	0.022	97170.81
0	170.32	1.38	279.50	0.158	-0.122	-0.100	-0.003	97170.8
0	269.68	1.38	279.46	0.115	-0.018	-0.111	-0.023	97170.82
0	-28.39	2.55	279.32	0.221	-0.204	-0.081	0.029	97170.77
0	70.97	2.55	279.37	0.191	-0.175	-0.073	0.027	97170.77
0	170.32	2.55	279.54	0.160	-0.124	-0.102	-0.006	97170.76
0	269.68	2.55	279.52	0.119	-0.005	-0.115	-0.029	97170.78
0	-28.39	4.44	279.38	0.238	-0.222	-0.083	0.027	97170.72
0	70.97	4.44	279.43	0.217	-0.200	-0.080	0.028	97170.72
0	170.32	4.44	279.58	0.179	-0.140	-0.112	-0.005	97170.72
0	269.68	4.44	279.57	0.127	0.006	-0.122	-0.034	97170.73
0	-28.39	7.46	279.45	0.236	-0.213	-0.099	0.025	97170.65
0	70.97	7.46	279.50	0.216	-0.186	-0.107	0.027	97170.65
0	170.32	7.46	279.63	0.192	-0.135	-0.136	-0.004	97170.65
0	269.68	7.46	279.63	0.139	0.007	-0.133	-0.038	97170.66
0	-28.39	12.29	279.53	0.261	-0.231	-0.118	0.032	97170.56
0	70.97	12.29	279.57	0.231	-0.196	-0.119	0.024	97170.55
0	170.32	12.29	279.67	0.197	-0.139	-0.139	-0.009	97170.55
0	269.68	12.29	279.68	0.138	-0.002	-0.133	-0.038	97170.56
0	-28.39	20.02	279.63	0.239	-0.180	-0.154	0.031	97170.42
0	70.97	20.02	279.68	0.233	-0.170	-0.158	0.013	97170.42
0	170.32	20.02	279.73	0.239	-0.166	-0.172	-0.003	97170.42
0	269.68	20.02	279.74	0.163	-0.047	-0.153	-0.032	97170.42
0	-28.39	32.39	279.74	0.242	-0.131	-0.202	0.023	97170.24
0	70.97	32.39	279.77	0.239	-0.123	-0.205	0.010	97170.24
0	170.32	32.39	279.79	0.242	-0.126	-0.206	0.009	97170.25
0	269.68	32.39	279.80	0.205	-0.099	-0.178	-0.023	97170.24
0	269.72	76.95	279.89	0.287	-0.102	-0.268	-0.015	97169.81
0	170.39	76.99	279.89	0.284	-0.086	-0.271	0.006	97169.81
0	71.07	77.04	279.88	0.284	-0.082	-0.271	0.013	97169.81
0	-28.24	77.11	279.88	0.290	-0.083	-0.278	0.011	97169.81
0	269.83	157.85	280.00	0.420	-0.055	-0.416	-0.014	97169.29
0	170.55	157.98	280.00	0.415	-0.054	-0.412	-0.006	97169.28
0	71.29	158.15	279.99	0.412	-0.051	-0.409	0.012	97169.28
0	-27.91	158.35	279.99	0.413	-0.047	-0.410	0.009	97169.27

Cuadro 64: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-28.39	0.18	279.11	0.207	0.119	-0.168	-0.021	97171.21
0	70.97	0.18	279.11	0.214	0.131	-0.168	-0.017	97171.22
0	170.32	0.18	279.11	0.217	0.138	-0.167	-0.014	97171.22
0	269.68	0.18	279.11	0.220	0.142	-0.167	-0.011	97171.22
0	-28.39	0.64	279.26	0.258	0.153	-0.207	0.000	97171.20
0	70.97	0.64	279.26	0.266	0.166	-0.208	0.004	97171.21
0	170.32	0.64	279.26	0.270	0.173	-0.207	0.007	97171.21
0	269.68	0.64	279.26	0.273	0.177	-0.208	0.009	97171.22
0	-28.39	1.38	279.33	0.285	0.176	-0.224	0.003	97171.19
0	70.97	1.38	279.33	0.293	0.188	-0.225	0.006	97171.20
0	170.32	1.38	279.33	0.295	0.192	-0.224	0.009	97171.20
0	269.68	1.38	279.33	0.297	0.195	-0.224	0.011	97171.20
0	-28.39	2.55	279.38	0.310	0.200	-0.237	0.005	97171.18
0	70.97	2.55	279.38	0.317	0.209	-0.238	0.008	97171.18
0	170.32	2.55	279.39	0.317	0.211	-0.237	0.010	97171.19
0	269.68	2.55	279.39	0.317	0.211	-0.236	0.011	97171.19
0	-28.39	4.44	279.43	0.332	0.221	-0.247	0.006	97171.16
0	70.97	4.44	279.43	0.336	0.226	-0.248	0.007	97171.16
0	170.32	4.44	279.43	0.334	0.226	-0.246	0.009	97171.17
0	269.68	4.44	279.43	0.331	0.223	-0.245	0.009	97171.17
0	-28.39	7.46	279.46	0.347	0.237	-0.254	0.006	97171.13
0	70.97	7.46	279.46	0.349	0.238	-0.255	0.006	97171.14
0	170.32	7.46	279.46	0.345	0.235	-0.253	0.006	97171.14
0	269.68	7.46	279.47	0.340	0.230	-0.251	0.005	97171.15
0	-28.39	12.29	279.49	0.356	0.245	-0.259	0.005	97171.10
0	70.97	12.29	279.49	0.355	0.242	-0.259	0.005	97171.11
0	170.32	12.29	279.49	0.350	0.237	-0.257	0.004	97171.11
0	269.68	12.29	279.49	0.344	0.231	-0.255	0.002	97171.12
0	-28.39	20.02	279.51	0.357	0.243	-0.261	0.005	97171.06
0	70.97	20.02	279.51	0.354	0.238	-0.262	0.004	97171.07
0	170.32	20.02	279.51	0.348	0.231	-0.260	0.002	97171.07
0	269.68	20.02	279.51	0.342	0.226	-0.257	0.000	97171.08
0	-28.39	32.39	279.52	0.347	0.229	-0.261	0.009	97171.00
0	70.97	32.39	279.52	0.343	0.223	-0.261	0.008	97171.01
0	170.32	32.39	279.53	0.338	0.217	-0.259	0.006	97171.02
0	269.68	32.39	279.53	0.333	0.212	-0.257	0.003	97171.02
0	269.72	76.95	279.55	0.305	0.177	-0.249	0.010	97170.89
0	170.39	76.99	279.55	0.306	0.177	-0.249	0.015	97170.88
0	71.07	77.04	279.55	0.307	0.179	-0.249	0.019	97170.88
0	-28.24	77.11	279.55	0.309	0.181	-0.249	0.023	97170.87
0	269.83	157.85	279.57	0.267	0.149	-0.222	-0.006	97170.70
0	170.55	157.98	279.57	0.259	0.143	-0.216	0.001	97170.69
0	71.29	158.15	279.57	0.250	0.138	-0.209	0.009	97170.68
0	-27.91	158.35	279.57	0.242	0.132	-0.202	0.016	97170.66

Cuadro 65: Resultados P1 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-28.39	0.18	280.91	0.596	-0.550	-0.230	0.008	9719.62
0	70.97	0.18	280.69	0.302	-0.288	-0.088	0.011	9719.63
0	170.32	0.18	281.03	0.172	0.171	-0.014	0.009	9719.63
0	269.68	0.18	282.89	0.259	0.258	-0.020	-0.018	9719.64
0	-28.39	0.64	281.52	0.581	-0.538	-0.218	0.030	9719.61
0	70.97	0.64	281.27	0.306	-0.291	-0.085	0.044	9719.62
0	170.32	0.64	281.62	0.199	0.194	-0.017	0.039	9719.62
0	269.68	0.64	283.47	0.308	0.304	-0.026	-0.038	9719.63
0	-28.39	1.38	282.10	0.525	-0.482	-0.205	0.032	9719.59
0	70.97	1.38	281.83	0.297	-0.281	-0.081	0.051	9719.60
0	170.32	1.38	282.18	0.220	0.216	-0.016	0.042	9719.60
0	269.68	1.38	283.92	0.343	0.338	-0.041	-0.046	9719.61
0	-28.39	2.55	282.68	0.424	-0.377	-0.191	0.037	9719.57
0	70.97	2.55	282.38	0.223	-0.196	-0.090	0.057	9719.57
0	170.32	2.55	282.79	0.287	0.281	-0.033	0.048	9719.57
0	269.68	2.55	284.38	0.411	0.406	-0.043	-0.052	9719.58
0	-28.39	4.44	283.23	0.260	-0.189	-0.177	0.022	9719.53
0	70.97	4.44	282.91	0.153	-0.099	-0.100	0.060	9719.53
0	170.32	4.44	283.38	0.353	0.347	-0.045	0.042	9719.53
0	269.68	4.44	284.78	0.478	0.472	-0.056	-0.052	9719.55
0	-28.39	7.46	284.22	0.243	0.188	-0.153	0.002	9719.47
0	70.97	7.46	283.86	0.301	0.271	-0.121	0.049	9719.48
0	170.32	7.46	284.23	0.544	0.540	-0.062	0.027	9719.48
0	269.68	7.46	285.23	0.611	0.606	-0.059	-0.052	9719.49
0	-28.39	12.29	285.56	0.692	0.674	-0.159	0.024	9719.40
0	70.97	12.29	284.98	0.640	0.625	-0.129	0.055	9719.40
0	170.32	12.29	284.97	0.737	0.733	-0.062	0.039	9719.40
0	269.68	12.29	285.72	0.794	0.792	-0.030	-0.043	9719.41
0	-28.39	20.02	286.50	1.150	1.141	-0.136	0.030	9719.31
0	70.97	20.02	286.18	1.144	1.142	-0.038	0.049	9719.31
0	170.32	20.02	286.22	1.186	1.184	0.037	0.034	9719.30
0	269.68	20.02	286.26	1.125	1.124	0.042	-0.027	9719.31
0	-28.39	32.39	286.98	1.348	1.348	-0.014	0.027	9719.19
0	70.97	32.39	286.96	1.404	1.398	0.123	0.042	9719.19
0	170.32	32.39	286.99	1.403	1.385	0.218	0.034	9719.19
0	269.68	32.39	286.91	1.362	1.344	0.220	-0.006	9719.18
0	269.72	76.95	287.57	1.282	1.260	0.237	0.003	9718.88
0	170.39	76.99	287.57	1.326	1.303	0.243	0.025	9718.89
0	71.07	77.04	287.56	1.348	1.330	0.215	0.016	9718.89
0	-28.24	77.11	287.57	1.329	1.320	0.159	0.000	9718.90
0	269.83	157.85	288.13	0.975	0.972	-0.081	0.018	9718.47
0	170.55	157.98	288.15	1.000	0.998	-0.053	0.034	9718.48
0	71.29	158.15	288.15	1.057	1.056	-0.032	0.001	9718.48
0	-27.91	158.35	288.16	1.104	1.103	-0.031	-0.035	9718.48

Cuadro 66: Resultados P1 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
0	-28.39	0.18	288.91	0.416	0.404	0.099	-0.011	9719.28
0	70.97	0.18	289.14	0.395	0.395	-0.003	0.001	9719.29
0	170.32	0.18	289.05	0.399	0.397	-0.037	-0.002	9719.30
0	269.68	0.18	289.11	0.382	0.376	-0.042	0.051	9719.30
0	-28.39	0.64	292.41	0.546	0.534	0.112	0.005	9719.27
0	70.97	0.64	292.55	0.527	0.527	-0.001	0.003	9719.28
0	170.32	0.64	292.54	0.534	0.532	-0.050	0.009	9719.29
0	269.68	0.64	292.63	0.503	0.499	-0.060	0.034	9719.29
0	-28.39	1.38	292.90	0.556	0.548	0.098	0.005	9719.26
0	70.97	1.38	293.01	0.541	0.541	-0.017	0.004	9719.27
0	170.32	1.38	293.06	0.550	0.546	-0.068	0.014	9719.28
0	269.68	1.38	293.15	0.521	0.514	-0.078	0.033	9719.28
0	-28.39	2.55	293.48	0.563	0.561	0.055	0.002	9719.24
0	70.97	2.55	293.58	0.560	0.557	-0.061	-0.001	9719.26
0	170.32	2.55	293.67	0.568	0.557	-0.108	0.008	9719.27
0	269.68	2.55	293.76	0.540	0.527	-0.112	0.022	9719.27
0	-28.39	4.44	293.97	0.564	0.564	-0.007	0.004	9719.22
0	70.97	4.44	294.07	0.578	0.566	-0.116	-0.004	9719.24
0	170.32	4.44	294.14	0.582	0.562	-0.153	0.001	9719.25
0	269.68	4.44	294.20	0.552	0.532	-0.148	0.010	9719.25
0	-28.39	7.46	294.32	0.562	0.556	-0.078	0.015	9719.20
0	70.97	7.46	294.41	0.591	0.565	-0.172	-0.002	9719.22
0	170.32	7.46	294.46	0.593	0.559	-0.196	-0.001	9719.23
0	269.68	7.46	294.51	0.561	0.531	-0.181	0.002	9719.23
0	-28.39	12.29	294.61	0.559	0.535	-0.158	0.035	9719.17
0	70.97	12.29	294.68	0.600	0.554	-0.230	0.005	9719.19
0	170.32	12.29	294.72	0.599	0.549	-0.240	-0.003	9719.20
0	269.68	12.29	294.75	0.567	0.525	-0.215	-0.006	9719.20
0	-28.39	20.02	294.86	0.553	0.494	-0.239	0.072	9719.12
0	70.97	20.02	294.90	0.599	0.527	-0.285	0.018	9719.14
0	170.32	20.02	294.94	0.599	0.528	-0.283	-0.007	9719.16
0	269.68	20.02	294.97	0.570	0.511	-0.252	-0.019	9719.16
0	-28.39	32.39	295.08	0.542	0.428	-0.304	0.133	9719.06
0	70.97	32.39	295.12	0.581	0.478	-0.327	0.043	9719.08
0	170.32	32.39	295.16	0.588	0.491	-0.324	-0.011	9719.10
0	269.68	32.39	295.19	0.570	0.488	-0.292	-0.038	9719.10
0	269.72	76.95	295.57	0.557	0.413	-0.362	-0.089	9718.96
0	170.39	76.99	295.54	0.536	0.376	-0.382	-0.005	9718.95
0	71.07	77.04	295.50	0.499	0.340	-0.356	0.080	9718.94
0	-28.24	77.11	295.46	0.491	0.282	-0.358	0.180	9718.92
0	269.83	157.85	295.84	0.512	0.350	-0.336	-0.162	9718.76
0	170.55	157.98	295.81	0.438	0.265	-0.347	-0.039	9718.75
0	71.29	158.15	295.77	0.373	0.180	-0.313	0.096	9718.74
0	-27.91	158.35	295.72	0.347	0.092	-0.280	0.182	9718.73

F. Resultados cuadrante microescala Plano 2

Cuadro 67: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP	x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
314	-12.78	0.12	279.15	0.148	0.105	-0.105	0.003	97170.86	314	215.84	7.46	279.59	0.101	0.061	-0.080	0.000	97170.67
314	17.13	0.18	279.14	0.132	0.093	-0.094	0.004	97170.87	314	265.52	7.46	279.63	0.109	0.004	-0.102	-0.039	97170.67
314	66.81	0.18	279.15	0.118	0.101	-0.061	0.007	97170.87	314	-10.23	8.03	279.52	0.124	0.108	-0.004	0.060	97170.67
314	116.48	0.18	279.14	0.087	0.070	-0.052	0.006	97170.87	314	-12.83	11.23	279.59	0.153	0.111	-0.039	0.097	97170.57
314	166.16	0.18	279.17	0.091	0.064	-0.065	0.002	97170.87	314	17.24	12.23	279.62	0.122	0.087	-0.085	0.018	97170.57
314	215.84	0.18	279.26	0.134	0.109	-0.077	-0.003	97170.87	314	66.89	12.25	279.67	0.131	0.092	-0.094	-0.003	97170.57
314	265.52	0.18	279.31	0.125	0.088	-0.088	-0.002	97170.87	314	116.52	12.27	279.67	0.104	0.071	-0.076	0.000	97170.57
314	-10.24	0.24	279.15	0.148	0.105	-0.105	0.003	97170.86	314	166.17	12.28	279.71	0.071	0.025	-0.066	-0.008	97170.57
314	-12.78	0.54	279.19	0.130	0.090	-0.093	0.009	97170.85	314	215.84	12.28	279.66	0.099	0.038	-0.092	-0.003	97170.56
314	17.13	0.64	279.19	0.129	0.085	-0.096	0.011	97170.85	314	265.52	12.29	279.69	0.120	-0.013	-0.110	-0.047	97170.56
314	66.81	0.64	279.22	0.110	0.086	-0.067	0.017	97170.85	314	-10.23	13.20	279.59	0.153	0.111	-0.039	0.097	97170.57
314	116.48	0.64	279.21	0.085	0.060	-0.058	0.014	97170.85	314	-12.86	18.31	279.68	0.163	0.083	-0.110	0.085	97170.45
314	166.16	0.64	279.23	0.086	0.062	-0.059	0.001	97170.85	314	17.31	19.92	279.74	0.115	0.054	-0.101	0.011	97170.44
314	215.84	0.64	279.32	0.130	0.109	-0.070	-0.004	97170.85	314	66.94	19.95	279.77	0.123	0.044	-0.114	-0.015	97170.44
314	265.52	0.64	279.36	0.124	0.086	-0.087	-0.015	97170.85	314	116.54	19.98	279.76	0.110	0.020	-0.108	-0.008	97170.44
314	-10.24	0.73	279.19	0.130	0.090	-0.093	0.009	97170.85	314	166.18	20.00	279.74	0.100	-0.004	-0.099	-0.012	97170.44
314	-12.78	1.22	279.24	0.123	0.085	-0.088	0.011	97170.82	314	215.84	20.01	279.72	0.105	-0.020	-0.103	0.002	97170.43
314	17.13	1.37	279.23	0.136	0.086	-0.104	0.014	97170.83	314	265.52	20.01	279.73	0.128	-0.046	-0.112	-0.042	97170.42
314	66.81	1.37	279.29	0.121	0.093	-0.075	0.020	97170.83	314	-10.21	21.47	279.68	0.163	0.083	-0.110	0.085	97170.45
314	116.49	1.37	279.27	0.084	0.056	-0.060	0.019	97170.83	314	-12.92	29.65	279.78	0.176	0.023	-0.162	0.066	97170.27
314	166.16	1.37	279.29	0.084	0.061	-0.055	0.018	97170.83	314	17.42	32.21	279.81	0.143	-0.019	-0.141	0.003	97170.27
314	215.84	1.37	279.37	0.122	0.102	-0.067	-0.001	97170.83	314	67.02	32.26	279.82	0.153	-0.021	-0.150	-0.024	97170.26
314	265.52	1.37	279.42	0.119	0.072	-0.089	-0.031	97170.83	314	116.58	32.31	279.80	0.151	-0.030	-0.147	-0.013	97170.26
314	-10.24	1.52	279.24	0.123	0.085	-0.088	0.011	97170.82	314	166.19	32.34	279.78	0.145	-0.039	-0.140	-0.010	97170.26
314	-12.79	2.30	279.34	0.110	0.098	-0.046	0.019	97170.79	314	215.84	32.36	279.77	0.147	-0.065	-0.132	0.012	97170.25
314	17.15	2.55	279.29	0.131	0.082	-0.101	0.017	97170.80	314	265.51	32.37	279.78	0.161	-0.085	-0.134	-0.027	97170.24
314	66.82	2.55	279.35	0.129	0.095	-0.086	0.018	97170.79	314	-10.19	34.69	279.78	0.176	0.023	-0.162	0.066	97170.27
314	116.49	2.55	279.34	0.094	0.062	-0.066	0.023	97170.79	314	17.48	54.76	279.86	0.222	-0.062	-0.213	-0.016	97170.01
314	166.16	2.55	279.36	0.074	0.051	-0.043	0.032	97170.79	314	67.12	54.83	279.86	0.223	-0.070	-0.209	-0.032	97170.01
314	215.84	2.55	279.44	0.114	0.098	-0.059	-0.001	97170.79	314	116.67	54.88	279.86	0.227	-0.072	-0.214	-0.016	97170.01
314	265.52	2.55	279.49	0.112	0.056	-0.088	-0.040	97170.79	314	166.26	54.93	279.86	0.238	-0.079	-0.225	-0.003	97170.00
314	-10.24	2.78	279.34	0.110	0.098	-0.046	0.019	97170.79	314	215.89	54.95	279.86	0.248	-0.091	-0.231	0.013	97170.00
314	-12.80	4.03	279.40	0.117	0.095	-0.060	0.031	97170.74	314	265.55	54.97	279.87	0.258	-0.102	-0.237	-0.007	97170.00
314	17.16	4.42	279.36	0.134	0.086	-0.101	0.014	97170.75	314	17.46	91.99	279.90	0.300	-0.082	-0.288	-0.022	97169.67
314	66.83	4.43	279.41	0.127	0.099	-0.078	0.015	97170.74	314	67.17	92.03	279.89	0.306	-0.090	-0.292	-0.022	97169.67
314	116.50	4.43	279.40	0.092	0.068	-0.059	0.018	97170.74	314	116.79	92.08	279.89	0.314	-0.093	-0.300	-0.007	97169.67
314	166.17	4.44	279.45	0.064	0.044	-0.045	0.010	97170.74	314	166.40	92.12	279.89	0.320	-0.095	-0.305	0.008	97169.67
314	215.84	4.44	279.51	0.104	0.080	-0.066	-0.002	97170.74	314	216.01	92.14	279.89	0.320	-0.099	-0.305	0.013	97169.67
314	265.52	4.44	279.55	0.103	0.029	-0.091	-0.039	97170.74	314	265.65	92.15	279.89	0.320	-0.101	-0.304	0.008	97169.67
314	-10.24	4.80	279.40	0.117	0.095	-0.060	0.031	97170.74	314	17.42	136.47	279.97	0.386	-0.095	-0.374	-0.007	97169.39
314	-12.81	6.80	279.52	0.124	0.108	-0.004	0.060	97170.67	314	67.17	136.49	279.98	0.389	-0.099	-0.376	-0.005	97169.39
314	17.19	7.43	279.48	0.133	0.095	-0.092	0.015	97170.67	314	116.85	136.51	279.98	0.393	-0.101	-0.379	0.005	97169.39
314	66.85	7.44	279.50	0.138	0.106	-0.087	0.010	97170.67	314	166.49	136.54	279.98	0.395	-0.102	-0.381	0.013	97169.39
314	116.51	7.45	279.51	0.106	0.084	-0.065	0.010	97170.67	314	216.12	136.56	279.98	0.395	-0.103	-0.381	0.014	97169.39
314	166.17	7.45	279.63	0.064	0.039	-0.051	-0.004	97170.67	314	265.76	136.56	279.98	0.394	-0.105	-0.380	0.013	97169.39

Cuadro 68: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP	x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
314	-12.78	0.12	279.15	0.148	0.105	-0.105	0.003	97170.86	314	215.84	7.46	279.59	0.101	0.061	-0.080	0.000	97170.67
314	17.13	0.18	279.14	0.132	0.093	-0.094	0.004	97170.87	314	265.52	7.46	279.63	0.109	0.004	-0.102	-0.039	97170.67
314	66.81	0.18	279.15	0.118	0.101	-0.061	0.007	97170.87	314	-10.23	8.03	279.52	0.124	0.108	-0.004	0.060	97170.67
314	116.48	0.18	279.14	0.087	0.070	-0.052	0.006	97170.87	314	-12.83	11.23	279.59	0.153	0.111	-0.039	0.097	97170.57
314	166.16	0.18	279.17	0.091	0.064	-0.065	0.002	97170.87	314	17.24	12.23	279.62	0.122	0.087	-0.085	0.018	97170.57
314	215.84	0.18	279.26	0.134	0.109	-0.077	-0.003	97170.87	314	66.89	12.25	279.67	0.131	0.092	-0.094	-0.003	97170.57
314	265.52	0.18	279.31	0.125	0.088	-0.088	-0.002	97170.87	314	116.52	12.27	279.67	0.104	0.071	-0.076	0.000	97170.57
314	-10.24	0.24	279.15	0.148	0.105	-0.105	0.003	97170.86	314	166.17	12.28	279.71	0.071	0.025	-0.066	-0.008	97170.57
314	-12.78	0.54	279.19	0.130	0.090	-0.093	0.009	97170.85	314	215.84	12.28	279.66	0.099	0.038	-0.092	-0.003	97170.56
314	17.13	0.64	279.19	0.129	0.085	-0.096	0.011	97170.85	314	265.52	12.29	279.69	0.120	-0.013	-0.110	-0.047	97170.56
314	66.81	0.64	279.22	0.110	0.086	-0.067	0.017	97170.85	314	-10.23	13.20	279.59	0.153	0.111	-0.039	0.097	97170.57
314	116.48	0.64	279.21	0.085	0.060	-0.058	0.014	97170.85	314	-12.86	18.31	279.68	0.163	0.083	-0.110	0.085	97170.45
314	166.16	0.64	279.23	0.086	0.062	-0.059	0.001	97170.85	314	17.31	19.92	279.74	0.115	0.054	-0.101	0.011	97170.44
314	215.84	0.64	279.32	0.130	0.109	-0.070	-0.004	97170.85	314	66.94	19.95	279.77	0.123	0.044	-0.114	-0.015	97170.44
314	265.52	0.64	279.36	0.124	0.086	-0.087	-0.015	97170.85	314	116.54	19.98	279.76	0.110	0.020	-0.108	-0.008	97170.44
314	-10.24	0.73	279.19	0.130	0.090	-0.093	0.009	97170.85	314	166.18	20.00	279.74	0.100	-0.004	-0.099	-0.012	97170.44
314	-12.78	1.22	279.24	0.123	0.085	-0.088	0.011	97170.82	314	215.84	20.01	279.72	0.105	-0.020	-0.103	0.002	97170.43
314	17.13	1.37	279.23	0.136	0.086	-0.104	0.014	97170.83	314	265.52	20.01	279.73	0.128	-0.046	-0.112	-0.042	97170.42
314	66.81	1.37	279.29	0.121	0.093	-0.075	0.020	97170.83	314	-10.21	21.47	279.68	0.163	0.083	-0.110	0.085	97170.45
314	116.49	1.37	279.27	0.084	0.056	-0.060	0.019	97170.83	314	-12.92	29.65	279.78	0.176	0.023	-0.162	0.066	97170.27
314	166.16	1.37	279.29	0.084	0.061	-0.055	0.018	97170.83	314	17.42	32.21	279.81	0.143	-0.019	-0.141	0.003	97170.27
314	215.84	1.37	279.37	0.122	0.102	-0.067	-0.001	97170.83	314	67.02	32.26	279.82	0.153	-0.021	-0.150	-0.024	97170.26
314	265.52	1.37	279.42	0.119	0.072	-0.089	-0.031	97170.83	314	116.58	32.31	279.80	0.151	-0.030	-0.147	-0.013	97170.26
314	-10.24	1.52	279.24	0.123	0.085	-0.088	0.011	97170.82	314	166.19	32.34	279.78	0.145	-0.039	-0.140	-0.010	97170.26
314	-12.79	2.30	279.34	0.110	0.098	-0.046	0.019	97170.79	314	215.84	32.36	279.77	0.147	-0.065	-0.132	0.012	97170.25
314	17.15	2.55	279.29	0.131	0.082	-0.101	0.017	97170.80	314	265.51	32.37	279.78	0.161	-0.085	-0.134	-0.027	97170.24
314	66.82	2.55	279.35	0.129	0.095	-0.086	0.018	97170.79	314	-10.19	34.69	279.78	0.176	0.023	-0.162	0.066	97170.27
314	116.49	2.55	279.34	0.094	0.062	-0.066	0.023	97170.79	314	17.48	54.76	279.86	0.222	-0.062	-0.213	-0.016	97170.01
314	166.16	2.55	279.36	0.074	0.051	-0.043	0.032	97170.79	314	67.12	54.83	279.86	0.223	-0.070	-0.209	-0.032	97170.01
314	215.84	2.55	279.44	0.114	0.098	-0.059	-0.001	97170.79	314	116.67	54.88	279.86	0.227	-0.072	-0.214	-0.016	97170.01
314	265.52	2.55	279.49	0.112	0.056	-0.088	-0.040	97170.79	314	166.26	54.93	279.86	0.238	-0.079	-0.225	-0.003	97170.00
314	-10.24	2.78	279.34	0.110	0.098	-0.046	0.019	97170.79	314	215.89	54.95	279.86	0.248	-0.091	-0.231	0.013	97170.00
314	-12.80	4.03	279.40	0.117	0.095	-0.060	0.031	97170.74	314	265.55	54.97	279.87	0.258	-0.102	-0.237	-0.007	97170.00
314	17.16	4.42	279.36	0.134	0.086	-0.101	0.014	97170.75	314	17.46	91.99	279.90	0.300	-0.082	-0.288	-0.022	97169.67
314	66.83	4.43	279.41	0.127	0.099	-0.078	0.015	97170.74	314	67.17	92.03	279.89	0.306	-0.090	-0.292	-0.022	97169.67
314	116.50	4.43	279.40	0.092	0.068	-0.059	0.018	97170.74	314	116.79	92.08	279.89	0.314	-0.093	-0.300	-0.007	97169.67
314	166.17	4.44	279.45	0.064	0.044	-0.045	0.010	97170.74	314	166.40	92.12	279.89	0.320	-0.095	-0.305	0.008	97169.67
314	215.84	4.44	279.51	0.104	0.080	-0.066	-0.002	97170.74	314	216.01	92.14	279.89	0.320	-0.099	-0.305	0.013	97169.67
314	265.52	4.44	279.55	0.103	0.029	-0.091	-0.039	97170.74	314	265.65	92.15	279.89	0.320	-0.101	-0.304	0.008	97169.67
314	-10.24	4.80	279.40	0.117	0.095	-0.060	0.031	97170.74	314	17.42	136.47	279.97	0.386	-0.095	-0.374	-0.007	97169.39
314	-12.81	6.80	279.52	0.124	0.108	-0.004	0.060	97170.67	314	67.17	136.49	279.98	0.389	-0.099	-0.376	-0.005	97169.39
314	17.19	7.43	279.48	0.133	0.095	-0.092	0.015	97170.67	314	116.85	136.51	279.98	0.393	-0.101	-0.379	0.005	97169.39
314	66.85	7.44	279.50	0.138	0.106	-0.087	0.010	97170.67	314	166.49	136.54	279.98	0.395	-0.102	-0.381	0.013	97169.39
314	116.51	7.45	279.51	0.106	0.084	-0.065	0.010	97170.67	314	216.12	136.56	279.98	0.395	-0.103	-0.381	0.014	97169.39
314	166.17	7.45	279.63	0.064	0.039	-0.051	-0.004	97170.67	314	265.76	136.56	279.98	0.394	-0.105	-0.380	0.013	97169.39

Cuadro 69: Resultados P2 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP	x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
314	-12.78	0.12	289.92	2.097	0.603	2.008	-0.002	101323.45	314	215.84	7.46	291.13	0.187	0.161	0.096	-0.005	101323.05
314	17.13	0.18	289.89	2.221	0.658	2.121	-0.001	101323.46	314	265.52	7.46	291.13	0.193	0.159	0.108	-0.003	101323.06
314	66.81	0.18	289.81	2.238	0.695	2.127	0.001	101323.48	314	-10.23	8.03	291.06	0.171	-0.085	0.148	-0.012	101322.99
314	116.48	0.18	289.74	2.272	0.683	2.167	0.002	101323.49	314	-12.83	11.23	291.21	0.116	-0.011	0.115	-0.010	101322.75
314	166.16	0.18	289.68	2.270	0.658	2.172	0.003	101323.52	314	17.24	12.23	291.21	0.155	0.106	0.113	-0.004	101322.76
314	215.84	0.18	289.62	2.273	0.629	2.185	0.004	101323.54	314	66.89	12.25	291.22	0.245	0.208	0.129	-0.010	101322.77
314	265.52	0.18	289.57	2.271	0.588	2.194	0.005	101323.57	314	116.52	12.27	291.22	0.331	0.293	0.154	-0.008	101322.77
314	-10.24	0.24	289.92	2.097	0.603	2.008	-0.002	101323.45	314	166.17	12.28	291.21	0.390	0.349	0.175	-0.006	101322.79
314	-12.78	0.54	290.56	1.830	0.495	1.762	-0.005	101323.41	314	215.84	12.28	291.19	0.448	0.403	0.196	-0.001	101322.80
314	17.13	0.64	290.57	1.873	0.476	1.812	-0.002	101323.41	314	265.52	12.29	291.18	0.482	0.429	0.219	0.001	101322.81
314	66.81	0.64	290.52	1.947	0.523	1.876	0.002	101323.43	314	-10.22	13.20	291.21	0.116	-0.011	0.115	-0.010	101322.75
314	116.48	0.64	290.42	2.007	0.508	1.942	0.005	101323.45	314	-12.86	18.31	291.31	0.181	0.103	0.149	-0.009	101322.40
314	166.16	0.64	290.30	2.078	0.544	2.005	0.007	101323.47	314	17.31	19.92	291.30	0.309	0.263	0.162	-0.003	101322.40
314	215.84	0.64	290.18	2.123	0.545	2.051	0.010	101323.49	314	66.94	19.95	291.30	0.423	0.376	0.193	-0.010	101322.41
314	265.52	0.64	290.06	2.152	0.539	2.083	0.011	101323.52	314	116.54	19.98	291.28	0.530	0.481	0.222	-0.008	101322.41
314	-10.24	0.73	290.56	1.830	0.495	1.762	-0.005	101323.41	314	166.18	20.00	291.27	0.606	0.552	0.250	-0.005	101322.41
314	-12.78	1.22	290.76	1.219	0.244	1.195	-0.006	101323.36	314	215.84	20.01	291.25	0.671	0.614	0.272	-0.001	101322.43
314	17.13	1.37	290.77	1.296	0.252	1.271	-0.004	101323.36	314	265.52	20.01	291.24	0.713	0.650	0.293	0.001	101322.44
314	66.81	1.37	290.76	1.374	0.283	1.344	-0.001	101323.38	314	-10.21	21.47	291.31	0.181	0.103	0.149	-0.009	101322.40
314	116.49	1.37	290.72	1.488	0.309	1.456	0.002	101323.39	314	-12.92	29.65	291.39	0.326	0.239	0.221	-0.008	101321.88
314	166.16	1.37	290.65	1.614	0.346	1.576	0.004	101323.41	314	17.42	32.21	291.38	0.441	0.378	0.227	-0.004	101321.87
314	215.84	1.37	290.56	1.716	0.372	1.675	0.008	101323.43	314	67.03	32.26	291.37	0.536	0.474	0.251	-0.008	101321.87
314	265.52	1.37	290.46	1.791	0.385	1.749	0.010	101323.45	314	116.58	32.31	291.35	0.620	0.557	0.272	-0.005	101321.87
314	-10.24	1.52	290.76	1.219	0.244	1.195	-0.006	101323.36	314	166.19	32.34	291.35	0.678	0.612	0.291	-0.002	101321.87
314	-12.79	2.30	290.78	0.574	-0.182	0.544	-0.008	101323.28	314	215.84	32.36	291.34	0.725	0.657	0.307	0.001	101321.87
314	17.15	2.55	290.79	0.565	-0.131	0.549	-0.008	101323.28	314	265.51	32.37	291.33	0.758	0.686	0.323	0.002	101321.87
314	66.82	2.55	290.81	0.592	-0.087	0.586	-0.004	101323.30	314	-10.19	34.69	291.39	0.326	0.239	0.221	-0.008	101321.88
314	116.49	2.55	290.82	0.663	-0.043	0.662	-0.004	101323.30	314	17.48	54.76	291.51	0.538	0.472	0.258	0.003	101321.00
314	166.16	2.55	290.82	0.784	0.004	0.784	0.000	101323.32	314	67.12	54.83	291.51	0.583	0.516	0.271	0.003	101321.00
314	215.84	2.55	290.77	0.934	0.048	0.932	0.005	101323.34	314	116.67	54.88	291.51	0.617	0.549	0.281	0.005	101320.99
314	265.52	2.55	290.69	1.077	0.084	1.074	0.007	101323.37	314	166.26	54.93	291.51	0.646	0.578	0.290	0.006	101320.99
314	-10.24	2.78	290.78	0.574	-0.182	0.544	-0.008	101323.28	314	215.89	54.95	291.51	0.670	0.600	0.298	0.007	101320.98
314	-12.80	4.03	290.89	0.361	-0.210	0.293	-0.011	101323.16	314	265.55	54.97	291.51	0.692	0.620	0.306	0.005	101320.98
314	17.16	4.42	290.90	0.328	-0.163	0.285	-0.006	101323.16	314	17.46	91.99	291.52	0.578	0.513	0.265	0.016	101319.65
314	66.83	4.43	290.93	0.331	-0.129	0.304	-0.004	101323.17	314	67.17	92.03	291.52	0.610	0.544	0.275	0.017	101319.64
314	116.50	4.43	290.96	0.345	-0.102	0.330	-0.005	101323.19	314	116.79	92.08	291.52	0.636	0.569	0.284	0.019	101319.64
314	166.17	4.44	290.97	0.369	-0.073	0.362	-0.006	101323.20	314	166.40	92.12	291.52	0.660	0.591	0.292	0.018	101319.63
314	215.84	4.44	290.96	0.429	-0.050	0.426	-0.003	101323.22	314	216.01	92.14	291.52	0.679	0.609	0.300	0.018	101319.63
314	265.52	4.44	290.90	0.521	-0.038	0.520	-0.001	101323.24	314	265.65	92.15	291.52	0.699	0.627	0.309	0.013	101319.63
314	-10.24	4.80	290.89	0.361	-0.210	0.293	-0.011	101323.16	314	17.42	136.47	291.75	0.651	0.625	0.181	0.023	101318.25
314	-12.81	6.80	291.06	0.171	-0.085	0.148	-0.012	101322.99	314	67.17	136.49	291.75	0.659	0.633	0.183	0.023	101318.25
314	17.19	7.43	291.07	0.118	0.001	0.118	-0.004	101323.00	314	116.85	136.51	291.75	0.666	0.639	0.185	0.025	101318.24
314	66.86	7.44	291.13	0.132	0.075	0.108	-0.006	101323.01	314	166.49	136.54	291.75	0.675	0.648	0.187	0.023	101318.23
314	116.51	7.45	291.15	0.159	0.113	0.111	-0.006	101323.02	314	216.12	136.56	291.75	0.682	0.655	0.190	0.022	101318.23
314	166.17	7.45	291.14	0.172	0.140	0.099	-0.008	101323.03	314	265.76	136.56	291.75	0.692	0.664	0.195	0.015	101318.23

Cuadro 70: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP	x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
314	-12.78	0.12	289.28	0.172	-0.127	0.094	0.067	9719.33	314	215.84	7.46	294.15	0.280	0.244	0.138	-0.013	9719.2
314	17.13	0.18	289.47	0.150	-0.028	0.102	0.106	9719.33	314	265.52	7.46	294.16	0.360	0.304	0.192	-0.018	9719.2
314	66.81	0.18	289.44	0.151	0.027	0.131	0.069	9719.33	314	-10.23	8.03	293.98	0.040	0.016	-0.037	0.007	9719.2
314	116.48	0.18	289.42	0.181	0.047	0.170	0.040	9719.33	314	116.52	11.23	294.34	0.105	0.077	-0.071	0.008	9719.21
314	166.16	0.18	289.28	0.240	0.092	0.215	0.055	9719.32	314	166.17	12.23	294.37	0.150	0.140	-0.054	0.001	9719.21
314	215.84	0.18	289.17	0.286	0.127	0.252	0.046	9719.31	314	215.84	12.25	294.41	0.178	0.174	-0.036	-0.004	9719.21
314	265.52	0.18	288.98	0.318	0.152	0.278	0.019	9719.30	314	265.52	12.27	294.45	0.197	0.196	-0.012	-0.012	9719.20
314	-10.24	0.24	289.28	0.172	-0.127	0.094	0.067	9719.33	314	-10.22	12.28	294.48	0.240	0.238	0.028	-0.020	9719.20
314	-12.78	0.54	292.14	0.159	-0.095	0.126	-0.021	9719.32	314	-12.86	12.28	294.51	0.300	0.288	0.079	-0.027	9719.19
314	17.13	0.64	292.22	0.126	-0.005	0.124	-0.021	9719.32	314	17.31	12.29	294.52	0.387	0.361	0.135	-0.030	9719.17
314	66.81	0.64	292.21	0.169	0.051	0.160	-0.022	9719.32	314	66.94	13.20	294.34	0.105	0.077	-0.071	0.008	9719.21
314	116.48	0.64	292.22	0.213	0.062	0.202	-0.019	9719.32	314	116.54	18.31	294.64	0.180	0.151	-0.097	0.002	9719.15
314	166.16	0.64	292.18	0.283	0.123	0.254	-0.014	9719.31	314	166.18	19.92	294.67	0.219	0.201	-0.087	-0.007	9719.16
314	215.84	0.64	292.14	0.341	0.171	0.294	-0.015	9719.30	314	215.84	19.95	294.71	0.240	0.225	-0.081	-0.014	9719.16
314	265.52	0.64	292.04	0.385	0.209	0.322	-0.025	9719.29	314	265.52	19.98	294.75	0.260	0.250	-0.066	-0.025	9719.15
314	-10.24	0.73	292.14	0.159	-0.095	0.126	-0.021	9719.32	314	-10.21	20.00	294.79	0.297	0.293	-0.030	-0.036	9719.15
314	-12.78	1.22	292.53	0.122	-0.078	0.093	-0.010	9719.31	314	-12.92	20.01	294.81	0.353	0.350	0.020	-0.045	9719.14
314	17.13	1.37	292.54	0.116	0.004	0.115	-0.014	9719.31	314	17.42	20.01	294.83	0.448	0.439	0.075	-0.046	9719.13
314	66.81	1.37	292.54	0.157	0.058	0.145	-0.013	9719.31	314	67.03	21.47	294.64	0.180	0.151	-0.097	0.002	9719.15
314	116.49	1.37	292.56	0.205	0.076	0.190	-0.008	9719.31	314	116.58	29.65	294.92	0.262	0.234	-0.117	-0.008	9719.09
314	166.16	1.37	292.53	0.273	0.128	0.242	-0.002	9719.30	314	166.19	32.21	294.95	0.298	0.271	-0.122	-0.018	9719.09
314	215.84	1.37	292.52	0.334	0.176	0.284	0.000	9719.29	314	215.84	32.26	294.98	0.320	0.292	-0.129	-0.029	9719.09
314	265.52	1.37	292.45	0.383	0.216	0.317	-0.007	9719.28	314	265.51	32.31	295.02	0.347	0.322	-0.121	-0.044	9719.08
314	-10.24	1.52	292.53	0.122	-0.078	0.093	-0.010	9719.31	314	-10.19	32.34	295.05	0.385	0.370	-0.088	-0.061	9719.08
314	-12.79	2.30	293.02	0.084	-0.065	0.053	-0.008	9719.29	314	17.48	32.36	295.07	0.444	0.437	-0.040	-0.071	9719.07
314	17.15	2.55	293.03	0.078	0.017	0.075	-0.015	9719.29	314	67.12	32.37	295.09	0.553	0.549	0.010	-0.067	9719.06
314	66.82	2.55	293.04	0.129	0.071	0.107	-0.013	9719.29	314	116.67	34.69	294.92	0.262	0.234	-0.117	-0.008	9719.09
314	116.49	2.55	293.07	0.179	0.093	0.152	-0.009	9719.29	314	166.26	54.76	295.22	0.396	0.356	-0.171	-0.035	9718.99
314	166.16	2.55	293.06	0.249	0.141	0.205	-0.003	9719.28	314	215.89	54.83	295.25	0.432	0.387	-0.186	-0.052	9718.99
314	215.84	2.55	293.08	0.314	0.187	0.252	-0.002	9719.27	314	265.55	54.88	295.28	0.470	0.429	-0.178	-0.074	9718.99
314	265.52	2.55	293.05	0.373	0.231	0.293	-0.009	9719.26	314	17.46	54.93	295.30	0.519	0.489	-0.148	-0.096	9718.98
314	-10.24	2.78	293.02	0.084	-0.065	0.053	-0.008	9719.29	314	67.17	54.95	295.31	0.591	0.572	-0.105	-0.103	9718.97
314	-12.80	4.03	293.55	0.034	-0.033	0.006	0.000	9719.27	314	116.79	54.97	295.32	0.725	0.717	-0.067	-0.087	9718.96
314	17.16	4.42	293.57	0.052	0.045	0.025	-0.006	9719.27	314	166.40	91.99	295.46	0.507	0.458	-0.214	-0.044	9718.86
314	66.83	4.43	293.60	0.110	0.095	0.054	-0.006	9719.27	314	216.01	92.03	295.48	0.562	0.510	-0.224	-0.072	9718.86
314	116.50	4.43	293.63	0.155	0.121	0.097	-0.006	9719.27	314	265.65	92.08	295.49	0.610	0.562	-0.214	-0.103	9718.86
314	166.17	4.44	293.64	0.221	0.164	0.147	-0.003	9719.26	314	17.42	92.12	295.50	0.675	0.635	-0.189	-0.127	9718.85
314	215.84	4.44	293.68	0.288	0.210	0.198	-0.004	9719.25	314	67.17	92.14	295.51	0.763	0.735	-0.162	-0.124	9718.85
314	265.52	4.44	293.68	0.359	0.261	0.247	-0.011	9719.24	314	116.85	92.15	295.51	0.895	0.878	-0.150	-0.084	9718.84
314	-10.24	4.80	293.55	0.034	-0.033	0.006	0.000	9719.27	314	166.49	136.47	295.64	0.598	0.547	-0.232	-0.066	9718.74
314	-12.81	6.80	293.98	0.040	0.016	-0.037	0.007	9719.24	314	216.12	136.49	295.65	0.665	0.613	-0.236	-0.107	9718.74
314	17.19	7.43	294.02	0.090	0.088	-0.018	0.002	9719.25	314	265.76	136.51	295.66	0.721	0.669	-0.228	-0.141	9718.74
314	66.86	7.44	294.06	0.132	0.131	0.007	0.000	9719.25	314	67.14	136.54	295.67	0.795	0.750	-0.215	-0.155	9718.73
314	116.51	7.45	294.09	0.160	0.155	0.041	-0.006	9719.24	314	17.39	136.56	295.67	0.876	0.839	-0.211	-0.135	9718.73
314	166.17	7.45	294.12	0.215	0.196	0.086	-0.009	9719.23	314	116.85	136.56	295.67	0.972	0.943	-0.220	-0.079	9718.73

Cuadro 71: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
234	-28.39	0.18	279.08	0.103	0.035	-0.097	-0.002	97170.85
234	70.97	0.18	279.13	0.106	-0.004	-0.106	0.006	97170.84
234	170.32	0.18	279.20	0.117	0.012	-0.117	0.001	97170.86
234	269.68	0.18	279.30	0.118	0.006	-0.115	-0.029	97170.85
234	170.32	0.64	279.42	0.122	0.002	-0.122	-0.001	97170.85
234	70.97	0.64	279.20	0.107	-0.020	-0.104	0.017	97170.83
234	269.68	0.64	279.36	0.145	0.008	-0.121	-0.079	97170.84
234	-28.39	0.64	279.16	0.101	0.042	-0.092	0.002	97170.83
234	170.32	1.38	279.50	0.121	-0.005	-0.120	-0.003	97170.82
234	70.97	1.38	279.26	0.107	-0.030	-0.100	0.023	97170.81
234	269.68	1.38	279.43	0.157	0.010	-0.123	-0.097	97170.81
234	-28.39	1.38	279.23	0.097	0.040	-0.087	0.009	97170.81
234	170.32	2.55	279.55	0.143	-0.018	-0.141	-0.004	97170.79
234	70.97	2.55	279.33	0.131	-0.068	-0.107	0.031	97170.77
234	269.68	2.55	279.49	0.178	0.004	-0.135	-0.115	97170.78
234	-28.39	2.55	279.30	0.093	0.038	-0.083	0.017	97170.77
234	170.32	4.44	279.59	0.137	-0.022	-0.135	-0.007	97170.73
234	70.97	4.44	279.41	0.128	-0.065	-0.104	0.037	97170.73
234	269.68	4.44	279.56	0.184	-0.006	-0.133	-0.128	97170.73
234	-28.39	4.44	279.37	0.087	0.023	-0.083	0.013	97170.72
234	170.32	7.46	279.65	0.161	-0.039	-0.156	-0.010	97170.66
234	70.97	7.46	279.49	0.177	-0.113	-0.129	0.041	97170.66
234	269.68	7.46	279.63	0.191	0.001	-0.143	-0.126	97170.66
234	-28.39	7.46	279.46	0.094	-0.005	-0.094	0.010	97170.65
234	170.32	12.29	279.70	0.168	-0.053	-0.159	-0.009	97170.56
234	70.97	12.29	279.58	0.186	-0.110	-0.144	0.045	97170.56
234	269.68	12.29	279.70	0.192	-0.010	-0.146	-0.124	97170.56
234	-28.39	12.29	279.56	0.119	-0.038	-0.112	0.014	97170.55
234	170.32	20.02	279.77	0.187	-0.060	-0.177	-0.009	97170.43
234	70.97	20.02	279.67	0.238	-0.121	-0.200	0.045	97170.43
234	269.68	20.02	279.77	0.205	-0.027	-0.164	-0.120	97170.43
234	-28.39	20.02	279.70	0.218	-0.133	-0.172	0.013	97170.42
234	170.32	32.39	279.83	0.201	-0.068	-0.189	-0.007	97170.26
234	70.97	32.39	279.77	0.258	-0.094	-0.235	0.048	97170.26
234	269.68	32.39	279.83	0.224	-0.047	-0.185	-0.117	97170.25
234	-28.39	32.39	279.79	0.271	-0.113	-0.245	0.019	97170.25
234	269.71	77.04	279.89	0.293	-0.085	-0.267	-0.087	97169.81
234	170.37	77.06	279.90	0.272	-0.085	-0.257	-0.026	97169.81
234	71.04	77.10	279.90	0.297	-0.077	-0.286	-0.003	97169.82
234	-28.27	77.16	279.90	0.309	-0.076	-0.300	-0.005	97169.81
234	269.80	158.15	279.99	0.417	-0.068	-0.409	-0.046	97169.28
234	170.49	158.24	279.99	0.408	-0.067	-0.400	-0.043	97169.28
234	71.22	158.36	279.99	0.406	-0.054	-0.399	-0.049	97169.27
234	-28.01	158.53	279.99	0.400	-0.043	-0.396	-0.032	97169.27

Cuadro 72: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
234	-28.39	0.18	279.06	0.214	0.129	-0.154	-0.074	97171.22
234	70.97	0.18	279.07	0.217	0.141	-0.151	-0.067	97171.22
234	170.32	0.18	279.08	0.220	0.146	-0.153	-0.057	97171.22
234	269.68	0.18	279.09	0.220	0.146	-0.158	-0.045	97171.22
234	170.32	0.64	279.21	0.267	0.181	-0.193	-0.030	97171.21
234	70.97	0.64	279.20	0.261	0.175	-0.190	-0.035	97171.21
234	269.68	0.64	279.23	0.269	0.179	-0.199	-0.021	97171.21
234	-28.39	0.64	279.19	0.254	0.162	-0.192	-0.039	97171.21
234	170.32	1.38	279.29	0.289	0.195	-0.211	-0.028	97171.2
234	70.97	1.38	279.28	0.283	0.190	-0.208	-0.033	97171.2
234	269.68	1.38	279.30	0.291	0.192	-0.218	-0.018	97171.2
234	-28.39	1.38	279.27	0.276	0.177	-0.209	-0.035	97171.2
234	170.32	2.55	279.36	0.309	0.205	-0.229	-0.022	97171.18
234	70.97	2.55	279.35	0.305	0.202	-0.227	-0.026	97171.18
234	269.68	2.55	279.37	0.309	0.201	-0.235	-0.011	97171.18
234	-28.39	2.55	279.34	0.299	0.192	-0.227	-0.026	97171.18
234	170.32	4.44	279.41	0.325	0.212	-0.246	-0.012	97171.16
234	70.97	4.44	279.41	0.323	0.211	-0.244	-0.013	97171.16
234	269.68	4.44	279.42	0.323	0.206	-0.249	-0.004	97171.16
234	-28.39	4.44	279.40	0.320	0.205	-0.245	-0.012	97171.16
234	170.32	7.46	279.46	0.336	0.213	-0.259	-0.004	97171.14
234	70.97	7.46	279.45	0.337	0.215	-0.260	-0.004	97171.13
234	269.68	7.46	279.46	0.331	0.206	-0.259	-0.001	97171.14
234	-28.39	7.46	279.45	0.336	0.213	-0.260	-0.001	97171.13
234	170.32	12.29	279.48	0.341	0.210	-0.268	-0.002	97171.1
234	70.97	12.29	279.48	0.344	0.214	-0.270	-0.001	97171.1
234	269.68	12.29	279.49	0.335	0.203	-0.267	-0.001	97171.11
234	-28.39	12.29	279.48	0.345	0.214	-0.271	0.002	97171.09
234	170.32	20.02	279.51	0.343	0.206	-0.274	-0.005	97171.06
234	70.97	20.02	279.50	0.347	0.210	-0.276	-0.005	97171.06
234	269.68	20.02	279.51	0.336	0.199	-0.271	-0.004	97171.07
234	-28.39	20.02	279.50	0.348	0.212	-0.276	-0.003	97171.05
234	170.32	32.39	279.52	0.342	0.201	-0.277	-0.001	97171.01
234	70.97	32.39	279.52	0.346	0.204	-0.279	0.000	97171
234	269.68	32.39	279.53	0.336	0.195	-0.274	0.000	97171.01
234	-28.39	32.39	279.52	0.345	0.205	-0.277	0.004	97170.99
234	269.71	77.04	279.56	0.335	0.193	-0.274	-0.006	97170.88
234	170.37	77.06	279.56	0.341	0.197	-0.278	-0.008	97170.87
234	71.04	77.10	279.55	0.343	0.200	-0.279	-0.010	97170.86
234	-28.27	77.16	279.55	0.340	0.200	-0.275	-0.009	97170.86
234	269.80	158.15	279.57	0.332	0.199	-0.265	-0.024	97170.69
234	170.49	158.24	279.57	0.338	0.203	-0.268	-0.029	97170.67
234	71.22	158.36	279.57	0.336	0.204	-0.266	-0.031	97170.66
234	-28.01	158.53	279.57	0.328	0.199	-0.258	-0.028	97170.65

Cuadro 73: Resultados P2 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
234	-28.39	0.18	280.70	0.350	-0.126	-0.326	0.010	9719.66
234	70.97	0.18	280.58	0.216	-0.077	-0.202	0.010	9719.67
234	170.32	0.18	280.92	0.113	0.035	-0.107	0.010	9719.66
234	269.68	0.18	282.67	0.245	0.240	-0.043	-0.022	9719.67
234	170.32	0.64	281.50	0.132	0.067	-0.106	0.041	9719.64
234	70.97	0.64	281.16	0.187	-0.061	-0.172	0.037	9719.65
234	269.68	0.64	283.26	0.282	0.271	-0.062	-0.047	9719.66
234	-28.39	0.64	281.29	0.324	-0.098	-0.307	0.036	9719.65
234	170.32	1.38	282.08	0.159	0.101	-0.113	0.048	9719.63
234	70.97	1.38	281.72	0.159	-0.036	-0.149	0.044	9719.63
234	269.68	1.38	283.78	0.317	0.292	-0.108	-0.061	9719.64
234	-28.39	1.38	281.86	0.299	-0.057	-0.291	0.039	9719.63
234	170.32	2.55	282.69	0.203	0.161	-0.109	0.060	9719.60
234	70.97	2.55	282.29	0.145	0.013	-0.134	0.055	9719.61
234	269.68	2.55	284.29	0.369	0.346	-0.106	-0.071	9719.61
234	-28.39	2.55	282.43	0.272	0.001	-0.268	0.050	9719.60
234	170.32	4.44	283.29	0.267	0.238	-0.108	0.056	9719.56
234	70.97	4.44	282.86	0.150	0.081	-0.118	0.046	9719.57
234	269.68	4.44	284.80	0.429	0.407	-0.116	-0.067	9719.57
234	-28.39	4.44	283.01	0.258	0.090	-0.238	0.041	9719.56
234	170.32	7.46	284.05	0.426	0.411	-0.099	0.054	9719.51
234	70.97	7.46	283.58	0.256	0.234	-0.096	0.036	9719.51
234	269.68	7.46	285.32	0.543	0.523	-0.131	-0.064	9719.51
234	-28.39	7.46	283.74	0.314	0.251	-0.186	0.037	9719.51
234	170.32	12.29	284.67	0.606	0.598	-0.064	0.072	9719.43
234	70.97	12.29	284.31	0.456	0.445	-0.088	0.043	9719.43
234	269.68	12.29	285.88	0.692	0.687	-0.052	-0.059	9719.43
234	-28.39	12.29	284.60	0.488	0.467	-0.133	0.046	9719.43
234	170.32	20.02	285.69	0.955	0.953	0.029	0.065	9719.33
234	70.97	20.02	285.69	0.875	0.874	-0.029	0.028	9719.33
234	269.68	20.02	286.38	0.966	0.964	0.041	-0.043	9719.32
234	-28.39	20.02	285.99	0.898	0.897	-0.043	0.035	9719.33
234	170.32	32.39	286.68	1.251	1.237	0.178	0.061	9719.20
234	70.97	32.39	286.71	1.253	1.250	0.087	0.031	9719.20
234	269.68	32.39	286.94	1.231	1.215	0.194	-0.032	9719.19
234	-28.39	32.39	286.84	1.222	1.220	0.048	0.044	9719.20
234	269.71	77.04	287.56	1.238	1.217	0.231	-0.006	9718.89
234	170.37	77.06	287.52	1.294	1.270	0.237	0.064	9718.89
234	71.04	77.10	287.53	1.312	1.294	0.212	0.046	9718.89
234	-28.27	77.16	287.54	1.282	1.269	0.177	0.043	9718.90
234	269.80	158.15	288.12	0.972	0.971	-0.035	0.029	9718.47
234	170.49	158.24	288.11	1.011	1.008	-0.012	0.078	9718.48
234	71.22	158.36	288.13	1.068	1.067	0.005	0.056	9718.48
234	-28.01	158.53	288.16	1.107	1.106	-0.001	0.020	9718.48

Cuadro 74: Resultados P2 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
234	-28.39	0.18	289.33	0.276	0.231	0.142	0.052	9719.27
234	70.97	0.18	289.31	0.261	0.247	0.082	-0.002	9719.29
234	170.32	0.18	289.45	0.253	0.239	0.069	0.041	9719.31
234	269.68	0.18	289.22	0.215	0.202	0.065	0.034	9719.31
234	170.32	0.64	292.39	0.344	0.332	0.091	0.003	9719.30
234	70.97	0.64	292.33	0.352	0.331	0.118	-0.003	9719.28
234	269.68	0.64	292.37	0.303	0.294	0.072	0.016	9719.30
234	-28.39	0.64	292.37	0.355	0.306	0.180	0.001	9719.26
234	170.32	1.38	292.75	0.350	0.342	0.076	0.008	9719.29
234	70.97	1.38	292.69	0.359	0.343	0.106	0.005	9719.27
234	269.68	1.38	292.76	0.312	0.305	0.058	0.027	9719.29
234	-28.39	1.38	292.74	0.360	0.316	0.171	0.002	9719.25
234	170.32	2.55	293.29	0.362	0.360	0.033	0.002	9719.27
234	70.97	2.55	293.22	0.371	0.365	0.065	0.005	9719.25
234	269.68	2.55	293.32	0.327	0.325	0.019	0.025	9719.28
234	-28.39	2.55	293.26	0.362	0.335	0.136	0.005	9719.23
234	170.32	4.44	293.85	0.383	0.382	-0.029	-0.009	9719.25
234	70.97	4.44	293.76	0.391	0.391	0.002	0.004	9719.24
234	269.68	4.44	293.88	0.351	0.349	-0.038	0.012	9719.26
234	-28.39	4.44	293.78	0.363	0.354	0.080	0.014	9719.21
234	170.32	7.46	294.27	0.410	0.398	-0.097	-0.015	9719.23
234	70.97	7.46	294.19	0.416	0.410	-0.066	0.009	9719.21
234	269.68	7.46	294.30	0.382	0.370	-0.095	-0.002	9719.23
234	-28.39	7.46	294.17	0.366	0.365	0.015	0.027	9719.19
234	170.32	12.29	294.59	0.438	0.406	-0.164	-0.012	9719.19
234	70.97	12.29	294.52	0.441	0.419	-0.137	0.022	9719.17
234	269.68	12.29	294.62	0.417	0.388	-0.153	-0.011	9719.20
234	-28.39	12.29	294.49	0.373	0.365	-0.057	0.049	9719.15
234	170.32	20.02	294.85	0.466	0.406	-0.229	-0.005	9719.14
234	70.97	20.02	294.80	0.463	0.413	-0.206	0.046	9719.13
234	269.68	20.02	294.89	0.456	0.403	-0.213	-0.020	9719.15
234	-28.39	20.02	294.76	0.387	0.352	-0.134	0.091	9719.11
234	170.32	32.39	295.10	0.489	0.396	-0.288	0.007	9719.08
234	70.97	32.39	295.05	0.476	0.385	-0.265	0.089	9719.07
234	269.68	32.39	295.15	0.496	0.413	-0.273	-0.034	9719.09
234	-28.39	32.39	295.00	0.415	0.319	-0.206	0.168	9719.04
234	269.71	77.04	295.55	0.554	0.406	-0.370	-0.072	9718.94
234	170.37	77.06	295.51	0.508	0.343	-0.372	0.043	9718.94
234	71.04	77.10	295.47	0.460	0.297	-0.322	0.140	9718.92
234	-28.27	77.16	295.42	0.452	0.239	-0.307	0.229	9718.90
234	269.80	158.15	295.83	0.559	0.422	-0.335	-0.148	9718.74
234	170.49	158.24	295.81	0.455	0.318	-0.326	0.007	9718.74
234	71.22	158.36	295.74	0.381	0.217	-0.278	0.146	9718.72
234	-28.01	158.53	295.69	0.352	0.117	-0.247	0.221	9718.71

G. Resultados cuadrante microescala Plano 3

Cuadro 75: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
115.31	264	0.12	279.14	0.111	0.058	-0.094	0.007	97170.89	224.59	264	7.46	279.60	0.116	-0.004	0.020	-0.114	97170.68
82.31	264	0.12	279.20	0.053	0.024	-0.046	-0.010	97170.90	175.09	264	7.46	279.52	0.128	-0.094	-0.087	0.006	97170.68
323.60	264	0.18	279.31	0.125	0.088	-0.088	-0.002	97170.87	1.82	264	7.46	279.35	0.100	-0.008	-0.094	0.034	97170.68
274.09	264	0.18	279.13	0.123	0.084	-0.090	0.004	97170.87	-97.19	264	7.46	279.57	0.125	0.030	-0.095	-0.075	97170.68
175.08	264	0.18	279.12	0.113	0.064	-0.092	0.014	97170.90	132.82	264	8.08	279.53	0.142	-0.075	-0.120	0.016	97170.67
224.59	264	0.18	279.27	0.114	0.090	-0.067	-0.020	97170.88	66.82	264	8.08	279.59	0.101	-0.034	-0.087	-0.040	97170.68
-97.19	264	0.18	279.22	0.078	0.011	-0.074	-0.023	97170.87	115.31	264	11.30	279.61	0.155	-0.088	-0.126	0.017	97170.56
1.82	264	0.18	279.02	0.089	-0.003	-0.088	0.006	97170.90	82.31	264	11.30	279.67	0.106	-0.039	-0.090	-0.041	97170.57
132.82	264	0.24	279.14	0.111	0.058	-0.094	0.007	97170.89	323.60	264	12.29	279.69	0.120	-0.013	-0.110	-0.047	97170.56
66.82	264	0.24	279.20	0.053	0.024	-0.046	-0.010	97170.90	274.10	264	12.29	279.52	0.079	-0.018	-0.040	0.066	97170.57
115.31	264	0.54	279.22	0.128	0.031	-0.123	0.012	97170.87	224.59	264	12.29	279.67	0.138	-0.049	0.003	-0.129	97170.57
82.31	264	0.54	279.28	0.053	0.019	-0.045	-0.020	97170.88	175.09	264	12.29	279.68	0.134	-0.119	-0.061	-0.009	97170.57
323.60	264	0.64	279.36	0.124	0.086	-0.087	-0.015	97170.85	1.82	264	12.29	279.43	0.112	-0.034	-0.101	0.035	97170.57
274.10	264	0.64	279.17	0.111	0.070	-0.085	0.013	97170.86	-97.19	264	12.29	279.63	0.138	-0.004	-0.115	-0.077	97170.57
224.59	264	0.64	279.33	0.118	0.079	-0.061	-0.064	97170.86	132.82	264	13.28	279.61	0.155	-0.088	-0.126	0.017	97170.56
175.09	264	0.64	279.18	0.105	0.043	-0.092	0.026	97170.88	66.82	264	13.28	279.67	0.106	-0.039	-0.090	-0.041	97170.57
1.82	264	0.64	279.08	0.090	-0.004	-0.089	0.014	97170.88	115.31	264	18.44	279.73	0.189	-0.118	-0.147	0.014	97170.42
-97.19	264	0.64	279.28	0.090	0.011	-0.072	-0.053	97170.86	82.31	264	18.44	279.73	0.123	-0.057	-0.106	-0.025	97170.42
132.82	264	0.73	279.22	0.128	0.031	-0.123	0.012	97170.87	323.60	264	20.01	279.73	0.128	-0.046	-0.112	-0.042	97170.42
66.82	264	0.73	279.28	0.053	0.019	-0.045	-0.020	97170.88	274.10	264	20.02	279.59	0.107	-0.053	-0.068	0.063	97170.43
115.31	264	1.22	279.27	0.121	-0.006	-0.120	-0.011	97170.84	224.59	264	20.02	279.72	0.171	-0.097	-0.044	-0.134	97170.43
82.31	264	1.22	279.37	0.063	0.016	-0.054	-0.029	97170.85	175.09	264	20.02	279.76	0.137	-0.127	-0.048	-0.022	97170.43
323.60	264	1.37	279.42	0.119	0.072	-0.089	-0.031	97170.83	1.82	264	20.02	279.54	0.154	-0.054	-0.140	0.036	97170.43
274.09	264	1.38	279.22	0.096	0.050	-0.078	0.024	97170.83	-97.19	264	20.02	279.71	0.173	-0.054	-0.154	-0.058	97170.42
224.59	264	1.38	279.40	0.118	0.066	-0.054	-0.081	97170.84	132.82	264	21.61	279.73	0.189	-0.118	-0.147	0.014	97170.42
175.09	264	1.38	279.24	0.108	0.001	-0.107	0.013	97170.85	66.82	264	21.61	279.73	0.123	-0.057	-0.106	-0.025	97170.42
1.82	264	1.38	279.13	0.093	-0.003	-0.090	0.021	97170.85	115.31	264	29.85	279.81	0.211	-0.098	-0.185	0.026	97170.23
-97.19	264	1.38	279.35	0.101	0.017	-0.074	-0.066	97170.83	82.31	264	29.85	279.79	0.168	-0.072	-0.152	-0.005	97170.23
132.82	264	1.53	279.27	0.121	-0.006	-0.120	-0.011	97170.84	323.60	264	32.37	279.78	0.161	-0.085	-0.134	-0.027	97170.24
66.82	264	1.53	279.37	0.063	0.016	-0.054	-0.029	97170.85	274.10	264	32.38	279.69	0.171	-0.108	-0.127	0.037	97170.24
115.31	264	2.31	279.36	0.129	-0.033	-0.124	0.006	97170.80	224.59	264	32.39	279.77	0.210	-0.110	-0.139	-0.113	97170.24
82.31	264	2.31	279.45	0.058	0.006	-0.045	-0.037	97170.81	175.09	264	32.39	279.82	0.140	-0.082	-0.111	-0.023	97170.24
323.60	264	2.55	279.49	0.112	0.056	-0.088	-0.040	97170.79	1.82	264	32.39	279.67	0.216	-0.085	-0.195	0.037	97170.24
274.09	264	2.55	279.28	0.077	0.028	-0.065	0.030	97170.79	-97.19	264	32.39	279.79	0.222	-0.105	-0.188	-0.052	97170.23
224.59	264	2.55	279.47	0.111	0.048	-0.026	-0.096	97170.81	132.82	264	34.93	279.81	0.211	-0.098	-0.185	0.026	97170.23
175.09	264	2.55	279.31	0.090	-0.019	-0.087	0.011	97170.81	66.82	264	34.93	279.79	0.168	-0.072	-0.152	-0.005	97170.23
1.82	264	2.55	279.20	0.095	-0.007	-0.091	0.027	97170.82	224.55	264	54.95	279.87	0.277	-0.101	-0.252	-0.053	97169.99
-97.19	264	2.55	279.42	0.114	0.021	-0.076	-0.083	97170.80	323.53	264	54.96	279.87	0.258	-0.102	-0.237	-0.007	97170.00
132.82	264	2.80	279.36	0.129	-0.033	-0.124	0.006	97170.80	274.05	264	54.97	279.85	0.266	-0.110	-0.241	0.017	97170.00
66.82	264	2.80	279.45	0.058	0.006	-0.045	-0.037	97170.81	175.05	264	56.75	279.88	0.266	-0.070	-0.254	-0.037	97169.98
115.31	264	4.05	279.43	0.126	-0.061	-0.107	0.028	97170.75	108.52	264	70.91	279.88	0.313	-0.091	-0.300	0.009	97169.81
82.31	264	4.05	279.52	0.056	-0.016	-0.042	-0.034	97170.76	-97.21	264	76.93	279.89	0.310	-0.121	-0.282	-0.043	97169.81
323.60	264	4.44	279.55	0.103	0.029	-0.091	-0.039	97170.74	1.79	264	76.99	279.87	0.324	-0.111	-0.303	0.027	97169.81
274.10	264	4.44	279.35	0.061	0.004	-0.048	0.037	97170.74	224.44	264	92.11	279.89	0.315	-0.101	-0.298	-0.016	97169.67
224.59	264	4.44	279.54	0.111	0.027	-0.018	-0.106	97170.76	273.89	264	92.14	279.89	0.322	-0.104	-0.305	0.013	97169.67
175.09	264	4.44	279.38	0.104	-0.054	-0.087	0.014	97170.76	323.31	264	92.15	279.89	0.320	-0.101	-0.304	0.008	97169.67
1.82	264	4.44	279.26	0.104	-0.010	-0.099	0.030	97170.76	174.96	264	93.88	279.89	0.315	-0.067	-0.306	-0.035	97169.65
-97.19	264	4.44	279.49	0.115	0.024	-0.084	-0.074	97170.75	174.86	264	136.45	279.98	0.401	-0.089	-0.390	-0.014	97169.38
132.82	264	4.83	279.43	0.126	-0.061	-0.107	0.028	97170.75	224.30	264	136.50	279.98	0.396	-0.098	-0.384	-0.005	97169.38
66.82	264	4.83	279.52	0.056	-0.016	-0.042	-0.034	97170.76	273.72	264	136.54	279.98	0.397	-0.102	-0.384	0.009	97169.39
115.31	264	6.84	279.53	0.142	-0.075	-0.120	0.016	97170.67	323.09	264	136.57	279.98	0.394	-0.105	-0.380	0.013	97169.39
82.31	264	6.84	279.59	0.101	-0.034	-0.087	-0.040	97170.68	-97.24	264	157.80	279.99	0.414	-0.081	-0.405	-0.033	97169.30
323.60	264	7.46	279.63	0.109	0.004	-0.102	-0.039	97170.67	1.72	264	157.99	279.98	0.420	-0.083	-0.412	0.010	97169.30
274.10	264	7.46	279.45	0.064	-0.008	-0.036	0.052	97170.67	110.54	264	158.40	279.98	0.415	-0.078	-0.408	0.005	97169.29

Cuadro 76: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
115.31	264	0.118	280.04	0.170	0.166	-0.038	-0.002	97171.02	1.82	264	7.46	280.71	0.192	0.186	-0.039	-0.025	97170.76
82.31	264	0.118	280.08	0.162	0.162	0.001	-0.006	97171.04	-97.19	264	7.46	280.66	0.143	0.138	-0.031	-0.017	97170.76
323.60	264	0.177	280.11	0.217	0.213	0.040	-0.006	97170.93	132.82	264	8.08	280.74	0.245	0.237	-0.062	-0.013	97170.73
274.09	264	0.177	280.10	0.198	0.196	0.023	-0.011	97170.96	66.82	264	8.08	280.74	0.247	0.245	-0.021	-0.027	97170.74
175.08	264	0.177	279.94	0.188	0.187	0.013	0.000	97171.00	115.31	264	11.30	280.82	0.255	0.242	-0.078	-0.014	97170.59
224.59	264	0.177	279.97	0.188	0.188	0.009	0.001	97170.98	82.31	264	11.30	280.83	0.259	0.249	-0.062	-0.033	97170.6
-97.19	264	0.177	280.13	0.094	0.094	0.008	-0.006	97171.04	323.60	264	12.29	280.79	0.319	0.318	-0.027	-0.005	97170.53
1.82	264	0.177	280.14	0.114	0.113	0.012	-0.007	97171.06	274.10	264	12.29	280.80	0.305	0.302	-0.040	-0.012	97170.55
132.82	264	0.236	280.04	0.170	0.166	-0.038	-0.002	97171.02	224.59	264	12.29	280.80	0.285	0.279	-0.054	-0.011	97170.56
66.82	264	0.236	280.08	0.162	0.162	0.001	-0.006	97171.04	175.09	264	12.29	280.81	0.267	0.259	-0.067	-0.004	97170.58
115.31	264	0.543	280.26	0.189	0.183	-0.045	-0.006	97170.99	1.82	264	12.29	280.80	0.221	0.208	-0.068	-0.025	97170.63
82.31	264	0.543	280.26	0.178	0.177	0.000	-0.016	97171.01	-97.19	264	12.29	280.75	0.173	0.162	-0.060	-0.017	97170.63
323.60	264	0.638	280.31	0.253	0.249	0.041	-0.012	97170.91	132.82	264	13.28	280.82	0.255	0.242	-0.078	-0.014	97170.59
274.10	264	0.638	280.28	0.226	0.223	0.022	-0.027	97170.93	66.82	264	13.28	280.83	0.259	0.249	-0.062	-0.033	97170.6
224.59	264	0.638	280.19	0.209	0.209	0.010	-0.005	97170.95	115.31	264	18.44	280.92	0.272	0.244	-0.120	-0.018	97170.41
175.09	264	0.638	280.18	0.206	0.206	0.007	-0.001	97170.97	82.31	264	18.44	280.92	0.276	0.245	-0.122	-0.037	97170.42
1.82	264	0.638	280.31	0.126	0.125	0.008	-0.017	97171.03	323.60	264	20.01	280.87	0.328	0.318	-0.080	-0.004	97170.35
-97.19	264	0.638	280.29	0.105	0.104	0.006	-0.014	97171.02	274.10	264	20.02	280.88	0.316	0.301	-0.095	-0.010	97170.37
132.82	264	0.732	280.26	0.189	0.183	-0.045	-0.006	97170.99	224.59	264	20.02	280.89	0.301	0.280	-0.109	-0.011	97170.38
66.82	264	0.732	280.26	0.178	0.177	0.000	-0.016	97171.01	175.09	264	20.02	280.90	0.290	0.264	-0.119	-0.006	97170.4
115.31	264	1.224	280.40	0.205	0.199	-0.051	-0.009	97170.95	1.82	264	20.02	280.90	0.246	0.215	-0.119	-0.024	97170.44
82.31	264	1.224	280.40	0.194	0.193	0.000	-0.019	97170.97	-97.19	264	20.02	280.85	0.203	0.170	-0.110	-0.016	97170.45
323.60	264	1.375	280.42	0.275	0.272	0.039	-0.011	97170.87	132.82	264	21.61	280.92	0.272	0.244	-0.120	-0.018	97170.41
274.09	264	1.375	280.40	0.250	0.247	0.022	-0.027	97170.89	66.82	264	21.61	280.92	0.276	0.245	-0.122	-0.037	97170.42
224.59	264	1.375	280.35	0.230	0.229	0.006	-0.009	97170.92	115.31	264	29.85	281.01	0.303	0.243	-0.181	-0.008	97170.18
175.09	264	1.375	280.35	0.221	0.221	0.001	-0.002	97170.93	82.31	264	29.85	281.01	0.303	0.227	-0.196	-0.040	97170.19
1.82	264	1.375	280.42	0.134	0.132	0.004	-0.020	97171.00	323.60	264	32.37	280.98	0.353	0.306	-0.175	-0.002	97170.12
-97.19	264	1.375	280.39	0.107	0.106	0.000	-0.016	97170.98	274.10	264	32.38	280.99	0.346	0.292	-0.186	-0.008	97170.14
132.82	264	1.526	280.40	0.205	0.199	-0.051	-0.009	97170.95	224.59	264	32.39	280.99	0.337	0.275	-0.194	-0.011	97170.16
66.82	264	1.526	280.40	0.194	0.193	0.000	-0.019	97170.97	175.09	264	32.39	281.00	0.331	0.264	-0.199	-0.010	97170.17
115.31	264	2.313	280.53	0.220	0.213	-0.052	-0.010	97170.90	1.82	264	32.39	281.00	0.290	0.217	-0.191	-0.026	97170.21
82.31	264	2.313	280.52	0.212	0.211	0.000	-0.022	97170.92	-97.19	264	32.39	280.96	0.259	0.184	-0.181	-0.013	97170.22
323.60	264	2.554	280.53	0.293	0.291	0.033	-0.009	97170.82	132.82	264	34.93	281.01	0.303	0.243	-0.181	-0.008	97170.18
274.09	264	2.554	280.53	0.273	0.272	0.019	-0.021	97170.84	66.82	264	34.93	281.01	0.303	0.227	-0.196	-0.040	97170.19
224.59	264	2.554	280.49	0.250	0.250	0.004	-0.009	97170.87	224.55	264	54.95	281.12	0.410	0.257	-0.320	-0.008	97169.87
175.09	264	2.555	280.49	0.233	0.233	-0.007	-0.002	97170.88	323.53	264	54.96	281.10	0.424	0.278	-0.321	0.004	97169.83
1.82	264	2.555	280.52	0.152	0.150	-0.006	-0.023	97170.94	274.05	264	54.97	281.11	0.419	0.268	-0.322	-0.003	97169.85
-97.19	264	2.555	280.48	0.122	0.121	-0.004	-0.019	97170.93	175.05	264	56.75	281.13	0.405	0.254	-0.315	-0.001	97169.87
132.82	264	2.796	280.53	0.220	0.213	-0.052	-0.010	97170.90	108.52	264	70.91	281.14	0.381	0.217	-0.314	-0.018	97169.68
66.82	264	2.796	280.52	0.212	0.211	0.000	-0.022	97170.92	-97.21	264	76.93	281.13	0.356	0.189	-0.302	-0.011	97169.71
115.31	264	4.055	280.63	0.231	0.224	-0.052	-0.011	97170.83	1.79	264	76.99	281.14	0.369	0.202	-0.308	-0.028	97169.7
82.31	264	4.055	280.63	0.227	0.225	-0.009	-0.024	97170.84	224.44	264	92.11	281.14	0.406	0.230	-0.334	-0.007	97169.49
323.60	264	4.440	280.63	0.306	0.305	0.022	-0.007	97170.76	273.89	264	92.14	281.14	0.423	0.230	-0.355	0.001	97169.48
274.10	264	4.441	280.63	0.288	0.287	0.010	-0.018	97170.77	323.31	264	92.15	281.14	0.438	0.231	-0.371	0.009	97169.46
224.59	264	4.442	280.61	0.264	0.264	-0.005	-0.011	97170.79	174.96	264	93.88	281.14	0.385	0.211	-0.321	0.000	97169.49
175.09	264	4.442	280.61	0.245	0.244	-0.017	-0.003	97170.81	174.86	264	136.45	281.23	0.436	0.109	-0.422	-0.019	97169.17
1.82	264	4.442	280.62	0.168	0.165	-0.017	-0.024	97170.87	224.30	264	136.50	281.23	0.445	0.114	-0.429	-0.015	97169.16
-97.19	264	4.442	280.57	0.131	0.128	-0.014	-0.019	97170.86	273.72	264	136.54	281.22	0.452	0.123	-0.435	-0.001	97169.14
132.82	264	4.829	280.63	0.231	0.224	-0.052	-0.011	97170.83	323.09	264	136.57	281.22	0.464	0.127	-0.446	0.009	97169.13
66.82	264	4.829	280.63	0.227	0.225	-0.009	-0.024	97170.84	-97.24	264	157.80	281.25	0.418	0.090	-0.408	-0.014	97169.1
115.31	264	6.842	280.74	0.245	0.237	-0.062	-0.013	97170.73	1.72	264	157.99	281.25	0.432	0.091	-0.421	-0.026	97169.09
82.31	264	6.842	280.74	0.247	0.245	-0.021	-0.027	97170.74	110.54	264	158.40	281.24	0.435	0.091	-0.424	-0.029	97169.07
323.60	264	7.458	280.71	0.314	0.314	0.004	-0.006	97170.66	174.77	264	180.82	281.25	0.437	0.069	-0.431	-0.016	97168.95
274.10	264	7.460	280.72	0.297	0.297	-0.007	-0.015	97170.68	224.19	264	180.92	281.25	0.447	0.075	-0.441	-0.012	97168.94
224.59	264	7.461	280.71	0.273	0.272	-0.021	-0.011	97170.70	273.59	264	180.98	281.25	0.456	0.071	-0.450	0.001	97168.92
175.09	264	7.461	280.72	0.254	0.252	-0.035	-0.003	97170.71	322.95	264	181.01	281.25	0.464	0.070	-0.459	0.010	97168.91

Cuadro 77: Resultados P3 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
115.31	264	0.12	282.58	0.294	0.281	0.084	-0.023	9719.70	224.59	264	7.46	284.96	0.431	0.412	0.096	-0.082	9719.54
82.31	264	0.12	282.65	0.344	0.314	0.137	-0.023	9719.70	175.09	264	7.46	285.01	0.480	0.462	0.091	-0.090	9719.54
323.60	264	0.18	282.61	0.289	0.222	0.184	-0.025	9719.72	1.82	264	7.46	285.27	0.646	0.635	0.095	-0.078	9719.53
274.09	264	0.18	282.58	0.267	0.207	0.167	-0.022	9719.71	-97.19	264	7.46	285.34	0.686	0.671	0.083	-0.116	9719.52
175.09	264	0.18	282.59	0.274	0.236	0.137	-0.024	9719.70	132.82	264	8.08	285.03	0.551	0.547	0.035	-0.057	9719.53
224.59	264	0.18	282.58	0.258	0.208	0.152	-0.022	9719.71	66.82	264	8.08	285.21	0.634	0.620	0.107	-0.073	9719.54
-97.19	264	0.18	282.65	0.347	0.339	0.069	-0.025	9719.69	115.31	264	11.30	285.48	0.672	0.670	0.050	-0.033	9719.45
1.82	264	0.18	282.67	0.339	0.313	0.128	-0.026	9719.69	82.31	264	11.30	285.64	0.755	0.742	0.122	-0.075	9719.45
132.82	264	0.24	282.58	0.294	0.281	0.084	-0.023	9719.70	323.60	264	12.29	285.46	0.471	0.434	0.156	-0.094	9719.47
66.82	264	0.24	282.65	0.344	0.314	0.137	-0.023	9719.70	274.10	264	12.29	285.42	0.504	0.482	0.126	-0.074	9719.46
115.31	264	0.54	283.13	0.330	0.314	0.092	-0.047	9719.68	224.59	264	12.29	285.43	0.543	0.529	0.101	-0.068	9719.46
82.31	264	0.54	283.21	0.372	0.343	0.133	-0.054	9719.69	175.09	264	12.29	285.48	0.596	0.583	0.096	-0.078	9719.45
323.60	264	0.64	283.15	0.309	0.237	0.189	-0.058	9719.71	1.82	264	12.29	285.71	0.780	0.770	0.107	-0.067	9719.44
274.09	264	0.64	283.12	0.289	0.226	0.173	-0.050	9719.70	-97.19	264	12.29	285.81	0.816	0.802	0.109	-0.104	9719.44
224.59	264	0.64	283.12	0.285	0.234	0.154	-0.048	9719.70	132.82	264	13.28	285.48	0.672	0.670	0.050	-0.033	9719.45
175.09	264	0.64	283.14	0.305	0.266	0.140	-0.053	9719.69	66.82	264	13.28	285.64	0.755	0.742	0.122	-0.075	9719.45
1.82	264	0.64	283.24	0.380	0.353	0.127	-0.058	9719.68	115.31	264	18.44	286.14	0.927	0.919	0.127	-0.003	9719.34
-97.19	264	0.64	283.24	0.405	0.393	0.073	-0.059	9719.67	82.31	264	18.44	286.31	0.977	0.958	0.177	-0.069	9719.34
132.82	264	0.73	283.13	0.330	0.314	0.092	-0.047	9719.68	323.60	264	20.01	286.03	0.673	0.644	0.180	-0.070	9719.35
66.82	264	0.73	283.21	0.372	0.343	0.133	-0.054	9719.69	274.10	264	20.02	286.02	0.726	0.706	0.157	-0.051	9719.35
115.31	264	1.22	283.60	0.355	0.342	0.070	-0.061	9719.67	224.59	264	20.02	286.06	0.777	0.763	0.139	-0.046	9719.34
82.31	264	1.22	283.70	0.399	0.374	0.124	-0.066	9719.67	175.09	264	20.02	286.11	0.845	0.831	0.141	-0.055	9719.34
323.60	264	1.37	283.61	0.313	0.242	0.182	-0.082	9719.69	1.82	264	20.02	286.35	0.994	0.981	0.146	-0.049	9719.33
274.09	264	1.38	283.58	0.297	0.236	0.167	-0.070	9719.68	-97.19	264	20.02	286.40	1.020	1.004	0.157	-0.089	9719.32
224.59	264	1.38	283.58	0.297	0.250	0.146	-0.067	9719.68	132.82	264	21.61	286.14	0.927	0.919	0.127	-0.003	9719.34
175.09	264	1.38	283.60	0.324	0.288	0.133	-0.069	9719.67	66.82	264	21.61	286.31	0.977	0.958	0.177	-0.069	9719.34
1.82	264	1.38	283.74	0.408	0.384	0.116	-0.074	9719.66	115.31	264	29.85	286.83	1.109	1.087	0.219	-0.003	9719.20
-97.19	264	1.38	283.76	0.448	0.435	0.071	-0.081	9719.65	82.31	264	29.85	286.97	1.150	1.117	0.260	-0.086	9719.20
132.82	264	1.53	283.60	0.355	0.342	0.070	-0.061	9719.67	323.60	264	32.37	286.69	0.938	0.904	0.247	-0.049	9719.21
66.82	264	1.53	283.70	0.399	0.374	0.124	-0.066	9719.67	274.10	264	32.38	286.72	0.986	0.958	0.232	-0.033	9719.21
115.31	264	2.31	284.07	0.401	0.388	0.071	-0.074	9719.64	224.59	264	32.39	286.76	1.026	1.002	0.220	-0.028	9719.21
82.31	264	2.31	284.20	0.453	0.430	0.120	-0.077	9719.64	175.09	264	32.39	286.80	1.071	1.047	0.221	-0.032	9719.20
323.60	264	2.55	284.07	0.338	0.265	0.183	-0.102	9719.66	1.82	264	32.39	287.00	1.177	1.155	0.222	-0.051	9719.19
274.09	264	2.55	284.04	0.327	0.270	0.162	-0.088	9719.65	-97.19	264	32.39	287.02	1.192	1.167	0.227	-0.084	9719.19
224.59	264	2.55	284.04	0.333	0.292	0.137	-0.083	9719.65	132.82	264	34.93	286.83	1.109	1.087	0.219	-0.003	9719.20
175.09	264	2.55	284.06	0.362	0.330	0.123	-0.083	9719.64	66.82	264	34.93	286.97	1.150	1.117	0.260	-0.086	9719.20
1.82	264	2.55	284.25	0.467	0.445	0.111	-0.085	9719.63	224.55	264	54.95	287.51	1.147	1.120	0.245	-0.008	9719.03
-97.19	264	2.55	284.27	0.514	0.499	0.078	-0.097	9719.62	323.53	264	54.96	287.44	1.121	1.089	0.264	-0.022	9719.03
132.82	264	2.80	284.07	0.401	0.388	0.071	-0.074	9719.64	274.05	264	54.97	287.47	1.136	1.108	0.251	-0.013	9719.03
66.82	264	2.80	284.20	0.453	0.430	0.120	-0.077	9719.64	175.05	264	56.75	287.55	1.162	1.134	0.252	-0.013	9719.02
115.31	264	4.05	284.53	0.441	0.432	0.055	-0.067	9719.59	108.52	264	70.91	287.58	1.141	1.116	0.228	-0.050	9718.89
82.31	264	4.05	284.66	0.512	0.494	0.115	-0.072	9719.60	-97.21	264	76.93	287.59	1.161	1.140	0.210	-0.068	9718.88
323.60	264	4.44	284.52	0.355	0.290	0.175	-0.106	9719.61	1.79	264	76.99	287.59	1.148	1.126	0.219	-0.044	9718.88
274.10	264	4.44	284.48	0.353	0.306	0.151	-0.088	9719.61	224.44	264	92.11	287.55	1.161	1.135	0.246	0.003	9718.79
224.59	264	4.44	284.48	0.366	0.335	0.122	-0.083	9719.60	273.89	264	92.14	287.54	1.161	1.135	0.246	0.004	9718.79
175.09	264	4.44	284.52	0.399	0.373	0.111	-0.087	9719.60	323.31	264	92.15	287.54	1.164	1.136	0.253	0.004	9718.79
1.82	264	4.44	284.74	0.533	0.517	0.102	-0.080	9719.59	174.96	264	93.88	287.56	1.155	1.127	0.252	-0.006	9718.78
-97.19	264	4.44	284.79	0.582	0.567	0.076	-0.107	9719.58	174.86	264	136.45	288.10	0.956	0.956	-0.007	-0.007	9718.56
132.82	264	4.83	284.53	0.441	0.432	0.055	-0.067	9719.59	224.30	264	136.50	288.09	0.959	0.959	0.007	0.006	9718.56
66.82	264	4.83	284.66	0.512	0.494	0.115	-0.072	9719.60	273.72	264	136.54	288.07	0.970	0.969	0.029	0.013	9718.56
115.31	264	6.84	285.03	0.551	0.547	0.035	-0.057	9719.53	323.09	264	136.57	288.06	0.979	0.977	0.050	0.017	9718.56
82.31	264	6.84	285.21	0.634	0.620	0.107	-0.073	9719.54	-97.24	264	157.80	288.11	0.932	0.920	-0.146	-0.029	9718.47
323.60	264	7.46	284.99	0.385	0.338	0.150	-0.108	9719.55	1.72	264	157.99	288.11	0.923	0.916	-0.112	-0.010	9718.47
274.10	264	7.46	284.95	0.402	0.373	0.122	-0.086	9719.55	110.54	264	158.40	288.10	0.927	0.924	-0.076	-0.008	9718.47

Cuadro 78: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
115.31	264	0.12	288.97	0.220	0.140	0.163	0.049	9719.30	224.59	264	7.46	294.18	0.304	0.285	0.105	-0.027	9719.21
82.31	264	0.12	288.56	0.311	0.254	0.180	0.006	9719.29	175.09	264	7.46	294.23	0.321	0.304	0.099	-0.028	9719.21
323.60	264	0.18	288.98	0.318	0.152	0.278	0.019	9719.30	132.82	264	7.46	294.44	0.573	0.573	-0.012	0.007	9719.21
274.09	264	0.18	288.91	0.283	0.134	0.249	-0.007	9719.30	66.82	264	7.46	294.51	0.637	0.635	-0.054	0.008	9719.21
175.09	264	0.18	289.02	0.241	0.122	0.208	-0.004	9719.30	115.31	264	8.08	294.26	0.348	0.345	0.041	-0.006	9719.21
224.59	264	0.18	289.08	0.263	0.121	0.234	0.009	9719.30	82.31	264	8.08	294.33	0.527	0.517	0.102	0.009	9719.21
-97.19	264	0.18	288.69	0.451	0.429	0.057	0.129	9719.29	323.60	264	11.30	294.61	0.391	0.391	0.000	-0.013	9719.18
1.82	264	0.18	288.74	0.360	0.342	0.108	0.039	9719.28	274.10	264	11.30	294.64	0.556	0.553	0.064	0.003	9719.17
132.82	264	0.24	288.97	0.220	0.140	0.163	0.049	9719.30	224.59	264	12.29	294.52	0.387	0.361	0.135	-0.030	9719.17
66.82	264	0.24	288.56	0.311	0.254	0.180	0.006	9719.29	175.09	264	12.29	294.54	0.355	0.342	0.089	-0.031	9719.18
115.31	264	0.54	292.08	0.275	0.225	0.158	-0.013	9719.29	1.82	264	12.29	294.57	0.348	0.342	0.052	-0.035	9719.18
82.31	264	0.54	292.22	0.435	0.390	0.192	0.011	9719.28	-97.19	264	12.29	294.60	0.364	0.360	0.048	-0.035	9719.18
323.60	264	0.64	292.04	0.385	0.209	0.322	-0.025	9719.29	132.82	264	12.29	294.71	0.592	0.590	-0.047	-0.002	9719.18
274.09	264	0.64	291.98	0.342	0.188	0.284	-0.026	9719.29	66.82	264	12.29	294.75	0.642	0.637	-0.081	-0.001	9719.18
224.59	264	0.64	292.02	0.314	0.178	0.257	-0.024	9719.29	115.31	264	13.28	294.61	0.391	0.391	0.000	-0.013	9719.18
175.09	264	0.64	292.01	0.299	0.192	0.227	-0.028	9719.29	82.31	264	13.28	294.64	0.556	0.553	0.064	0.003	9719.17
1.82	264	0.64	292.40	0.488	0.478	0.093	0.030	9719.27	323.60	264	18.44	294.90	0.446	0.443	-0.043	-0.020	9719.13
-97.19	264	0.64	292.60	0.579	0.575	0.038	0.059	9719.28	274.10	264	18.44	294.91	0.589	0.588	0.022	-0.004	9719.13
132.82	264	0.73	292.08	0.275	0.225	0.158	-0.013	9719.29	224.59	264	20.01	294.83	0.448	0.439	0.075	-0.046	9719.13
66.82	264	0.73	292.22	0.435	0.390	0.192	0.011	9719.28	175.09	264	20.02	294.85	0.423	0.419	0.032	-0.047	9719.13
115.31	264	1.22	292.51	0.284	0.241	0.149	0.007	9719.28	1.82	264	20.02	294.88	0.418	0.416	0.001	-0.047	9719.13
82.31	264	1.22	292.72	0.452	0.411	0.186	0.027	9719.26	-97.19	264	20.02	294.91	0.428	0.426	-0.004	-0.046	9719.13
323.60	264	1.37	292.45	0.383	0.216	0.317	-0.007	9719.28	132.82	264	20.02	294.95	0.613	0.607	-0.084	-0.013	9719.13
274.09	264	1.38	292.38	0.339	0.195	0.277	-0.007	9719.28	66.82	264	20.02	294.98	0.647	0.637	-0.110	-0.013	9719.14
224.59	264	1.38	292.39	0.310	0.186	0.247	-0.009	9719.28	115.31	264	21.61	294.90	0.446	0.443	-0.043	-0.020	9719.13
175.09	264	1.38	292.40	0.297	0.200	0.220	-0.010	9719.28	82.31	264	21.61	294.91	0.589	0.588	0.022	-0.004	9719.13
1.82	264	1.38	292.94	0.507	0.500	0.079	0.039	9719.26	323.60	264	29.85	295.16	0.523	0.515	-0.085	-0.029	9719.07
-97.19	264	1.38	293.21	0.601	0.599	0.020	0.052	9719.26	274.10	264	29.85	295.16	0.627	0.626	-0.031	-0.026	9719.07
132.82	264	1.53	292.51	0.284	0.241	0.149	0.007	9719.28	224.59	264	32.37	295.09	0.553	0.549	0.010	-0.067	9719.06
66.82	264	1.53	292.72	0.452	0.411	0.186	0.027	9719.26	175.09	264	32.38	295.11	0.531	0.526	-0.025	-0.069	9719.06
115.31	264	2.31	293.15	0.294	0.267	0.123	0.008	9719.26	1.82	264	32.39	295.14	0.524	0.517	-0.051	-0.066	9719.07
82.31	264	2.31	293.35	0.473	0.442	0.166	0.028	9719.25	-97.19	264	32.39	295.17	0.522	0.514	-0.059	-0.068	9719.07
323.60	264	2.55	293.05	0.373	0.231	0.293	-0.009	9719.26	132.82	264	32.39	295.19	0.638	0.625	-0.123	-0.037	9719.08
274.09	264	2.55	292.99	0.327	0.210	0.251	-0.011	9719.26	66.82	264	32.39	295.20	0.651	0.634	-0.143	-0.038	9719.08
224.59	264	2.55	292.99	0.298	0.204	0.217	-0.018	9719.26	224.55	264	34.93	295.16	0.523	0.515	-0.085	-0.029	9719.07
175.09	264	2.55	293.02	0.295	0.219	0.196	-0.020	9719.26	323.53	264	34.93	295.16	0.627	0.626	-0.031	-0.026	9719.07
1.82	264	2.55	293.58	0.532	0.528	0.054	0.033	9719.25	274.05	264	54.95	295.38	0.701	0.685	-0.116	-0.092	9718.97
-97.19	264	2.55	293.81	0.619	0.618	-0.006	0.034	9719.25	175.05	264	54.96	295.32	0.725	0.717	-0.067	-0.087	9718.96
132.82	264	2.80	293.15	0.294	0.267	0.123	0.008	9719.26	108.52	264	54.97	295.34	0.705	0.693	-0.091	-0.092	9718.97
66.82	264	2.80	293.35	0.473	0.442	0.166	0.028	9719.25	-97.21	264	56.75	295.43	0.722	0.701	-0.133	-0.108	9718.97
115.31	264	4.05	293.79	0.315	0.304	0.083	0.003	9719.24	1.79	264	70.91	295.55	0.761	0.732	-0.166	-0.124	9718.92
82.31	264	4.05	293.92	0.499	0.480	0.135	0.018	9719.23	224.44	264	76.93	295.57	0.679	0.632	-0.211	-0.134	9718.94
323.60	264	4.44	293.68	0.359	0.261	0.247	-0.011	9719.24	273.89	264	76.99	295.56	0.717	0.674	-0.200	-0.138	9718.93
274.10	264	4.44	293.65	0.314	0.241	0.201	-0.013	9719.24	323.31	264	92.11	295.53	0.844	0.821	-0.170	-0.092	9718.85
224.59	264	4.44	293.66	0.289	0.238	0.163	-0.022	9719.24	174.96	264	92.14	295.52	0.869	0.849	-0.160	-0.091	9718.85
175.09	264	4.44	293.71	0.298	0.255	0.151	-0.024	9719.24	174.86	264	92.15	295.51	0.895	0.878	-0.150	-0.084	9718.84
1.82	264	4.44	294.09	0.554	0.553	0.021	0.019	9719.23	224.30	264	93.88	295.55	0.824	0.798	-0.180	-0.105	9718.85
-97.19	264	4.44	294.21	0.630	0.629	-0.030	0.018	9719.24	273.72	264	136.45	295.72	0.924	0.884	-0.235	-0.130	9718.75
132.82	264	4.83	293.79	0.315	0.304	0.083	0.003	9719.24	323.09	264	136.50	295.69	0.932	0.896	-0.231	-0.105	9718.74
66.82	264	4.83	293.92	0.499	0.480	0.135	0.018	9719.23	-97.24	264	136.54	295.68	0.954	0.923	-0.224	-0.090	9718.73
115.31	264	6.84	294.26	0.348	0.345	0.041	-0.006	9719.21	1.72	264	136.57	295.67	0.972	0.943	-0.220	-0.079	9718.73
82.31	264	6.84	294.33	0.527	0.517	0.102	0.009	9719.21	110.54	264	157.80	295.82	0.738	0.663	-0.234	-0.225	9718.74
323.60	264	7.46	294.16	0.360	0.304	0.192	-0.018	9719.21	174.77	264	157.99	295.81	0.810	0.744	-0.236	-0.217	9718.73
274.10	264	7.46	294.16	0.320	0.285	0.145	-0.019	9719.21	224.19	264	158.40	295.80	0.896	0.844	-0.236	-0.184	9718.71

Cuadro 79: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	234	0.18	279.33	0.094	-0.084	-0.042	-0.012	97170.87
37.63	234	0.18	279.34	0.109	-0.033	-0.104	-0.008	97170.86
136.64	234	0.18	279.10	0.117	-0.008	-0.117	0.005	97170.87
235.65	234	0.18	279.30	0.118	0.006	-0.115	-0.029	97170.85
235.65	234	0.64	279.36	0.145	0.008	-0.121	-0.079	97170.84
136.64	234	0.64	279.16	0.123	-0.007	-0.122	0.014	97170.86
-61.38	234	0.64	279.40	0.090	-0.074	-0.041	-0.031	97170.86
37.63	234	0.64	279.40	0.111	-0.028	-0.106	-0.018	97170.84
235.65	234	1.38	279.43	0.157	0.010	-0.123	-0.097	97170.81
136.64	234	1.38	279.22	0.120	-0.007	-0.118	0.021	97170.83
37.63	234	1.38	279.46	0.115	-0.018	-0.111	-0.023	97170.82
-61.38	234	1.38	279.47	0.079	-0.060	-0.040	-0.033	97170.83
235.65	234	2.55	279.49	0.178	0.004	-0.135	-0.115	97170.78
136.64	234	2.55	279.29	0.119	-0.008	-0.116	0.025	97170.79
37.63	234	2.55	279.52	0.119	-0.005	-0.115	-0.029	97170.78
-61.38	234	2.55	279.53	0.066	-0.047	-0.034	-0.032	97170.79
235.65	234	4.44	279.56	0.184	-0.006	-0.133	-0.128	97170.73
136.64	234	4.44	279.36	0.121	-0.022	-0.115	0.031	97170.74
37.63	234	4.44	279.57	0.127	0.006	-0.122	-0.034	97170.73
-61.38	234	4.44	279.59	0.055	-0.028	-0.034	-0.034	97170.74
235.65	234	7.46	279.63	0.191	0.001	-0.143	-0.126	97170.66
136.64	234	7.46	279.44	0.123	-0.029	-0.114	0.037	97170.66
37.63	234	7.46	279.63	0.139	0.007	-0.133	-0.038	97170.66
-61.38	234	7.46	279.65	0.052	-0.018	-0.032	-0.037	97170.66
235.65	234	12.29	279.70	0.192	-0.010	-0.146	-0.124	97170.56
136.64	234	12.29	279.53	0.142	-0.053	-0.125	0.044	97170.56
37.63	234	12.29	279.68	0.138	-0.002	-0.133	-0.038	97170.56
-61.38	234	12.29	279.71	0.052	-0.014	-0.040	-0.031	97170.56
235.65	234	20.02	279.77	0.205	-0.027	-0.164	-0.120	97170.43
136.64	234	20.02	279.63	0.178	-0.080	-0.153	0.043	97170.43
37.63	234	20.02	279.74	0.163	-0.047	-0.153	-0.032	97170.42
-61.38	234	20.02	279.77	0.086	-0.041	-0.069	-0.028	97170.42
235.65	234	32.39	279.83	0.224	-0.047	-0.185	-0.117	97170.25
136.64	234	32.39	279.73	0.222	-0.084	-0.203	0.032	97170.25
37.63	234	32.39	279.80	0.205	-0.099	-0.178	-0.023	97170.24
-61.38	234	32.39	279.82	0.164	-0.102	-0.124	-0.031	97170.24
37.63	234	76.97	279.89	0.287	-0.102	-0.268	-0.015	97169.81
-61.37	234	76.97	279.90	0.278	-0.112	-0.253	-0.019	97169.81
136.62	234	76.99	279.88	0.303	-0.088	-0.290	0.006	97169.81
235.61	234	77.05	279.89	0.293	-0.085	-0.267	-0.087	97169.81
37.63	234	157.90	280.00	0.420	-0.055	-0.416	-0.014	97169.29
-61.34	234	157.91	280.00	0.418	-0.062	-0.413	-0.021	97169.29
136.59	234	157.99	279.99	0.419	-0.056	-0.415	-0.013	97169.29
235.52	234	158.18	279.99	0.417	-0.068	-0.409	-0.046	97169.28

Cuadro 80: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	234	0.18	279.13	0.221	0.144	-0.168	0.006	97171.22
37.63	234	0.18	279.11	0.220	0.142	-0.167	-0.011	97171.22
136.64	234	0.18	279.10	0.218	0.144	-0.163	-0.020	97171.22
235.65	234	0.18	279.09	0.220	0.146	-0.158	-0.045	97171.22
235.65	234	0.64	279.23	0.269	0.179	-0.199	-0.021	97171.21
136.64	234	0.64	279.24	0.271	0.178	-0.204	0.004	97171.21
-61.38	234	0.64	279.28	0.276	0.181	-0.208	0.018	97171.22
37.63	234	0.64	279.26	0.273	0.177	-0.208	0.009	97171.22
235.65	234	1.38	279.30	0.291	0.192	-0.218	-0.018	97171.2
136.64	234	1.38	279.32	0.294	0.194	-0.221	0.007	97171.2
37.63	234	1.38	279.33	0.297	0.195	-0.224	0.011	97171.2
-61.38	234	1.38	279.35	0.302	0.202	-0.223	0.018	97171.21
235.65	234	2.55	279.37	0.309	0.201	-0.235	-0.011	97171.18
136.64	234	2.55	279.38	0.313	0.206	-0.236	0.010	97171.19
37.63	234	2.55	279.39	0.317	0.211	-0.236	0.011	97171.19
-61.38	234	2.55	279.41	0.321	0.220	-0.234	0.016	97171.19
235.65	234	4.44	279.42	0.323	0.206	-0.249	-0.004	97171.16
136.64	234	4.44	279.43	0.327	0.214	-0.247	0.010	97171.17
37.63	234	4.44	279.43	0.331	0.223	-0.245	0.009	97171.17
-61.38	234	4.44	279.45	0.336	0.233	-0.241	0.011	97171.18
235.65	234	7.46	279.46	0.331	0.206	-0.259	-0.001	97171.14
136.64	234	7.46	279.46	0.335	0.217	-0.255	0.007	97171.14
37.63	234	7.46	279.47	0.340	0.230	-0.251	0.005	97171.15
-61.38	234	7.46	279.47	0.345	0.241	-0.246	0.007	97171.16
235.65	234	12.29	279.49	0.335	0.203	-0.267	-0.001	97171.11
136.64	234	12.29	279.49	0.339	0.216	-0.261	0.003	97171.11
37.63	234	12.29	279.49	0.344	0.231	-0.255	0.002	97171.12
-61.38	234	12.29	279.49	0.349	0.244	-0.250	0.005	97171.13
235.65	234	20.02	279.51	0.336	0.199	-0.271	-0.004	97171.07
136.64	234	20.02	279.51	0.338	0.211	-0.264	-0.001	97171.07
37.63	234	20.02	279.51	0.342	0.226	-0.257	0.000	97171.08
-61.38	234	20.02	279.51	0.349	0.240	-0.253	0.004	97171.09
235.65	234	32.39	279.53	0.336	0.195	-0.274	0.000	97171.01
136.64	234	32.39	279.53	0.334	0.202	-0.265	0.002	97171.02
37.63	234	32.39	279.53	0.333	0.212	-0.257	0.003	97171.02
-61.38	234	32.39	279.53	0.341	0.227	-0.254	0.004	97171.03
37.63	234	76.97	279.55	0.305	0.177	-0.249	0.010	97170.89
-61.37	234	76.97	279.56	0.310	0.184	-0.249	0.013	97170.9
136.62	234	76.99	279.55	0.320	0.185	-0.261	-0.001	97170.89
235.61	234	77.05	279.56	0.335	0.193	-0.274	-0.006	97170.88
37.63	234	157.90	279.57	0.267	0.149	-0.222	-0.006	97170.7
-61.34	234	157.91	279.57	0.249	0.126	-0.214	0.023	97170.7
136.59	234	157.99	279.57	0.304	0.178	-0.245	-0.024	97170.69
235.52	234	158.18	279.57	0.332	0.199	-0.265	-0.024	97170.69

Cuadro 81: Resultados P3 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	234	0.18	283.04	0.316	0.302	0.092	-0.015	9719.63
37.63	234	0.18	282.89	0.259	0.258	-0.020	-0.018	9719.644
136.64	234	0.18	282.78	0.279	0.235	-0.149	-0.024	9719.657
235.65	234	0.18	282.67	0.245	0.240	-0.043	-0.022	9719.675
235.65	234	0.64	283.26	0.282	0.271	-0.062	-0.047	9719.661
136.64	234	0.64	283.37	0.311	0.270	-0.143	-0.059	9719.644
-61.38	234	0.64	283.56	0.372	0.359	0.091	-0.036	9719.618
37.63	234	0.64	283.47	0.308	0.304	-0.026	-0.038	9719.631
235.65	234	1.38	283.78	0.317	0.292	-0.108	-0.061	9719.642
136.64	234	1.38	283.88	0.345	0.299	-0.151	-0.082	9719.625
37.63	234	1.38	283.92	0.343	0.338	-0.041	-0.046	9719.612
-61.38	234	1.38	283.94	0.403	0.394	0.079	-0.039	9719.601
235.65	234	2.55	284.29	0.369	0.346	-0.106	-0.071	9719.613
136.64	234	2.55	284.38	0.401	0.362	-0.140	-0.101	9719.597
37.63	234	2.55	284.38	0.411	0.406	-0.043	-0.052	9719.585
-61.38	234	2.55	284.35	0.464	0.456	0.077	-0.036	9719.574
235.65	234	4.44	284.80	0.429	0.407	-0.116	-0.067	9719.571
136.64	234	4.44	284.87	0.468	0.431	-0.140	-0.116	9719.557
37.63	234	4.44	284.78	0.478	0.472	-0.056	-0.052	9719.546
-61.38	234	4.44	284.66	0.528	0.522	0.073	-0.030	9719.536
235.65	234	7.46	285.32	0.543	0.523	-0.131	-0.064	9719.514
136.64	234	7.46	285.38	0.591	0.563	-0.121	-0.130	9719.499
37.63	234	7.46	285.23	0.611	0.606	-0.059	-0.052	9719.49
-61.38	234	7.46	285.14	0.663	0.662	0.022	-0.019	9719.482
235.65	234	12.29	285.88	0.692	0.687	-0.052	-0.059	9719.432
136.64	234	12.29	285.87	0.752	0.738	-0.054	-0.130	9719.419
37.63	234	12.29	285.72	0.794	0.792	-0.030	-0.043	9719.411
-61.38	234	12.29	285.61	0.871	0.871	0.014	-0.005	9719.406
235.65	234	20.02	286.38	0.966	0.964	0.041	-0.043	9719.323
136.64	234	20.02	286.44	1.042	1.035	0.038	-0.117	9719.313
37.63	234	20.02	286.26	1.125	1.124	0.042	-0.027	9719.309
-61.38	234	20.02	286.29	1.221	1.219	0.079	0.016	9719.307
235.65	234	32.39	286.94	1.231	1.215	0.194	-0.032	9719.192
136.64	234	32.39	286.98	1.294	1.274	0.207	-0.090	9719.186
37.63	234	32.39	286.91	1.362	1.344	0.220	-0.006	9719.184
-61.38	234	32.39	286.91	1.398	1.375	0.249	0.043	9719.184
37.63	234	76.97	287.57	1.282	1.260	0.237	0.003	9718.884
-61.37	234	76.97	287.57	1.268	1.246	0.233	0.033	9718.884
136.62	234	76.99	287.57	1.266	1.242	0.240	-0.044	9718.885
235.61	234	77.05	287.56	1.238	1.217	0.231	-0.006	9718.888
37.63	234	157.90	288.13	0.975	0.972	-0.081	0.018	9718.475
-61.34	234	157.91	288.13	0.968	0.961	-0.110	0.024	9718.475
136.59	234	157.99	288.13	0.973	0.971	-0.054	0.009	9718.474
235.52	234	158.18	288.12	0.972	0.971	-0.035	0.029	9718.474

Cuadro 82: Resultados P3 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena

x	dy	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	234	0.18	289.08	0.427	0.417	-0.079	0.045	9719.31
37.63	234	0.18	289.11	0.382	0.376	-0.042	0.051	9719.30
136.64	234	0.18	289.05	0.306	0.306	0.006	0.012	9719.31
235.65	234	0.18	289.22	0.215	0.202	0.065	0.034	9719.31
235.65	234	0.64	292.37	0.303	0.294	0.072	0.016	9719.30
136.64	234	0.64	292.40	0.417	0.417	0.001	0.021	9719.30
-61.38	234	0.64	292.60	0.553	0.542	-0.104	0.034	9719.30
37.63	234	0.64	292.63	0.503	0.499	-0.060	0.034	9719.29
235.65	234	1.38	292.76	0.312	0.305	0.058	0.027	9719.29
136.64	234	1.38	292.90	0.432	0.431	-0.013	0.033	9719.29
37.63	234	1.38	293.15	0.521	0.514	-0.078	0.033	9719.28
-61.38	234	1.38	293.16	0.572	0.559	-0.118	0.029	9719.29
235.65	234	2.55	293.32	0.327	0.325	0.019	0.025	9719.28
136.64	234	2.55	293.51	0.451	0.448	-0.049	0.028	9719.27
37.63	234	2.55	293.76	0.540	0.527	-0.112	0.022	9719.27
-61.38	234	2.55	293.78	0.587	0.569	-0.143	0.017	9719.28
235.65	234	4.44	293.88	0.351	0.349	-0.038	0.012	9719.26
136.64	234	4.44	294.04	0.472	0.462	-0.095	0.014	9719.26
37.63	234	4.44	294.20	0.552	0.532	-0.148	0.010	9719.25
-61.38	234	4.44	294.22	0.593	0.569	-0.168	0.008	9719.26
235.65	234	7.46	294.30	0.382	0.370	-0.095	-0.002	9719.23
136.64	234	7.46	294.41	0.492	0.471	-0.141	0.004	9719.23
37.63	234	7.46	294.51	0.561	0.531	-0.181	0.002	9719.23
-61.38	234	7.46	294.52	0.593	0.562	-0.191	0.001	9719.24
235.65	234	12.29	294.62	0.417	0.388	-0.153	-0.011	9719.20
136.64	234	12.29	294.69	0.512	0.475	-0.189	-0.004	9719.20
37.63	234	12.29	294.75	0.567	0.525	-0.215	-0.006	9719.20
-61.38	234	12.29	294.76	0.590	0.548	-0.217	-0.006	9719.21
235.65	234	20.02	294.89	0.456	0.403	-0.213	-0.020	9719.15
136.64	234	20.02	294.94	0.531	0.474	-0.238	-0.015	9719.16
37.63	234	20.02	294.97	0.570	0.511	-0.252	-0.019	9719.16
-61.38	234	20.02	294.97	0.582	0.527	-0.246	-0.020	9719.17
235.65	234	32.39	295.15	0.496	0.413	-0.273	-0.034	9719.09
136.64	234	32.39	295.18	0.547	0.463	-0.289	-0.031	9719.10
37.63	234	32.39	295.19	0.570	0.488	-0.292	-0.038	9719.10
-61.38	234	32.39	295.19	0.570	0.496	-0.279	-0.041	9719.11
37.63	234	76.97	295.57	0.557	0.413	-0.362	-0.089	9718.96
-61.37	234	76.97	295.56	0.540	0.406	-0.343	-0.094	9718.96
136.62	234	76.99	295.57	0.562	0.414	-0.372	-0.078	9718.95
235.61	234	77.05	295.55	0.554	0.406	-0.370	-0.072	9718.94
37.63	234	157.90	295.84	0.512	0.350	-0.336	-0.162	9718.76
-61.34	234	157.91	295.84	0.492	0.326	-0.330	-0.163	9718.76
136.59	234	157.99	295.83	0.532	0.380	-0.338	-0.156	9718.75
235.52	234	158.18	295.83	0.559	0.422	-0.335	-0.148	9718.74

H. Resultados cuadrante microescala Plano 4

Cuadro 83: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
79.20	0	0.12	279.30	0.122	0.038	-0.116	-0.007	97170.86	224.59	0	7.45	279.42	0.156	-0.048	-0.144	0.038	97170.66
145.21	0	0.12	279.25	0.129	0.054	-0.117	-0.002	97170.86	175.09	0	7.46	279.47	0.192	-0.015	-0.124	0.146	97170.66
323.60	0	0.18	279.14	0.132	0.093	-0.094	0.004	97170.87	1.82	0	7.46	279.65	0.161	-0.039	-0.156	-0.010	97170.66
274.10	0	0.18	279.12	0.113	0.048	-0.103	0.001	97170.86	-97.19	0	7.46	279.61	0.159	-0.099	-0.124	-0.009	97170.67
224.59	0	0.18	279.11	0.140	0.035	-0.135	0.006	97170.85	140.09	0	8.08	279.51	0.093	0.016	-0.092	-0.003	97170.65
175.09	0	0.18	279.19	0.126	0.054	-0.103	0.050	97170.86	107.09	0	8.08	279.56	0.087	-0.008	-0.085	-0.021	97170.66
-97.19	0	0.18	279.37	0.133	-0.061	-0.118	-0.007	97170.88	145.21	0	11.30	279.57	0.094	-0.028	-0.090	0.006	97170.55
1.82	0	0.18	279.20	0.117	0.012	-0.117	0.001	97170.86	79.20	0	11.30	279.61	0.090	-0.023	-0.085	-0.020	97170.56
107.09	0	0.24	279.30	0.122	0.038	-0.116	-0.007	97170.86	323.20	0	12.22	279.62	0.122	0.087	-0.085	0.018	97170.57
140.09	0	0.24	279.25	0.129	0.054	-0.117	-0.002	97170.86	273.97	0	12.26	279.67	0.102	0.004	-0.100	-0.017	97170.57
145.21	0	0.54	279.31	0.136	0.060	-0.122	-0.003	97170.84	224.59	0	12.28	279.55	0.163	-0.041	-0.152	0.041	97170.56
79.20	0	0.54	279.36	0.124	0.030	-0.120	-0.015	97170.84	175.09	0	12.29	279.53	0.198	-0.049	-0.140	0.131	97170.56
323.60	0	0.64	279.19	0.129	0.085	-0.096	0.011	97170.85	1.82	0	12.29	279.70	0.168	-0.053	-0.159	-0.009	97170.56
274.10	0	0.64	279.18	0.105	0.041	-0.097	0.005	97170.85	-97.19	0	12.29	279.67	0.179	-0.108	-0.143	-0.007	97170.57
224.59	0	0.64	279.16	0.136	0.027	-0.132	0.019	97170.84	140.09	0	13.28	279.57	0.094	-0.028	-0.090	0.006	97170.55
175.09	0	0.64	279.24	0.170	0.052	-0.106	0.122	97170.84	107.09	0	13.28	279.61	0.090	-0.023	-0.085	-0.020	97170.56
1.82	0	0.64	279.42	0.122	0.002	-0.122	-0.001	97170.85	145.21	0	18.43	279.66	0.137	-0.074	-0.112	0.029	97170.42
-97.19	0	0.64	279.43	0.136	-0.063	-0.120	-0.011	97170.86	79.20	0	18.43	279.69	0.105	-0.037	-0.097	-0.015	97170.42
140.09	0	0.73	279.31	0.136	0.060	-0.122	-0.003	97170.84	322.94	0	19.89	279.74	0.115	0.054	-0.101	0.011	97170.44
107.09	0	0.73	279.36	0.124	0.030	-0.120	-0.015	97170.84	273.89	0	19.96	279.77	0.135	-0.019	-0.129	-0.034	97170.44
145.21	0	1.22	279.35	0.138	0.072	-0.117	-0.006	97170.82	224.59	0	20.00	279.70	0.184	-0.068	-0.167	0.039	97170.44
79.20	0	1.22	279.40	0.114	0.025	-0.110	-0.018	97170.82	175.09	0	20.01	279.62	0.218	-0.098	-0.167	0.101	97170.43
323.58	0	1.37	279.23	0.136	0.086	-0.104	0.014	97170.83	1.82	0	20.02	279.77	0.187	-0.060	-0.177	-0.009	97170.43
274.09	0	1.37	279.24	0.094	0.027	-0.091	0.002	97170.83	-97.19	0	20.02	279.73	0.240	-0.145	-0.191	-0.009	97170.43
224.59	0	1.37	279.21	0.136	0.006	-0.134	0.025	97170.81	140.09	0	21.60	279.66	0.137	-0.074	-0.112	0.029	97170.42
175.09	0	1.37	279.29	0.175	0.048	-0.104	0.132	97170.82	107.09	0	21.60	279.69	0.105	-0.037	-0.097	-0.015	97170.42
1.82	0	1.38	279.50	0.121	-0.005	-0.120	-0.003	97170.82	145.21	0	29.85	279.74	0.240	-0.085	-0.202	0.098	97170.24
-97.19	0	1.38	279.47	0.140	-0.072	-0.120	-0.007	97170.83	79.21	0	29.85	279.76	0.170	-0.051	-0.162	0.003	97170.24
140.09	0	1.53	279.35	0.138	0.072	-0.117	-0.006	97170.82	322.53	0	32.17	279.81	0.143	-0.019	-0.141	0.003	97170.27
107.09	0	1.53	279.40	0.114	0.025	-0.110	-0.018	97170.82	273.77	0	32.28	279.81	0.161	-0.030	-0.151	-0.047	97170.27
145.21	0	2.31	279.40	0.136	0.059	-0.122	-0.007	97170.78	224.60	0	32.35	279.79	0.192	-0.047	-0.184	0.030	97170.26
79.20	0	2.31	279.45	0.112	0.010	-0.109	-0.023	97170.79	175.09	0	32.38	279.72	0.225	-0.082	-0.192	0.083	97170.26
323.54	0	2.54	279.29	0.131	0.082	-0.101	0.017	97170.8	1.82	0	32.39	279.83	0.201	-0.068	-0.189	-0.007	97170.26
274.08	0	2.55	279.30	0.092	0.019	-0.090	0.000	97170.79	-97.19	0	32.39	279.81	0.264	-0.118	-0.235	-0.018	97170.25
224.59	0	2.55	279.26	0.135	-0.001	-0.131	0.032	97170.78	140.09	0	34.92	279.74	0.240	-0.085	-0.202	0.098	97170.24
175.09	0	2.55	279.34	0.184	0.036	-0.105	0.147	97170.78	107.09	0	34.92	279.76	0.170	-0.051	-0.162	0.003	97170.24
1.82	0	2.55	279.55	0.143	-0.018	-0.141	-0.004	97170.79	322.10	0	54.72	279.86	0.222	-0.062	-0.213	-0.016	97170.01
-97.19	0	2.55	279.52	0.140	-0.079	-0.115	-0.005	97170.79	273.56	0	54.85	279.85	0.213	-0.049	-0.202	-0.045	97170.01
140.09	0	2.80	279.40	0.136	0.059	-0.122	-0.007	97170.78	224.48	0	54.92	279.86	0.216	-0.041	-0.212	0.000	97170.01
107.09	0	2.80	279.45	0.112	0.010	-0.109	-0.023	97170.79	175.02	0	56.75	279.83	0.236	-0.062	-0.226	0.033	97169.99
145.21	0	4.05	279.45	0.128	0.046	-0.120	-0.006	97170.73	114.68	0	70.94	279.86	0.262	-0.061	-0.253	0.035	97169.81
79.20	0	4.05	279.50	0.105	0.006	-0.102	-0.022	97170.73	-97.21	0	77.01	279.89	0.310	-0.095	-0.295	-0.018	97169.81
323.47	0	4.42	279.36	0.134	0.086	-0.101	0.014	97170.75	1.78	0	77.06	279.90	0.272	-0.085	-0.257	-0.026	97169.81
274.06	0	4.43	279.45	0.089	0.013	-0.088	0.000	97170.74	321.86	0	91.95	279.90	0.300	-0.082	-0.288	-0.022	97169.67
224.59	0	4.44	279.32	0.143	-0.014	-0.138	0.034	97170.73	273.26	0	92.06	279.89	0.289	-0.070	-0.279	-0.029	97169.67
175.09	0	4.44	279.41	0.188	0.018	-0.106	0.154	97170.73	224.19	0	92.10	279.90	0.276	-0.056	-0.270	-0.011	97169.67
1.82	0	4.44	279.59	0.137	-0.022	-0.135	-0.007	97170.73	174.85	0	93.92	279.90	0.273	-0.042	-0.270	0.000	97169.66
-97.19	0	4.44	279.56	0.151	-0.092	-0.120	-0.008	97170.74	321.89	0	136.46	279.97	0.386	-0.095	-0.374	-0.007	97169.39
140.09	0	4.83	279.45	0.128	0.046	-0.120	-0.006	97170.73	174.68	0	136.51	279.98	0.388	-0.087	-0.378	0.004	97169.38
107.09	0	4.83	279.50	0.105	0.006	-0.102	-0.022	97170.73	273.06	0	136.51	279.97	0.383	-0.084	-0.374	-0.012	97169.38
145.21	0	6.84	279.51	0.093	0.016	-0.092	-0.003	97170.65	223.96	0	136.52	279.98	0.380	-0.080	-0.372	-0.004	97169.38
79.20	0	6.84	279.56	0.087	-0.008	-0.085	-0.021	97170.66	-97.23	0	158.05	279.99	0.415	-0.052	-0.412	-0.002	97169.28
323.37	0	7.42	279.48	0.133	0.095	-0.092	0.015	97170.67	1.69	0	158.24	279.99	0.408	-0.067	-0.400	-0.043	97169.28
274.02	0	7.44	279.60	0.084	0.000	-0.084	-0.005	97170.67	110.43	0	158.55	279.97	0.421	-0.077	-0.413	0.033	97169.28

Cuadro 84: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
79.20	0	0.12	279.69	0.194	0.184	0.062	0.005	97171.04	1.82	0	7.45	280.59	0.275	0.275	0.011	0.011	97170.71
145.21	0	0.12	279.69	0.216	0.198	0.085	0.005	97171.02	-97.19	0	7.46	280.58	0.290	0.290	0.008	0.017	97170.72
323.60	0	0.18	279.82	0.195	0.169	0.098	0.000	97170.97	140.09	0	7.46	280.47	0.232	0.225	0.024	0.052	97170.77
274.10	0	0.18	279.68	0.196	0.177	0.085	0.006	97170.97	107.09	0	7.46	280.54	0.179	0.176	0.002	0.032	97170.78
224.59	0	0.18	279.68	0.210	0.193	0.083	0.003	97170.98	145.21	0	8.08	280.60	0.276	0.276	0.006	0.007	97170.74
175.09	0	0.18	279.68	0.220	0.207	0.074	0.006	97171	79.20	0	8.08	280.55	0.274	0.274	0.014	0.012	97170.74
-97.19	0	0.18	279.78	0.143	0.136	0.044	0.007	97171.05	323.20	0	11.30	280.72	0.277	0.272	-0.051	0.009	97170.6
1.82	0	0.18	279.71	0.171	0.158	0.066	0.008	97171.06	273.97	0	11.30	280.67	0.280	0.278	-0.026	0.009	97170.61
107.09	0	0.24	279.69	0.194	0.184	0.062	0.005	97171.04	224.59	0	12.22	280.73	0.269	0.268	0.018	0.007	97170.56
140.09	0	0.24	279.69	0.216	0.198	0.085	0.005	97171.02	175.09	0	12.26	280.71	0.276	0.275	-0.008	0.010	97170.57
145.21	0	0.54	279.89	0.235	0.220	0.081	0.012	97171	1.82	0	12.28	280.72	0.281	0.280	-0.026	0.009	97170.57
79.20	0	0.54	279.87	0.215	0.206	0.060	0.015	97171.01	-97.19	0	12.29	280.72	0.292	0.290	-0.033	0.013	97170.58
323.60	0	0.64	280.08	0.212	0.186	0.101	0.003	97170.94	140.09	0	12.29	280.60	0.244	0.238	-0.015	0.050	97170.64
274.10	0	0.64	279.88	0.220	0.202	0.087	0.014	97170.95	107.09	0	12.29	280.65	0.193	0.188	-0.028	0.031	97170.64
224.59	0	0.64	279.89	0.235	0.221	0.080	0.009	97170.95	145.21	0	13.28	280.72	0.277	0.272	-0.051	0.009	97170.6
175.09	0	0.64	279.88	0.245	0.234	0.071	0.014	97170.97	79.20	0	13.28	280.67	0.280	0.278	-0.026	0.009	97170.61
1.82	0	0.64	279.88	0.187	0.173	0.066	0.024	97171.03	322.94	0	18.43	280.85	0.288	0.266	-0.109	0.005	97170.42
-97.19	0	0.64	279.97	0.154	0.146	0.044	0.018	97171.03	273.89	0	18.43	280.79	0.295	0.281	-0.091	0.003	97170.43
140.09	0	0.73	279.89	0.235	0.220	0.081	0.012	97171	224.59	0	19.89	280.83	0.282	0.280	-0.025	0.007	97170.39
107.09	0	0.73	279.87	0.215	0.206	0.060	0.015	97171.01	175.09	0	19.96	280.83	0.288	0.283	-0.053	0.007	97170.39
145.21	0	1.22	280.07	0.246	0.235	0.072	0.011	97170.96	1.82	0	20.00	280.84	0.292	0.283	-0.071	0.008	97170.4
79.20	0	1.22	280.04	0.232	0.224	0.055	0.018	97170.97	-97.19	0	20.01	280.84	0.302	0.290	-0.084	0.013	97170.41
323.58	0	1.37	280.24	0.228	0.206	0.097	0.005	97170.91	140.09	0	20.02	280.75	0.262	0.246	-0.078	0.042	97170.46
274.09	0	1.37	280.07	0.233	0.219	0.080	0.015	97170.91	107.09	0	20.02	280.77	0.212	0.197	-0.074	0.027	97170.46
224.59	0	1.37	280.10	0.250	0.238	0.074	0.014	97170.92	145.21	0	21.60	280.85	0.288	0.266	-0.109	0.005	97170.42
175.09	0	1.37	280.08	0.262	0.252	0.068	0.021	97170.94	79.21	0	21.60	280.79	0.295	0.281	-0.091	0.003	97170.43
1.82	0	1.38	280.03	0.200	0.185	0.066	0.036	97171	322.53	0	29.85	280.97	0.316	0.260	-0.179	0.011	97170.19
-97.19	0	1.38	280.12	0.159	0.152	0.041	0.023	97170.99	273.77	0	29.85	280.93	0.321	0.277	-0.163	0.000	97170.2
140.09	0	1.53	280.07	0.246	0.235	0.072	0.011	97170.96	224.60	0	32.17	280.94	0.308	0.293	-0.094	0.008	97170.15
107.09	0	1.53	280.04	0.232	0.224	0.055	0.018	97170.97	175.09	0	32.28	280.95	0.317	0.292	-0.122	0.005	97170.16
145.21	0	2.31	280.28	0.261	0.253	0.063	0.010	97170.91	1.82	0	32.35	280.96	0.319	0.286	-0.141	0.004	97170.17
79.20	0	2.31	280.23	0.246	0.241	0.050	0.018	97170.92	-97.19	0	32.38	280.96	0.326	0.287	-0.154	0.008	97170.18
323.54	0	2.54	280.40	0.241	0.225	0.087	0.006	97170.86	140.09	0	32.39	280.89	0.293	0.246	-0.156	0.030	97170.22
274.08	0	2.55	280.27	0.248	0.237	0.070	0.016	97170.87	107.09	0	32.39	280.89	0.248	0.204	-0.140	0.022	97170.23
224.59	0	2.55	280.27	0.260	0.253	0.059	0.015	97170.87	322.10	0	34.92	280.97	0.316	0.260	-0.179	0.011	97170.19
175.09	0	2.55	280.25	0.274	0.268	0.055	0.022	97170.89	273.56	0	34.92	280.93	0.321	0.277	-0.163	0.000	97170.2
1.82	0	2.55	280.19	0.210	0.197	0.058	0.044	97170.95	224.48	0	54.72	281.08	0.376	0.308	-0.214	0.015	97169.84
-97.19	0	2.55	280.28	0.166	0.160	0.033	0.028	97170.94	175.02	0	54.85	281.09	0.386	0.306	-0.236	0.008	97169.85
140.09	0	2.80	280.28	0.261	0.253	0.063	0.010	97170.91	114.68	0	54.92	281.10	0.392	0.299	-0.253	0.002	97169.87
107.09	0	2.80	280.23	0.246	0.241	0.050	0.018	97170.92	-97.21	0	56.75	281.11	0.402	0.298	-0.270	0.008	97169.86
145.21	0	4.05	280.45	0.265	0.262	0.037	0.008	97170.83	1.78	0	70.94	281.13	0.392	0.255	-0.297	-0.005	97169.68
79.20	0	4.05	280.39	0.260	0.257	0.037	0.015	97170.85	321.86	0	77.01	281.10	0.335	0.201	-0.268	0.014	97169.71
323.47	0	4.42	280.51	0.249	0.238	0.071	0.006	97170.79	273.26	0	77.06	281.11	0.358	0.223	-0.281	0.007	97169.7
274.06	0	4.43	280.44	0.258	0.252	0.052	0.015	97170.8	224.19	0	91.95	281.14	0.415	0.274	-0.311	0.024	97169.45
224.59	0	4.44	280.45	0.270	0.267	0.039	0.013	97170.8	174.85	0	92.06	281.14	0.410	0.265	-0.313	0.014	97169.47
175.09	0	4.44	280.43	0.284	0.281	0.035	0.019	97170.81	321.89	0	92.10	281.14	0.405	0.263	-0.308	0.004	97169.49
1.82	0	4.44	280.33	0.220	0.210	0.044	0.050	97170.87	174.68	0	93.92	281.13	0.385	0.243	-0.298	0.006	97169.49
-97.19	0	4.44	280.41	0.172	0.168	0.023	0.031	97170.87	273.06	0	136.46	281.21	0.443	0.189	-0.401	0.020	97169.11
140.09	0	4.83	280.45	0.265	0.262	0.037	0.008	97170.83	223.96	0	136.51	281.23	0.433	0.155	-0.404	-0.014	97169.16
107.09	0	4.83	280.39	0.260	0.257	0.037	0.015	97170.85	-97.23	0	136.51	281.21	0.436	0.172	-0.400	0.011	97169.13
145.21	0	6.84	280.60	0.276	0.276	0.006	0.007	97170.74	1.69	0	136.52	281.22	0.431	0.159	-0.401	0.001	97169.14
79.20	0	6.84	280.55	0.274	0.274	0.014	0.012	97170.74	110.43	0	158.05	281.24	0.419	0.094	-0.409	0.002	97169.09
323.37	0	7.42	280.63	0.258	0.254	0.047	0.006	97170.7	174.56	0	158.24	281.24	0.429	0.102	-0.416	-0.015	97169.08
274.02	0	7.44	280.59	0.266	0.265	0.024	0.013	97170.7	223.85	0	158.55	281.25	0.443	0.117	-0.426	-0.034	97169.06

Cuadro 85: Resultados P4 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
79.20	0	0.12	281.20	0.115	0.043	-0.106	0.015	9719.67	224.59	0	7.45	284.72	0.150	0.053	-0.131	-0.047	9719.54
145.21	0	0.12	282.35	0.372	0.206	-0.310	-0.011	9719.68	175.09	0	7.46	284.79	0.252	0.209	-0.140	-0.004	9719.53
323.60	0	0.18	282.76	0.235	0.040	-0.230	-0.027	9719.71	1.82	0	7.46	284.05	0.426	0.411	-0.099	0.054	9719.51
274.10	0	0.18	282.64	0.234	0.027	-0.232	-0.020	9719.70	-97.19	0	7.46	284.11	0.501	0.485	-0.113	0.057	9719.49
224.59	0	0.18	282.71	0.244	0.057	-0.236	-0.023	9719.69	140.09	0	8.08	284.64	0.348	0.245	-0.242	0.050	9719.52
175.09	0	0.18	282.63	0.349	0.139	-0.319	-0.020	9719.68	107.09	0	8.08	283.92	0.339	0.333	-0.012	0.061	9719.52
-97.19	0	0.18	281.24	0.214	0.089	-0.195	0.010	9719.64	145.21	0	11.30	284.93	0.436	0.416	-0.088	0.099	9719.44
1.82	0	0.18	280.92	0.113	0.035	-0.107	0.010	9719.66	79.20	0	11.30	284.58	0.506	0.501	0.004	0.070	9719.44
107.09	0	0.24	281.20	0.115	0.043	-0.106	0.015	9719.67	323.20	0	12.22	285.57	0.184	0.144	-0.081	-0.081	9719.47
140.09	0	0.24	282.35	0.372	0.206	-0.310	-0.011	9719.68	273.97	0	12.26	285.33	0.090	0.066	-0.029	-0.054	9719.46
145.21	0	0.54	282.92	0.377	0.224	-0.302	-0.016	9719.67	224.59	0	12.28	284.81	0.168	0.166	0.009	-0.020	9719.46
79.20	0	0.54	281.74	0.107	0.050	-0.083	0.047	9719.66	175.09	0	12.29	284.78	0.358	0.357	0.019	0.024	9719.45
323.60	0	0.64	283.29	0.260	0.029	-0.249	-0.066	9719.69	1.82	0	12.29	284.67	0.606	0.598	-0.064	0.072	9719.43
274.10	0	0.64	283.19	0.231	0.029	-0.224	-0.049	9719.69	-97.19	0	12.29	284.76	0.677	0.669	-0.073	0.074	9719.42
224.59	0	0.64	283.20	0.276	0.061	-0.261	-0.065	9719.68	140.09	0	13.28	284.93	0.436	0.416	-0.088	0.099	9719.44
175.09	0	0.64	283.13	0.364	0.159	-0.324	-0.043	9719.67	107.09	0	13.28	284.58	0.506	0.501	0.004	0.070	9719.44
1.82	0	0.64	281.50	0.132	0.067	-0.106	0.041	9719.64	145.21	0	18.43	285.58	0.827	0.817	0.062	0.111	9719.34
-97.19	0	0.64	281.79	0.223	0.123	-0.182	0.037	9719.63	79.20	0	18.43	285.61	0.834	0.830	0.048	0.065	9719.34
140.09	0	0.73	282.92	0.377	0.224	-0.302	-0.016	9719.67	322.94	0	19.89	285.87	0.430	0.404	0.134	-0.057	9719.36
107.09	0	0.73	281.74	0.107	0.050	-0.083	0.047	9719.66	273.89	0	19.96	285.71	0.425	0.404	0.129	-0.030	9719.36
145.21	0	1.22	283.35	0.378	0.220	-0.308	-0.005	9719.65	224.59	0	20.00	285.66	0.554	0.540	0.119	0.031	9719.35
79.20	0	1.22	282.26	0.111	0.061	-0.073	0.056	9719.64	175.09	0	20.01	285.63	0.706	0.696	0.105	0.058	9719.34
323.58	0	1.37	283.75	0.255	0.029	-0.244	-0.067	9719.68	1.82	0	20.02	285.69	0.955	0.953	0.029	0.065	9719.33
274.09	0	1.37	283.64	0.219	0.032	-0.214	-0.035	9719.67	-97.19	0	20.02	285.90	1.068	1.065	0.039	0.066	9719.32
224.59	0	1.37	283.61	0.330	0.067	-0.313	-0.081	9719.66	140.09	0	21.60	285.58	0.827	0.817	0.062	0.111	9719.34
175.09	0	1.37	283.54	0.404	0.157	-0.369	-0.050	9719.65	107.09	0	21.60	285.61	0.834	0.830	0.048	0.065	9719.34
1.82	0	1.38	282.08	0.159	0.101	-0.113	0.048	9719.63	145.21	0	29.85	286.54	1.141	1.117	0.204	0.119	9719.21
-97.19	0	1.38	282.31	0.237	0.159	-0.169	0.048	9719.61	79.21	0	29.85	286.61	1.130	1.119	0.131	0.091	9719.21
140.09	0	1.53	283.35	0.378	0.220	-0.308	-0.005	9719.65	322.53	0	32.17	286.59	0.846	0.816	0.219	-0.040	9719.22
107.09	0	1.53	282.26	0.111	0.061	-0.073	0.056	9719.64	273.77	0	32.28	286.56	0.915	0.892	0.204	-0.005	9719.22
145.21	0	2.31	283.89	0.378	0.237	-0.295	0.005	9719.62	224.60	0	32.35	286.52	1.003	0.984	0.185	0.056	9719.21
79.20	0	2.31	282.78	0.152	0.120	-0.066	0.068	9719.61	175.09	0	32.38	286.55	1.078	1.060	0.176	0.077	9719.21
323.54	0	2.54	284.21	0.294	0.035	-0.281	-0.076	9719.65	1.82	0	32.39	286.68	1.251	1.237	0.178	0.061	9719.20
274.08	0	2.55	284.11	0.235	-0.006	-0.230	-0.047	9719.64	-97.19	0	32.39	286.82	1.328	1.310	0.211	0.058	9719.19
224.59	0	2.55	284.01	0.276	0.043	-0.260	-0.083	9719.63	140.09	0	34.92	286.54	1.141	1.117	0.204	0.119	9719.21
175.09	0	2.55	283.95	0.341	0.180	-0.284	-0.054	9719.63	107.09	0	34.92	286.61	1.130	1.119	0.131	0.091	9719.21
1.82	0	2.55	282.69	0.203	0.161	-0.109	0.060	9719.60	322.10	0	54.72	287.42	1.137	1.106	0.262	0.001	9719.05
-97.19	0	2.55	282.87	0.281	0.224	-0.157	0.061	9719.58	273.56	0	54.85	287.42	1.185	1.159	0.250	0.025	9719.04
140.09	0	2.80	283.89	0.378	0.237	-0.295	0.005	9719.62	224.48	0	54.92	287.40	1.218	1.193	0.237	0.062	9719.04
107.09	0	2.80	282.78	0.152	0.120	-0.066	0.068	9719.61	175.02	0	56.75	287.44	1.230	1.205	0.235	0.074	9719.03
145.21	0	4.05	284.22	0.347	0.237	-0.252	0.016	9719.58	114.68	0	70.94	287.48	1.255	1.229	0.233	0.092	9718.89
79.20	0	4.05	283.27	0.196	0.179	-0.046	0.066	9719.58	-97.20	0	77.01	287.54	1.320	1.295	0.251	0.051	9718.89
323.47	0	4.42	284.67	0.256	0.040	-0.248	-0.053	9719.61	1.78	0	77.06	287.52	1.294	1.270	0.237	0.064	9718.89
274.06	0	4.43	284.54	0.236	0.019	-0.231	-0.048	9719.60	321.86	0	91.95	287.52	1.199	1.176	0.230	0.046	9718.80
224.59	0	4.44	284.36	0.267	0.076	-0.247	-0.067	9719.59	273.26	0	92.06	287.52	1.220	1.199	0.219	0.052	9718.80
175.09	0	4.44	284.32	0.318	0.197	-0.247	-0.034	9719.58	224.19	0	92.10	287.50	1.231	1.211	0.212	0.063	9718.80
1.82	0	4.44	283.29	0.267	0.238	-0.108	0.056	9719.56	174.85	0	93.92	287.49	1.244	1.222	0.219	0.072	9718.79
-97.19	0	4.44	283.42	0.339	0.302	-0.144	0.058	9719.55	321.89	0	136.46	288.04	1.025	1.021	0.060	0.069	9718.56
140.09	0	4.83	284.22	0.347	0.237	-0.252	0.016	9719.58	174.68	0	136.51	288.05	1.028	1.025	-0.002	0.083	9718.56
107.09	0	4.83	283.27	0.196	0.179	-0.046	0.066	9719.58	273.06	0	136.51	288.05	1.020	1.017	0.034	0.069	9718.56
145.21	0	6.84	284.64	0.348	0.245	-0.242	0.050	9719.52	223.96	0	136.52	288.05	1.017	1.015	0.012	0.072	9718.56
79.20	0	6.84	283.92	0.339	0.333	-0.012	0.061	9719.52	-97.23	0	158.05	288.13	1.005	1.003	-0.028	0.057	9718.48
323.37	0	7.42	285.15	0.218	0.061	-0.201	-0.058	9719.55	1.69	0	158.24	288.11	1.011	1.008	-0.012	0.078	9718.48
274.02	0	7.44	284.99	0.186	-0.008	-0.181	-0.041	9719.54	110.43	0	158.55	288.08	1.014	1.010	0.007	0.091	9718.47

Cuadro 86: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Santina

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP	dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
79.20	0	0.12	289.39	0.160	0.156	-0.034	0.009	9719.32	224.59	0	7.45	294.02	0.205	0.141	-0.149	0.010	9719.24
145.21	0	0.12	289.10	0.133	0.130	-0.010	0.024	9719.32	175.09	0	7.46	294.02	0.265	0.179	-0.195	0.006	9719.24
323.60	0	0.18	289.47	0.150	-0.028	0.102	0.106	9719.33	1.82	0	7.46	294.27	0.410	0.398	-0.097	-0.015	9719.23
274.10	0	0.18	289.33	0.090	0.012	0.071	0.053	9719.33	-97.19	0	7.46	294.38	0.522	0.498	-0.155	-0.010	9719.23
224.59	0	0.18	289.34	0.103	0.050	0.025	0.087	9719.33	140.09	0	8.08	294.05	0.299	0.260	-0.148	-0.003	9719.23
175.09	0	0.18	289.28	0.101	0.076	-0.028	0.060	9719.33	107.09	0	8.08	294.10	0.337	0.296	-0.161	-0.009	9719.23
-97.19	0	0.18	289.20	0.332	0.331	0.008	-0.018	9719.30	145.21	0	11.30	294.42	0.336	0.277	-0.190	0.000	9719.19
1.82	0	0.18	289.45	0.253	0.239	0.069	0.041	9719.31	79.20	0	11.30	294.45	0.370	0.312	-0.198	-0.007	9719.19
107.09	0	0.24	289.39	0.160	0.156	-0.034	0.009	9719.32	323.20	0	12.22	294.37	0.150	0.140	-0.054	0.001	9719.21
140.09	0	0.24	289.10	0.133	0.130	-0.010	0.024	9719.32	273.97	0	12.26	294.37	0.196	0.148	-0.128	0.010	9719.20
145.21	0	0.54	292.00	0.191	0.191	0.010	-0.003	9719.31	224.59	0	12.28	294.40	0.251	0.170	-0.184	0.009	9719.20
79.20	0	0.54	292.20	0.235	0.233	-0.031	-0.003	9719.31	175.09	0	12.29	294.40	0.302	0.199	-0.226	0.008	9719.20
323.60	0	0.64	292.22	0.126	-0.005	0.124	-0.021	9719.32	1.82	0	12.29	294.59	0.438	0.406	-0.164	-0.012	9719.19
274.10	0	0.64	292.08	0.094	0.029	0.086	-0.024	9719.32	-97.19	0	12.29	294.66	0.539	0.497	-0.211	-0.008	9719.19
224.59	0	0.64	292.07	0.088	0.081	0.030	-0.014	9719.32	140.09	0	13.28	294.42	0.336	0.277	-0.190	0.000	9719.19
175.09	0	0.64	292.04	0.138	0.135	-0.029	-0.009	9719.32	107.09	0	13.28	294.45	0.370	0.312	-0.198	-0.007	9719.19
1.82	0	0.64	292.39	0.344	0.332	0.091	0.003	9719.30	145.21	0	18.43	294.72	0.373	0.291	-0.234	0.013	9719.14
-97.19	0	0.64	292.44	0.448	0.448	0.012	-0.004	9719.29	79.20	0	18.43	294.73	0.397	0.321	-0.233	0.002	9719.14
140.09	0	0.73	292.00	0.191	0.191	0.010	-0.003	9719.31	322.94	0	19.89	294.67	0.219	0.201	-0.087	-0.007	9719.16
107.09	0	0.73	292.20	0.235	0.233	-0.031	-0.003	9719.31	273.89	0	19.96	294.68	0.252	0.195	-0.159	0.003	9719.15
145.21	0	1.22	292.42	0.203	0.203	-0.012	0.007	9719.30	224.59	0	20.00	294.71	0.294	0.203	-0.213	0.007	9719.15
79.20	0	1.22	292.58	0.247	0.243	-0.042	0.004	9719.29	175.09	0	20.01	294.72	0.335	0.221	-0.252	0.012	9719.15
323.58	0	1.37	292.54	0.116	0.004	0.115	-0.014	9719.31	1.82	0	20.02	294.85	0.466	0.406	-0.229	-0.005	9719.14
274.09	0	1.37	292.45	0.076	0.038	0.065	-0.011	9719.31	-97.19	0	20.02	294.90	0.553	0.484	-0.266	-0.005	9719.15
224.59	0	1.37	292.40	0.085	0.084	0.011	-0.003	9719.31	140.09	0	21.60	294.72	0.373	0.291	-0.234	0.013	9719.14
175.09	0	1.37	292.38	0.144	0.136	-0.049	0.001	9719.30	107.09	0	21.60	294.73	0.397	0.321	-0.233	0.002	9719.14
1.82	0	1.38	292.75	0.350	0.342	0.076	0.008	9719.29	145.21	0	29.85	295.00	0.410	0.301	-0.277	0.036	9719.08
-97.19	0	1.38	292.89	0.462	0.462	-0.002	0.003	9719.28	79.21	0	29.85	294.98	0.417	0.322	-0.265	0.017	9719.08
140.09	0	1.53	292.42	0.203	0.203	-0.012	0.007	9719.30	322.53	0	32.17	294.95	0.298	0.271	-0.122	-0.018	9719.09
107.09	0	1.53	292.58	0.247	0.243	-0.042	0.004	9719.29	273.77	0	32.28	294.96	0.312	0.250	-0.187	-0.007	9719.09
145.21	0	2.31	293.00	0.227	0.220	-0.054	0.006	9719.28	224.60	0	32.35	294.98	0.342	0.246	-0.238	0.003	9719.09
79.20	0	2.31	293.12	0.266	0.255	-0.075	0.002	9719.28	175.09	0	32.38	295.00	0.372	0.250	-0.274	0.015	9719.08
323.54	0	2.54	293.03	0.078	0.017	0.075	-0.015	9719.29	1.82	0	32.39	295.10	0.489	0.396	-0.288	0.007	9719.08
274.08	0	2.55	292.97	0.053	0.050	0.016	-0.007	9719.29	-97.19	0	32.39	295.14	0.556	0.457	-0.318	0.001	9719.09
224.59	0	2.55	292.93	0.101	0.093	-0.039	-0.003	9719.29	140.09	0	34.92	295.00	0.410	0.301	-0.277	0.036	9719.08
175.09	0	2.55	292.91	0.172	0.143	-0.097	0.000	9719.29	107.09	0	34.92	294.98	0.417	0.322	-0.265	0.017	9719.08
1.82	0	2.55	293.29	0.362	0.360	0.033	0.002	9719.27	322.10	0	54.72	295.22	0.396	0.356	-0.171	-0.035	9718.99
-97.19	0	2.55	293.49	0.480	0.478	-0.044	-0.001	9719.27	273.56	0	54.85	295.23	0.396	0.328	-0.221	-0.023	9718.99
140.09	0	2.80	293.00	0.227	0.220	-0.054	0.006	9719.28	224.48	0	54.92	295.25	0.413	0.318	-0.264	-0.006	9718.99
107.09	0	2.80	293.12	0.266	0.255	-0.075	0.002	9719.28	175.02	0	56.75	295.30	0.440	0.323	-0.299	0.017	9718.99
145.21	0	4.05	293.58	0.262	0.241	-0.103	0.001	9719.26	114.68	0	70.94	295.47	0.475	0.329	-0.335	0.074	9718.93
79.20	0	4.05	293.67	0.300	0.275	-0.119	-0.005	9719.26	-97.20	0	77.01	295.53	0.531	0.363	-0.387	0.025	9718.94
323.47	0	4.42	293.57	0.052	0.045	0.025	-0.006	9719.27	1.78	0	77.06	295.51	0.508	0.343	-0.372	0.043	9718.94
274.06	0	4.43	293.54	0.085	0.074	-0.043	0.005	9719.27	321.86	0	91.95	295.46	0.507	0.458	-0.214	-0.044	9718.86
224.59	0	4.44	293.53	0.152	0.113	-0.101	0.006	9719.27	273.26	0	92.06	295.46	0.491	0.424	-0.245	-0.024	9718.86
175.09	0	4.44	293.52	0.220	0.159	-0.152	0.004	9719.26	224.19	0	92.10	295.46	0.484	0.396	-0.278	0.007	9718.87
1.82	0	4.44	293.85	0.383	0.382	-0.029	-0.009	9719.25	174.85	0	93.92	295.47	0.493	0.376	-0.315	0.043	9718.87
-97.19	0	4.44	294.01	0.502	0.492	-0.099	-0.008	9719.25	321.89	0	136.46	295.64	0.598	0.547	-0.232	-0.066	9718.74
140.09	0	4.83	293.58	0.262	0.241	-0.103	0.001	9719.26	174.68	0	136.51	295.68	0.526	0.446	-0.278	0.013	9718.76
107.09	0	4.83	293.67	0.300	0.275	-0.119	-0.005	9719.26	273.06	0	136.51	295.64	0.567	0.509	-0.247	-0.042	9718.74
145.21	0	6.84	294.05	0.299	0.260	-0.148	-0.003	9719.23	223.96	0	136.52	295.65	0.539	0.470	-0.262	-0.014	9718.75
79.20	0	6.84	294.10	0.337	0.296	-0.161	-0.009	9719.23	-97.23	0	158.05	295.81	0.445	0.284	-0.342	-0.013	9718.75
323.37	0	7.42	294.02	0.090	0.088	-0.018	0.002	9719.25	1.69	0	158.24	295.81	0.455	0.318	-0.326	0.007	9718.74
274.02	0	7.44	294.01	0.142	0.108	-0.091	0.011	9719.24	110.43	0	158.55	295.79	0.486	0.382	-0.299	0.026	9718.72

Cuadro 87: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto- Modelo Laminar-Skeena

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	0	0.18	279.10	0.115	-0.113	-0.023	0.005	97170.84
37.63	0	0.18	279.13	0.181	-0.172	-0.057	0.012	97170.85
136.64	0	0.18	279.13	0.156	-0.103	-0.117	0.015	97170.85
235.65	0	0.18	279.08	0.103	0.035	-0.097	-0.002	97170.85
235.65	0	0.64	279.16	0.101	0.042	-0.092	0.002	97170.83
-61.38	0	0.64	279.15	0.109	-0.107	-0.015	0.014	97170.82
37.63	0	0.64	279.20	0.194	-0.178	-0.073	0.021	97170.84
136.64	0	0.64	279.18	0.157	-0.101	-0.114	0.037	97170.83
235.65	0	1.38	279.23	0.097	0.040	-0.087	0.009	97170.81
-61.38	0	1.38	279.20	0.112	-0.110	-0.014	0.013	97170.8
37.63	0	1.38	279.26	0.204	-0.186	-0.080	0.020	97170.81
136.64	0	1.38	279.24	0.161	-0.104	-0.114	0.047	97170.81
235.65	0	2.55	279.30	0.093	0.038	-0.083	0.017	97170.77
-61.38	0	2.55	279.27	0.106	-0.104	-0.013	0.015	97170.77
37.63	0	2.55	279.32	0.221	-0.204	-0.081	0.029	97170.77
136.64	0	2.55	279.29	0.173	-0.119	-0.112	0.057	97170.77
235.65	0	4.44	279.37	0.087	0.023	-0.083	0.013	97170.72
-61.38	0	4.44	279.34	0.111	-0.106	-0.031	0.016	97170.72
37.63	0	4.44	279.38	0.238	-0.222	-0.083	0.027	97170.72
136.64	0	4.44	279.36	0.188	-0.136	-0.115	0.061	97170.72
235.65	0	7.46	279.46	0.094	-0.005	-0.094	0.010	97170.65
-61.38	0	7.46	279.43	0.121	-0.107	-0.053	0.017	97170.65
37.63	0	7.46	279.45	0.236	-0.213	-0.099	0.025	97170.65
136.64	0	7.46	279.42	0.201	-0.150	-0.118	0.063	97170.65
235.65	0	12.29	279.56	0.119	-0.038	-0.112	0.014	97170.55
-61.38	0	12.29	279.52	0.152	-0.129	-0.079	0.021	97170.55
37.63	0	12.29	279.53	0.261	-0.231	-0.118	0.032	97170.56
136.64	0	12.29	279.50	0.214	-0.162	-0.127	0.056	97170.55
235.65	0	20.02	279.70	0.218	-0.133	-0.172	0.013	97170.42
-61.38	0	20.02	279.62	0.180	-0.141	-0.109	0.024	97170.42
37.63	0	20.02	279.63	0.239	-0.180	-0.154	0.031	97170.42
136.64	0	20.02	279.62	0.232	-0.167	-0.153	0.050	97170.41
235.65	0	32.39	279.79	0.271	-0.113	-0.245	0.019	97170.25
-61.38	0	32.39	279.72	0.218	-0.144	-0.160	0.036	97170.24
136.64	0	32.39	279.73	0.245	-0.129	-0.199	0.063	97170.24
37.63	0	32.39	279.74	0.242	-0.131	-0.202	0.023	97170.24
37.65	0	77.08	279.88	0.290	-0.083	-0.278	0.011	97169.81
136.64	0	77.09	279.87	0.309	-0.103	-0.282	0.073	97169.81
-61.33	0	77.12	279.87	0.278	-0.098	-0.259	0.020	97169.81
235.61	0	77.14	279.90	0.309	-0.076	-0.300	-0.005	97169.81
37.71	0	158.28	279.99	0.413	-0.047	-0.410	0.009	97169.27
136.63	0	158.31	279.97	0.419	-0.048	-0.411	0.066	97169.27
-61.21	0	158.39	280.00	0.402	-0.050	-0.399	-0.012	97169.27
235.54	0	158.47	279.99	0.400	-0.043	-0.396	-0.032	97169.27

Cuadro 88: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Agosto - Modelo Turbulento- Skeena

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	0	0.18	279.14	0.224	0.141	-0.174	-0.014	97171.21
37.63	0	0.18	279.11	0.207	0.119	-0.168	-0.021	97171.21
136.64	0	0.18	279.09	0.203	0.115	-0.162	-0.041	97171.21
235.65	0	0.18	279.06	0.214	0.129	-0.154	-0.074	97171.22
235.65	0	0.64	279.19	0.254	0.162	-0.192	-0.039	97171.21
-61.38	0	0.64	279.30	0.278	0.179	-0.213	-0.003	97171.2
37.63	0	0.64	279.26	0.258	0.153	-0.207	0.000	97171.2
136.64	0	0.64	279.23	0.250	0.148	-0.201	-0.010	97171.2
235.65	0	1.38	279.27	0.276	0.177	-0.209	-0.035	97171.2
-61.38	0	1.38	279.36	0.305	0.202	-0.228	-0.002	97171.19
37.63	0	1.38	279.33	0.285	0.176	-0.224	0.003	97171.19
136.64	0	1.38	279.30	0.275	0.166	-0.219	-0.006	97171.19
235.65	0	2.55	279.34	0.299	0.192	-0.227	-0.026	97171.18
-61.38	0	2.55	279.41	0.328	0.225	-0.238	-0.001	97171.18
37.63	0	2.55	279.38	0.310	0.200	-0.237	0.005	97171.18
136.64	0	2.55	279.36	0.300	0.186	-0.235	0.000	97171.18
235.65	0	4.44	279.40	0.320	0.205	-0.245	-0.012	97171.16
-61.38	0	4.44	279.45	0.346	0.244	-0.246	0.001	97171.16
37.63	0	4.44	279.43	0.332	0.221	-0.247	0.006	97171.16
136.64	0	4.44	279.41	0.322	0.205	-0.248	0.003	97171.15
235.65	0	7.46	279.45	0.336	0.213	-0.260	-0.001	97171.13
-61.38	0	7.46	279.47	0.359	0.257	-0.251	0.002	97171.14
37.63	0	7.46	279.46	0.347	0.237	-0.254	0.006	97171.13
136.64	0	7.46	279.45	0.338	0.218	-0.258	0.006	97171.13
235.65	0	12.29	279.48	0.345	0.214	-0.271	0.002	97171.09
-61.38	0	12.29	279.49	0.369	0.266	-0.255	0.004	97171.11
37.63	0	12.29	279.49	0.356	0.245	-0.259	0.005	97171.1
136.64	0	12.29	279.48	0.346	0.223	-0.264	0.005	97171.09
235.65	0	20.02	279.50	0.348	0.212	-0.276	-0.003	97171.05
-61.38	0	20.02	279.51	0.373	0.268	-0.260	0.006	97171.07
37.63	0	20.02	279.51	0.357	0.243	-0.261	0.005	97171.06
136.64	0	20.02	279.50	0.346	0.220	-0.267	0.001	97171.05
235.65	0	32.39	279.52	0.345	0.205	-0.277	0.004	97170.99
-61.38	0	32.39	279.53	0.369	0.260	-0.263	0.006	97171.01
136.64	0	32.39	279.52	0.337	0.208	-0.265	0.011	97171
37.63	0	32.39	279.52	0.347	0.229	-0.261	0.009	97171
37.65	0	77.08	279.55	0.309	0.181	-0.249	0.023	97170.87
136.64	0	77.09	279.55	0.314	0.183	-0.256	0.004	97170.86
-61.33	0	77.12	279.55	0.335	0.208	-0.261	0.023	97170.88
235.61	0	77.14	279.55	0.340	0.200	-0.275	-0.009	97170.86
37.71	0	158.28	279.57	0.242	0.132	-0.202	0.016	97170.66
136.63	0	158.31	279.57	0.279	0.165	-0.224	-0.023	97170.65
-61.21	0	158.39	279.57	0.246	0.118	-0.211	0.047	97170.67
235.54	0	158.47	279.57	0.328	0.199	-0.258	-0.028	97170.65

Cuadro 89: Resultados P4 Cuadrante Microescala -Septiembre- Modelo Laminar-Skeena

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	0	0.18	281.01	0.665	-0.659	-0.089	0.007	9719.59
37.63	0	0.18	280.91	0.596	-0.550	-0.230	0.008	9719.62
136.64	0	0.18	280.85	0.466	-0.351	-0.307	0.010	9719.64
235.65	0	0.18	280.70	0.350	-0.126	-0.326	0.010	9719.66
235.65	0	0.64	281.29	0.324	-0.098	-0.307	0.036	9719.65
-61.38	0	0.64	281.69	0.688	-0.680	-0.103	0.034	9719.58
37.63	0	0.64	281.52	0.581	-0.538	-0.218	0.030	9719.61
136.64	0	0.64	281.45	0.417	-0.301	-0.286	0.032	9719.63
235.65	0	1.38	281.86	0.299	-0.057	-0.291	0.039	9719.63
-61.38	0	1.38	282.31	0.648	-0.640	-0.099	0.016	9719.56
37.63	0	1.38	282.10	0.525	-0.482	-0.205	0.032	9719.59
136.64	0	1.38	282.03	0.356	-0.239	-0.261	0.039	9719.61
235.65	0	2.55	282.43	0.272	0.001	-0.268	0.050	9719.60
-61.38	0	2.55	283.06	0.545	-0.530	-0.122	0.022	9719.53
37.63	0	2.55	282.68	0.424	-0.377	-0.191	0.037	9719.57
136.64	0	2.55	282.60	0.287	-0.154	-0.236	0.050	9719.58
235.65	0	4.44	283.01	0.258	0.090	-0.238	0.041	9719.56
-61.38	0	4.44	283.75	0.373	-0.345	-0.140	-0.017	9719.50
37.63	0	4.44	283.23	0.260	-0.189	-0.177	0.022	9719.53
136.64	0	4.44	283.16	0.204	0.000	-0.196	0.055	9719.55
235.65	0	7.46	283.74	0.314	0.251	-0.186	0.037	9719.51
-61.38	0	7.46	285.64	0.380	0.346	-0.149	-0.054	9719.45
37.63	0	7.46	284.22	0.243	0.188	-0.153	0.002	9719.47
136.64	0	7.46	283.86	0.273	0.224	-0.144	0.061	9719.49
235.65	0	12.29	284.60	0.488	0.467	-0.133	0.046	9719.43
-61.38	0	12.29	286.23	0.923	0.903	-0.187	0.015	9719.39
37.63	0	12.29	285.56	0.692	0.674	-0.159	0.024	9719.40
136.64	0	12.29	284.88	0.562	0.545	-0.120	0.062	9719.42
235.65	0	20.02	285.99	0.898	0.897	-0.043	0.035	9719.33
-61.38	0	20.02	286.62	1.265	1.255	-0.151	0.034	9719.31
37.63	0	20.02	286.50	1.150	1.141	-0.136	0.030	9719.31
136.64	0	20.02	286.14	1.026	1.021	-0.082	0.050	9719.32
235.65	0	32.39	286.84	1.222	1.220	0.048	0.044	9719.20
-61.38	0	32.39	286.99	1.405	1.404	-0.012	0.033	9719.19
136.64	0	32.39	286.88	1.277	1.276	0.004	0.054	9719.20
37.63	0	32.39	286.98	1.348	1.348	-0.014	0.027	9719.19
37.65	0	77.08	287.57	1.329	1.320	0.159	0.000	9718.90
136.64	0	77.09	287.55	1.313	1.303	0.162	0.033	9718.90
-61.33	0	77.12	287.56	1.344	1.335	0.156	-0.007	9718.90
235.61	0	77.14	287.54	1.282	1.269	0.177	0.043	9718.90
37.71	0	158.28	288.16	1.104	1.103	-0.031	-0.035	9718.48
136.63	0	158.31	288.17	1.106	1.106	-0.019	-0.004	9718.48
-61.21	0	158.39	288.14	1.097	1.094	-0.046	-0.060	9718.48
235.54	0	158.47	288.16	1.107	1.106	-0.001	0.020	9718.48

Cuadro 90: Resultados P4 Cuadrante Microescala - Septiembre - Modelo Turbulento-Skeena

dx	y	z	T	V	vx	vy	vz	AP
-61.38	0	0.18	288.83	0.484	0.484	0.003	-0.004	9719.28
37.63	0	0.18	288.91	0.416	0.404	0.099	-0.011	9719.28
136.64	0	0.18	289.02	0.361	0.332	0.139	0.015	9719.27
235.65	0	0.18	289.33	0.276	0.231	0.142	0.052	9719.27
235.65	0	0.64	292.37	0.355	0.306	0.180	0.001	9719.26
-61.38	0	0.64	292.51	0.622	0.621	-0.030	0.015	9719.27
37.63	0	0.64	292.41	0.546	0.534	0.112	0.005	9719.27
136.64	0	0.64	292.28	0.463	0.430	0.173	0.005	9719.26
235.65	0	1.38	292.74	0.360	0.316	0.171	0.002	9719.25
-61.38	0	1.38	293.08	0.638	0.636	-0.045	0.010	9719.26
37.63	0	1.38	292.90	0.556	0.548	0.098	0.005	9719.26
136.64	0	1.38	292.75	0.471	0.442	0.163	0.009	9719.25
235.65	0	2.55	293.26	0.362	0.335	0.136	0.005	9719.23
-61.38	0	2.55	293.67	0.652	0.647	-0.082	0.001	9719.24
37.63	0	2.55	293.48	0.563	0.561	0.055	0.002	9719.24
136.64	0	2.55	293.33	0.475	0.459	0.123	0.012	9719.24
235.65	0	4.44	293.78	0.363	0.354	0.080	0.014	9719.21
-61.38	0	4.44	294.10	0.658	0.646	-0.127	-0.001	9719.23
37.63	0	4.44	293.97	0.564	0.564	-0.007	0.004	9719.22
136.64	0	4.44	293.84	0.475	0.471	0.062	0.017	9719.22
235.65	0	7.46	294.17	0.366	0.365	0.015	0.027	9719.19
-61.38	0	7.46	294.42	0.657	0.633	-0.177	0.003	9719.21
37.63	0	7.46	294.32	0.562	0.556	-0.078	0.015	9719.20
136.64	0	7.46	294.22	0.473	0.472	-0.010	0.028	9719.19
235.65	0	12.29	294.49	0.373	0.365	-0.057	0.049	9719.15
-61.38	0	12.29	294.68	0.649	0.606	-0.231	0.015	9719.17
37.63	0	12.29	294.61	0.559	0.535	-0.158	0.035	9719.17
136.64	0	12.29	294.53	0.473	0.461	-0.093	0.050	9719.16
235.65	0	20.02	294.76	0.387	0.352	-0.134	0.091	9719.11
-61.38	0	20.02	294.91	0.628	0.560	-0.282	0.038	9719.13
37.63	0	20.02	294.86	0.553	0.494	-0.239	0.072	9719.12
136.64	0	20.02	294.80	0.478	0.432	-0.182	0.093	9719.11
235.65	0	32.39	295.00	0.415	0.319	-0.206	0.168	9719.04
-61.38	0	32.39	295.11	0.590	0.489	-0.322	0.078	9719.08
136.64	0	32.39	295.04	0.490	0.380	-0.262	0.166	9719.05
37.63	0	32.39	295.08	0.542	0.428	-0.304	0.133	9719.06
37.65	0	77.08	295.46	0.491	0.282	-0.358	0.180	9718.92
136.64	0	77.09	295.44	0.482	0.260	-0.343	0.216	9718.91
-61.33	0	77.12	295.47	0.489	0.313	-0.356	0.119	9718.93
235.61	0	77.14	295.42	0.452	0.239	-0.307	0.229	9718.90
37.71	0	158.28	295.72	0.347	0.092	-0.280	0.182	9718.73
136.63	0	158.31	295.70	0.352	0.096	-0.267	0.209	9718.72
-61.21	0	158.39	295.73	0.333	0.101	-0.287	0.136	9718.74
235.54	0	158.47	295.69	0.352	0.117	-0.247	0.221	9718.71