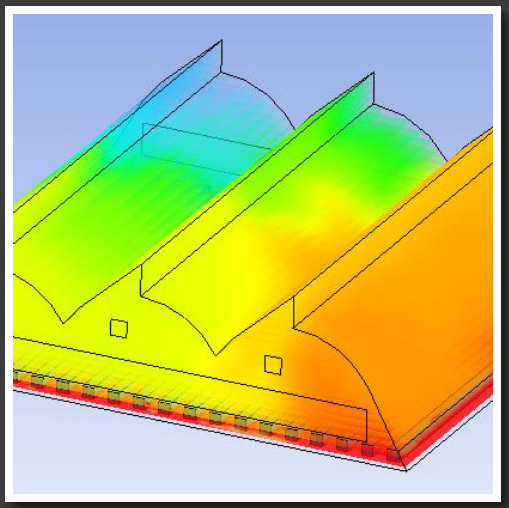


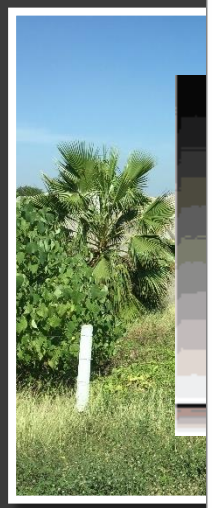
DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA MODELAR Y OPTIMIZAR EL AMBIENTE DE UN INVERNADERO

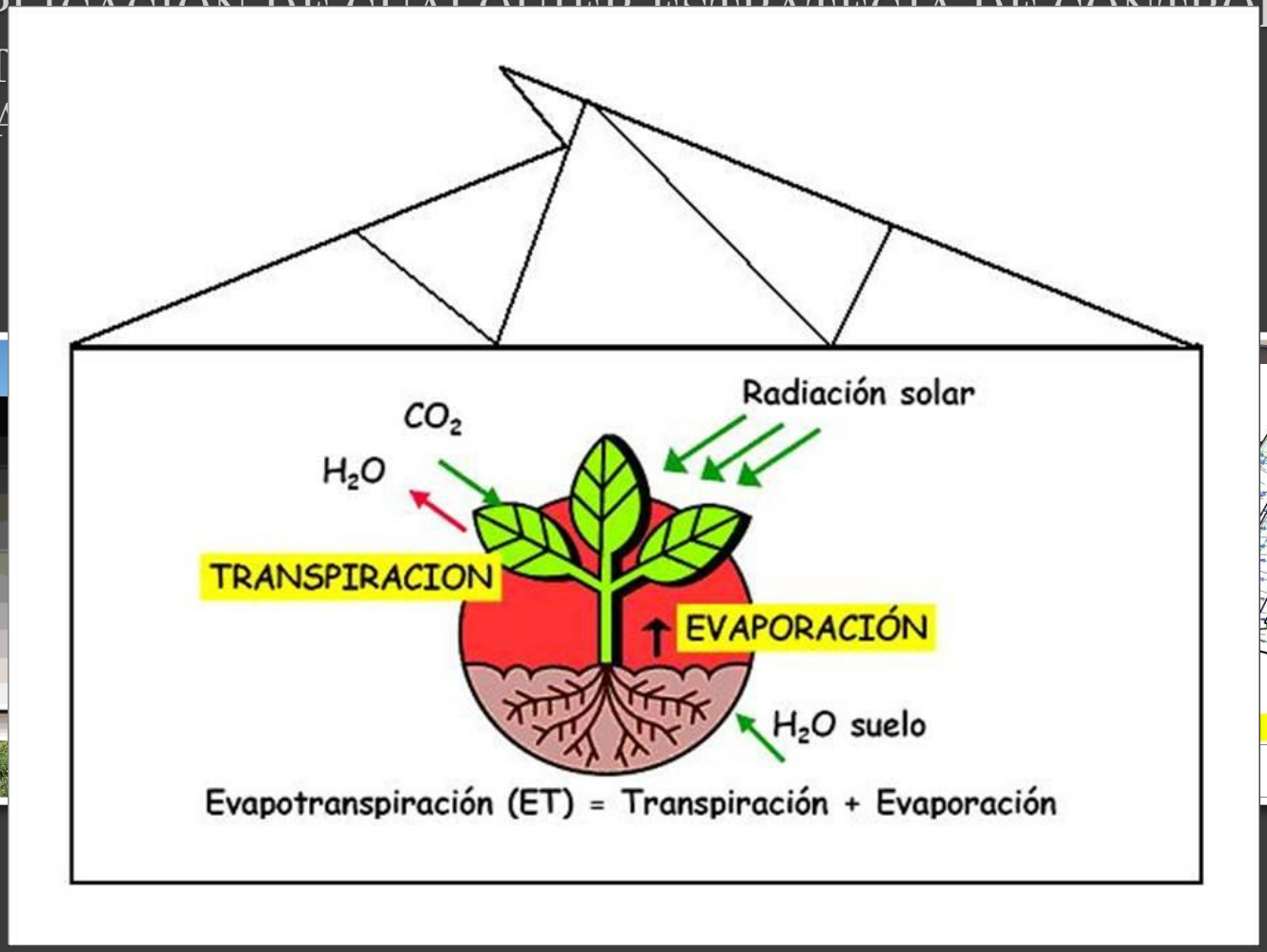
jorge_flores@tlaloc.imta.mx

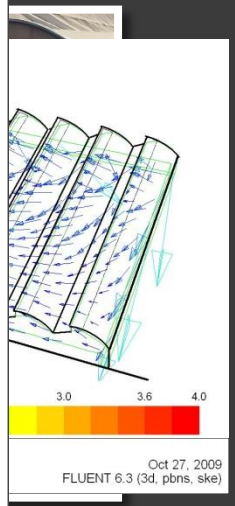
La producción en los invernaderos mexicanos se caracteriza mayormente por la aplicación de conocimientos empíricos en la mayoría de los procesos de producción.

La producción de hortalizas puede hacerse de tal forma que el control del clima en el invernadero permita optimizar rendimientos, es decir, obtener la mayor productividad pero con el menor costo de operación del invernadero y del cultivo

LA AP L,
OPT
MA







En general existen diversos tipos de modelos matemáticos para el estudio de bio-sistemas: modelos empíricos, modelos mecanicistas, modelos teleonómicos

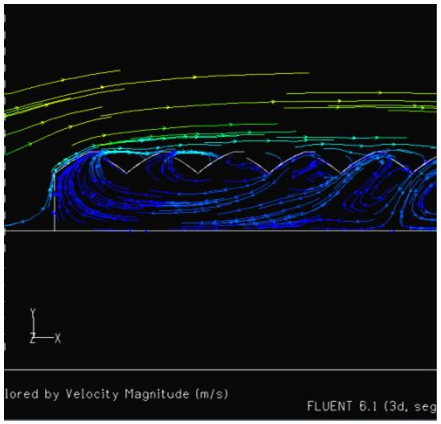
EN LA PRODUCCION DE CULTIVOS

Agua

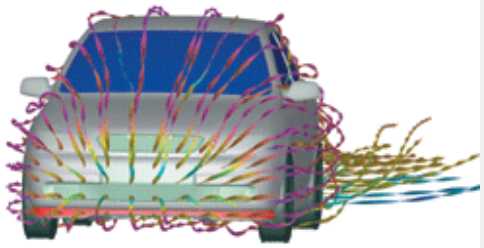
Energía

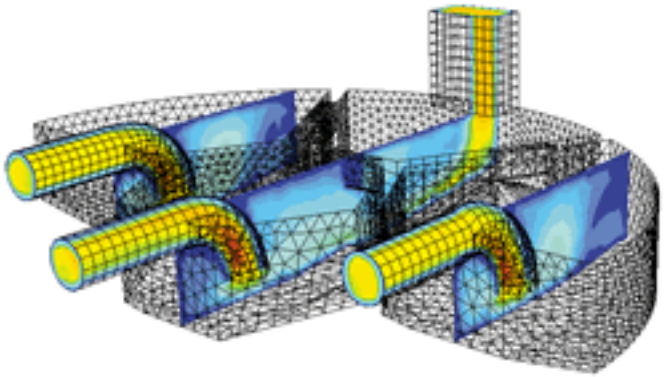
DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

Ingenieria aeroespacial

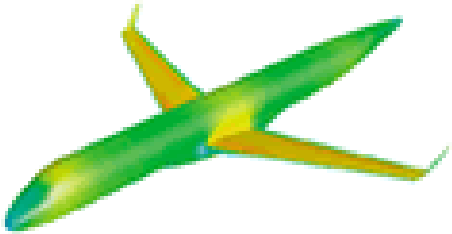


Diseño automomotriz





In dus tria

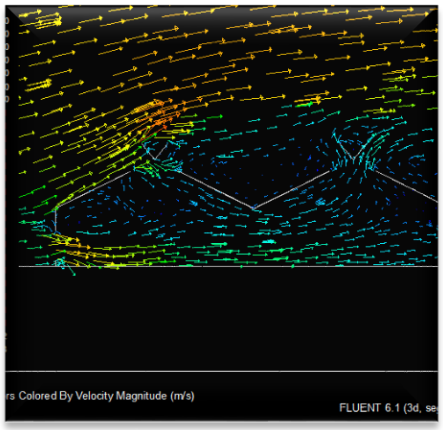


Courtesy of Embraer

Mediambiente

Ventilacion en invernaderos

Control optimo



CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

Ecuaciones de conservación de masa, momento y energía

- **Ecuación de continuidad:**
  Para $\phi = 1$

$$\frac{\partial U_i}{\partial xi} = 0$$

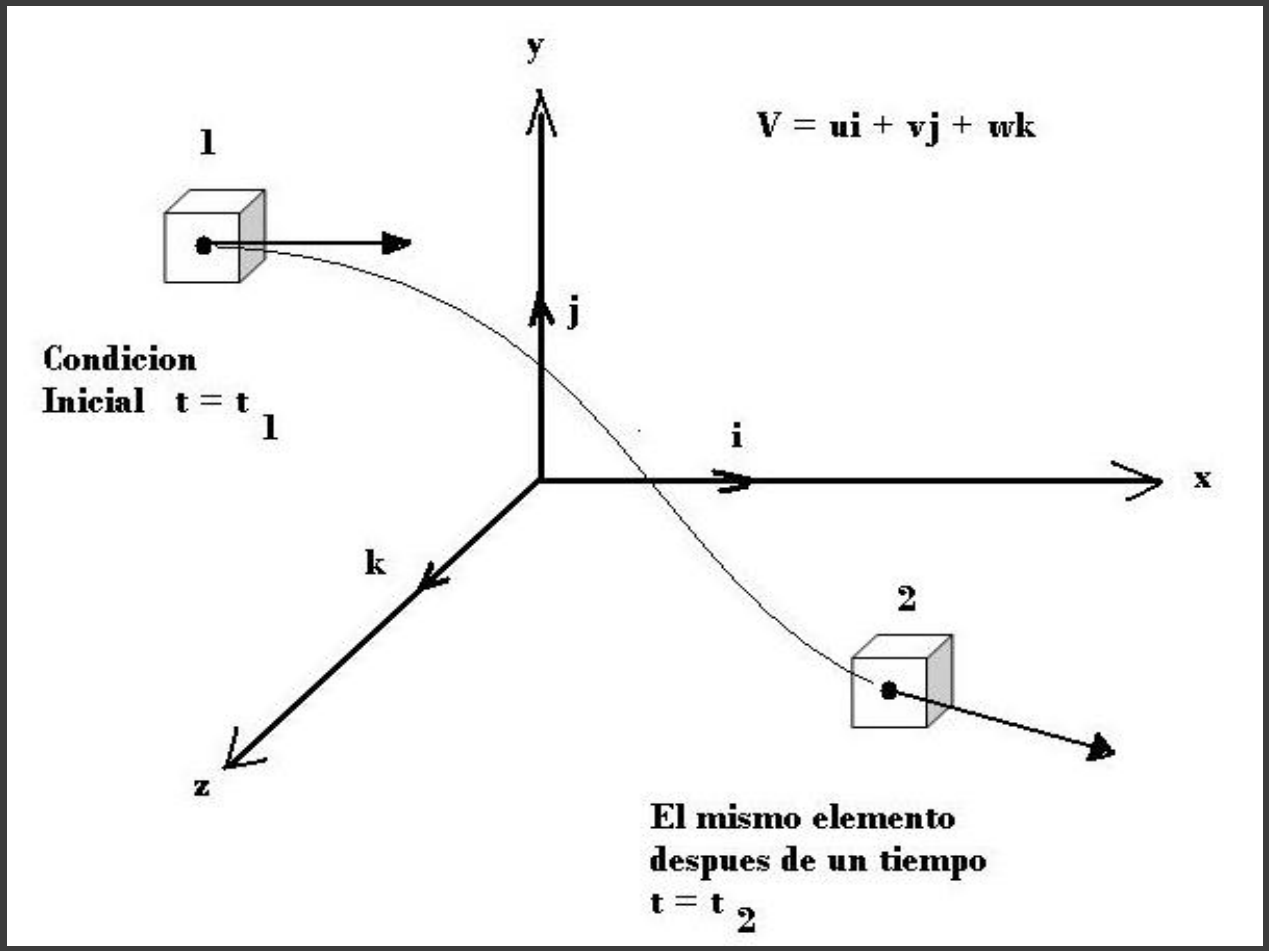
- **Ecuación de momento:**
  Para $\phi = u_i$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j}\left(u_i u_j\right) = -\frac{\partial p}{\partial xi} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \rho g_i$$

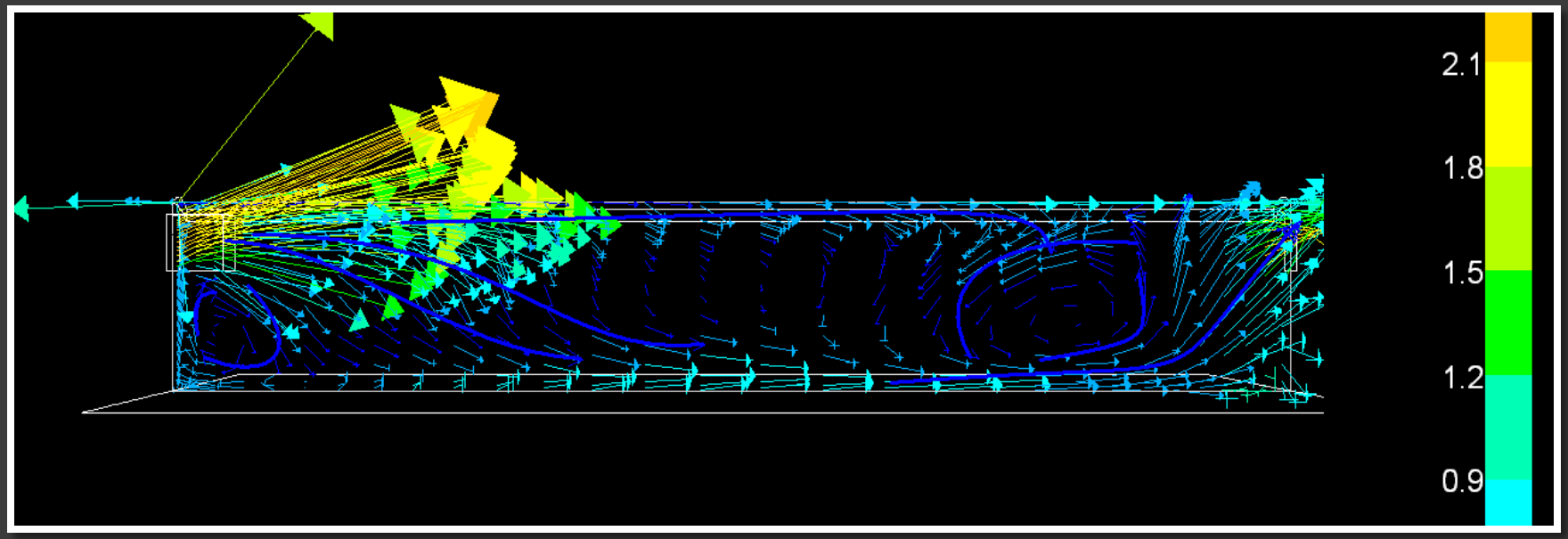
- **Ecuación de energía:**
  Si $\phi = h \ \ (entalpia)$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j}\left(u_i h\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(K \frac{\partial T}{\partial x_i}\right) + \frac{\partial \mathrm{P}}{\partial T} + u_i \frac{\partial P}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

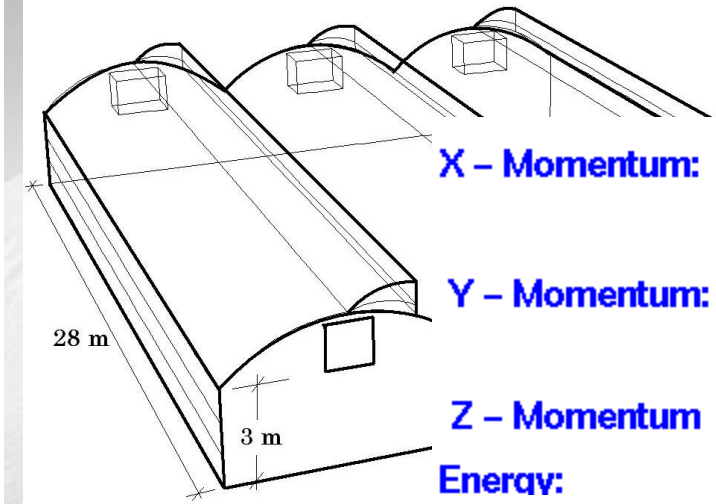
CFD: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA SOBRE UN VOLUMEN



$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla.(\partial\bar{u}\phi) = \nabla.(\Gamma\nabla\phi) + S$$



Materiales y métodos



Continuity:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0$$

X – Momentum:

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re_r}\left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right]$$

Y – Momentum:

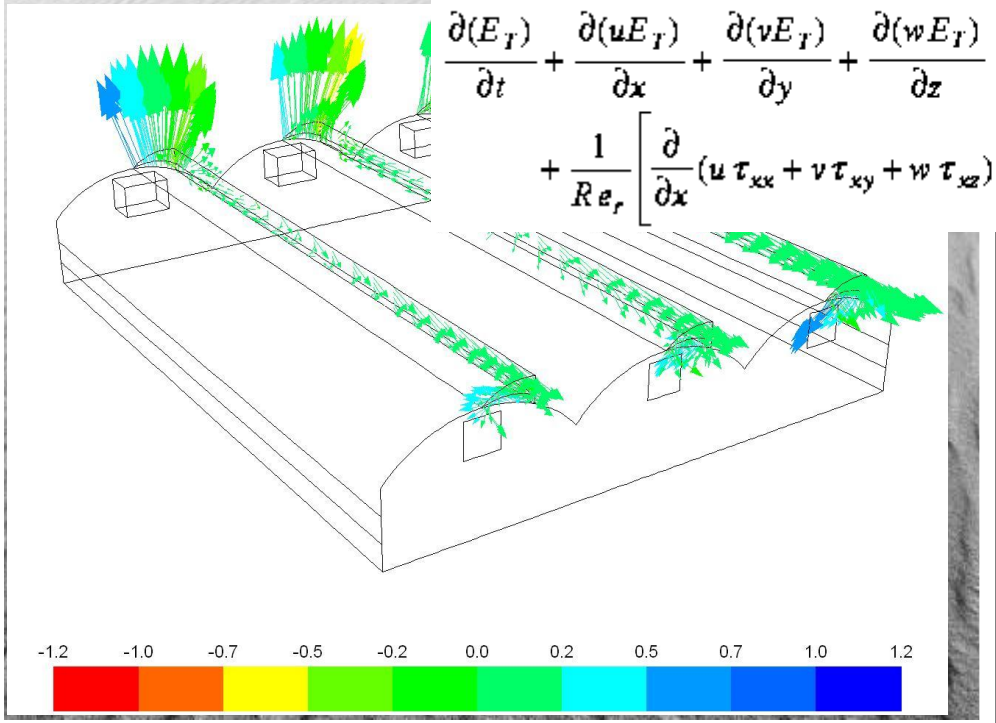
$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re_r}\left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right]$$

Z – Momentum

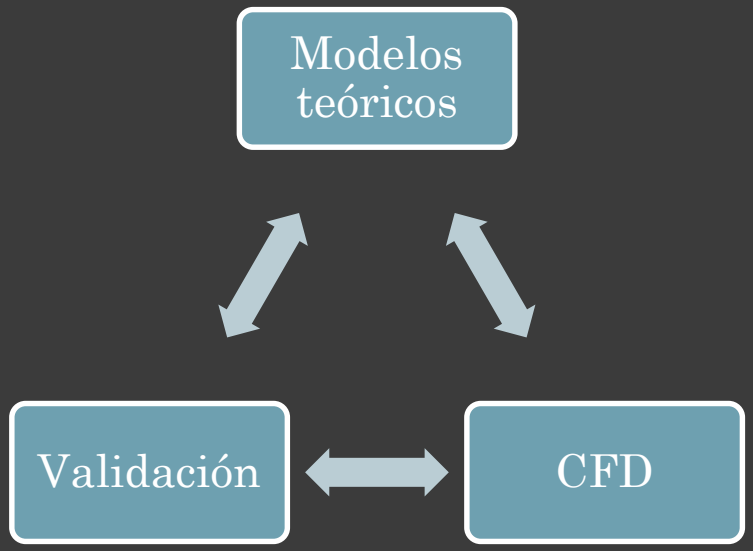
$$\frac{\partial (\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re_r}\left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right]$$

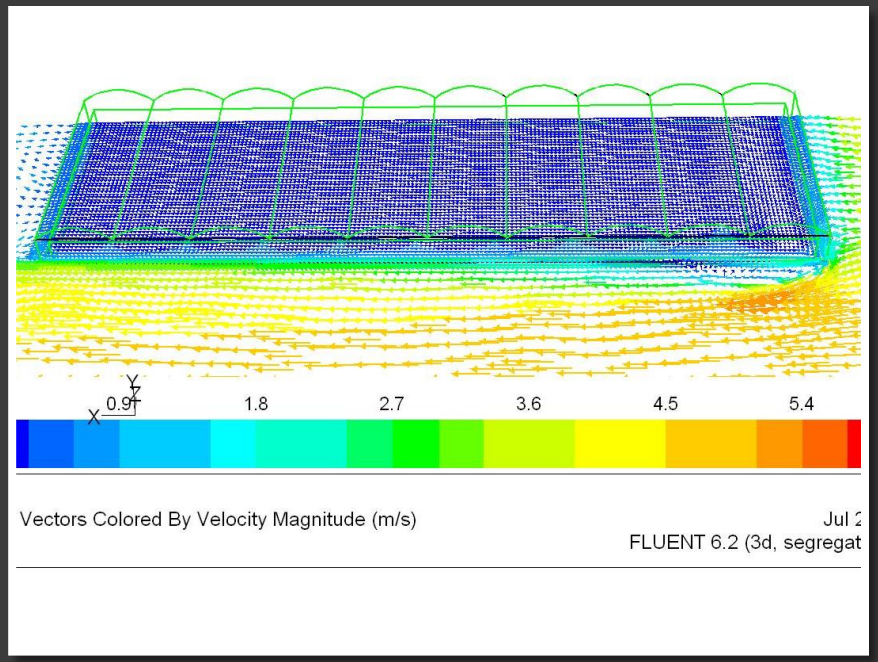
Energy:

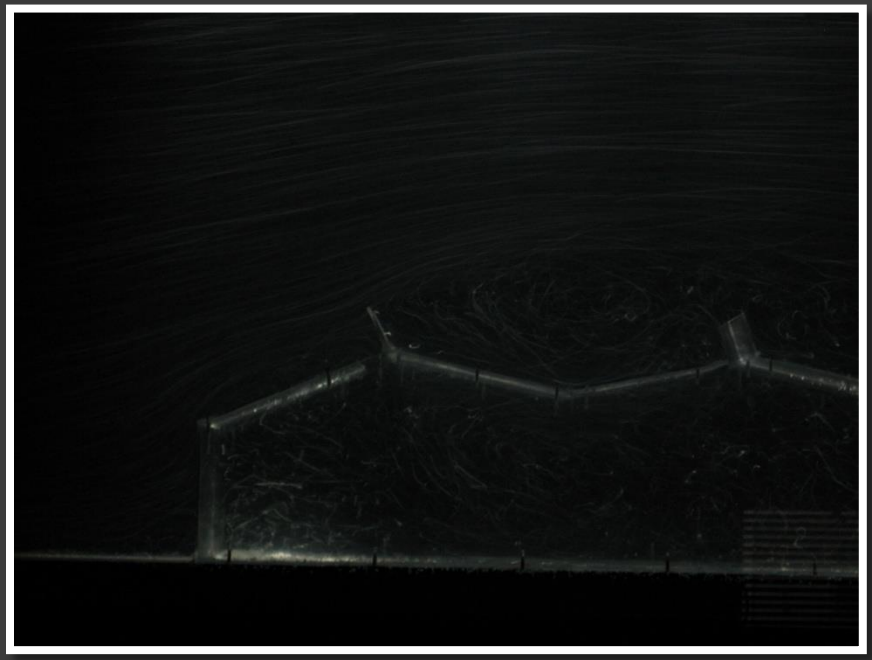
$$\frac{\partial (E_T)}{\partial t} + \frac{\partial (uE_T)}{\partial x} + \frac{\partial (vE_T)}{\partial y} + \frac{\partial (wE_T)}{\partial z} = -\frac{\partial (up)}{\partial x} - \frac{\partial (vp)}{\partial y} - \frac{\partial (wp)}{\partial z} - \frac{1}{Re_r Pr_r}\left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right]$$
$$+ \frac{1}{Re_r}\left[\frac{\partial}{\partial x}(u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y}(u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z}(u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz})\right]$$

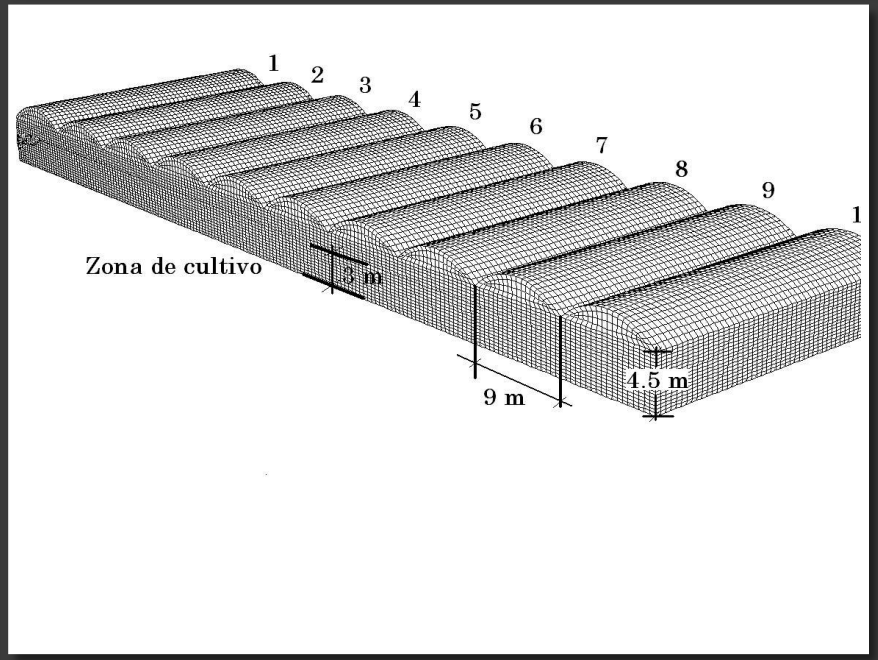


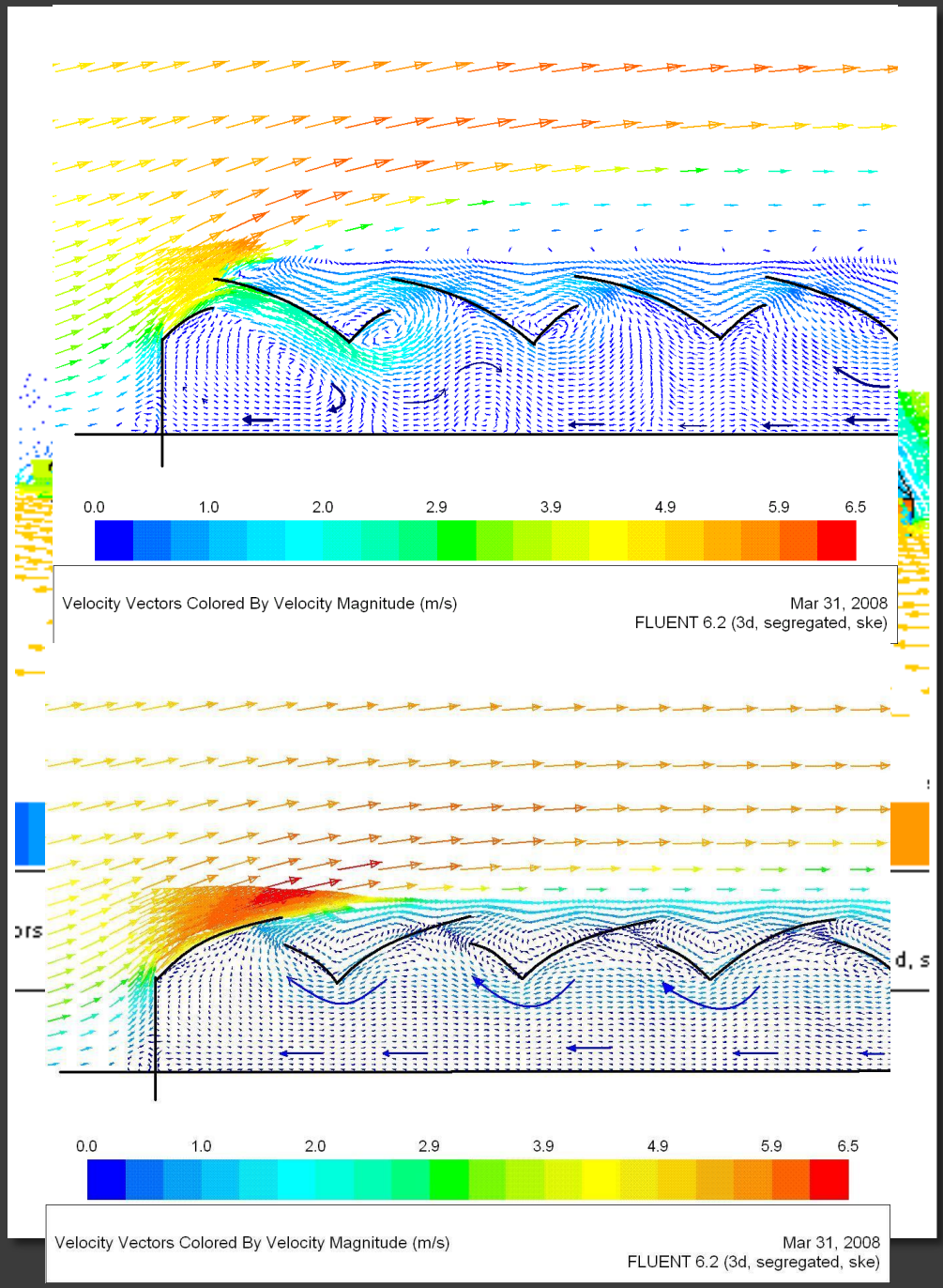
del movimiento del aire (fluidos) para explicar su comportamiento, y con ello mostrar las variaciones en las propiedades físicas de ese aire; esta técnica es lo que se conoce como dinámica de fluidos computacional o CFD.


Modelos teóricos
Validación
CFD


0.9
1.8
2.7
3.6
4.5
5.4
Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)
FLUENT 6.2 (3d, segregat

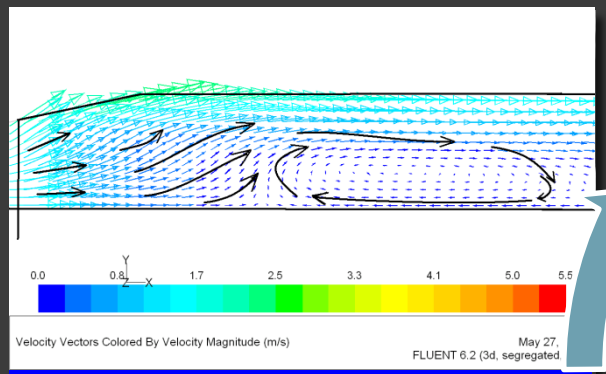


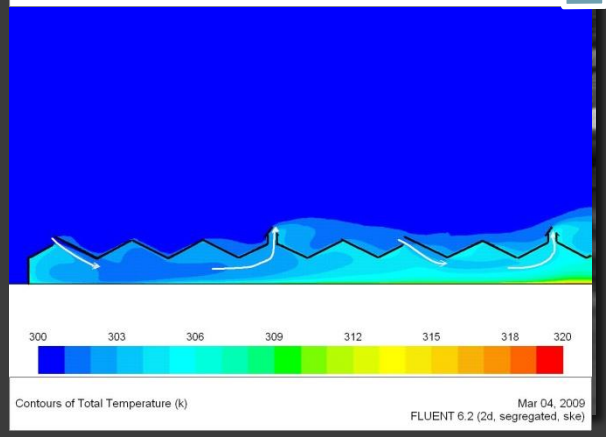

1
2
3
4
5
6
7
8
9
Zona de cultivo
3 m
9 m
4.5 m

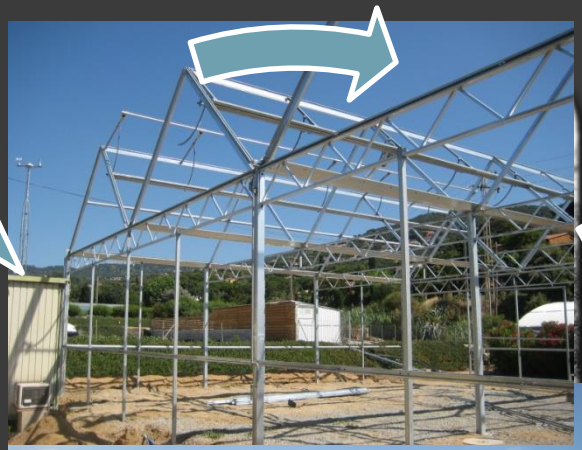


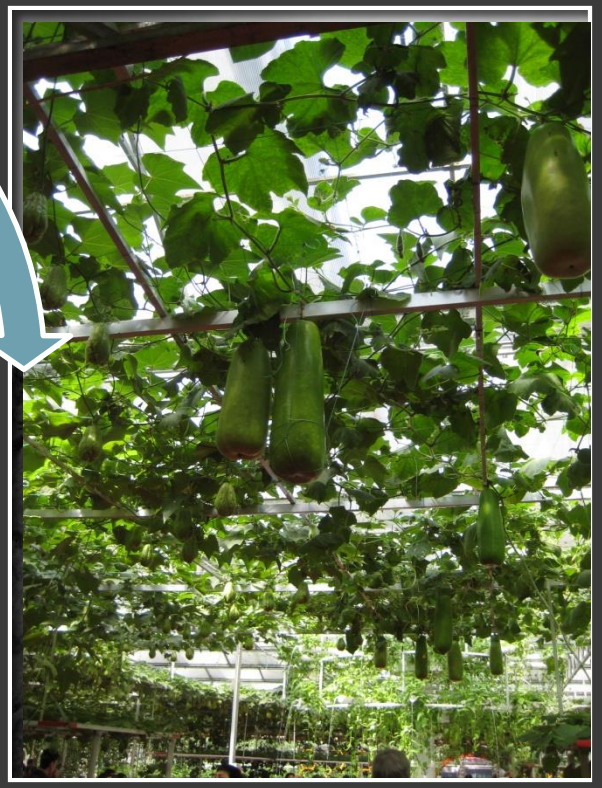
La Dinámica de Fluido Computacional (CFD) es una buena alternativa para una exploración siempre y cuando el conocimiento del fenómeno permita seleccionar los parámetros de cálculo adecuados. Con la potencia de cálculo disponible hoy en día, es posible simular flujos con altos números de Reynolds y en geometría compleja

Dentro de los parámetros para desarrollar simulaciones en Fluent©, un aspecto importante consiste en desarrollar modelos físicos y numéricos con el objeto de entender y predecir el comportamiento de flujos de fluidos en general y flujos turbulentos en particular







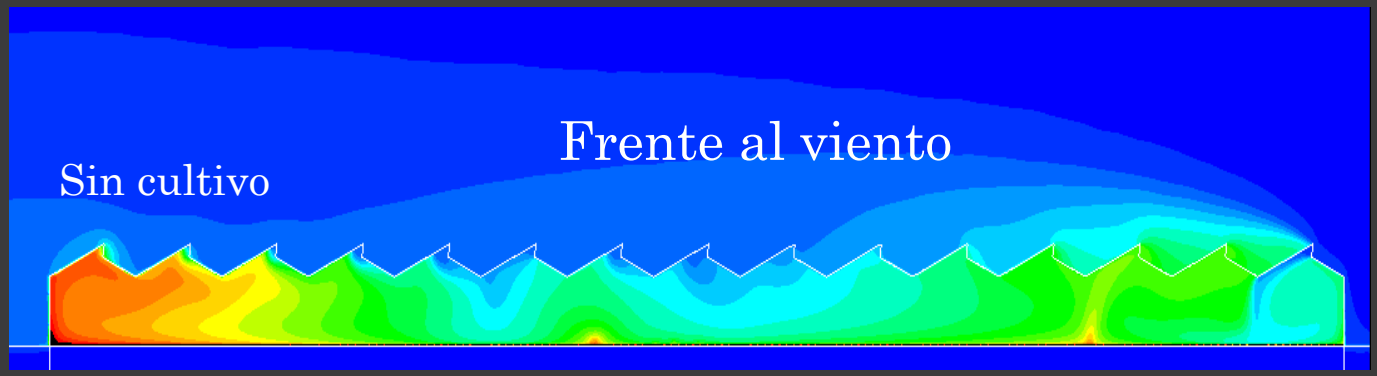


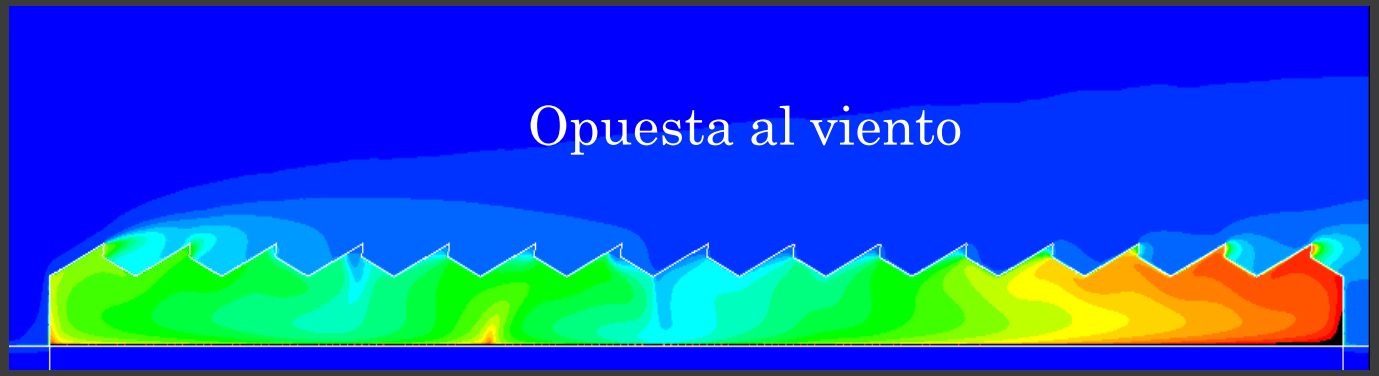
DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

R E S U L T A D O S

Pobre homogeneidad en la longitud del invernadero

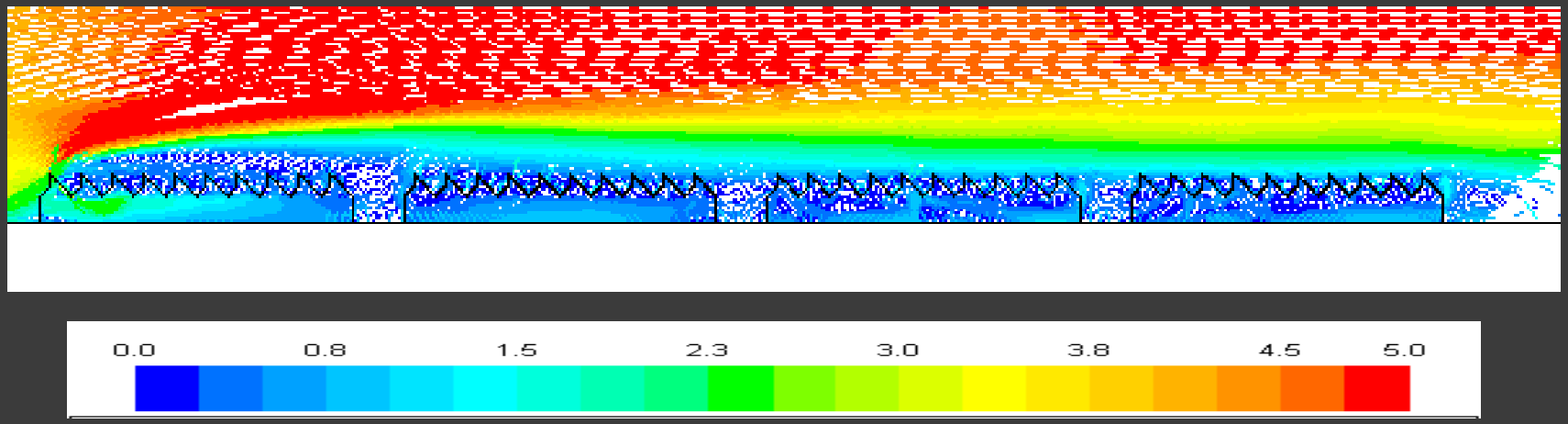
Temperatura (K)

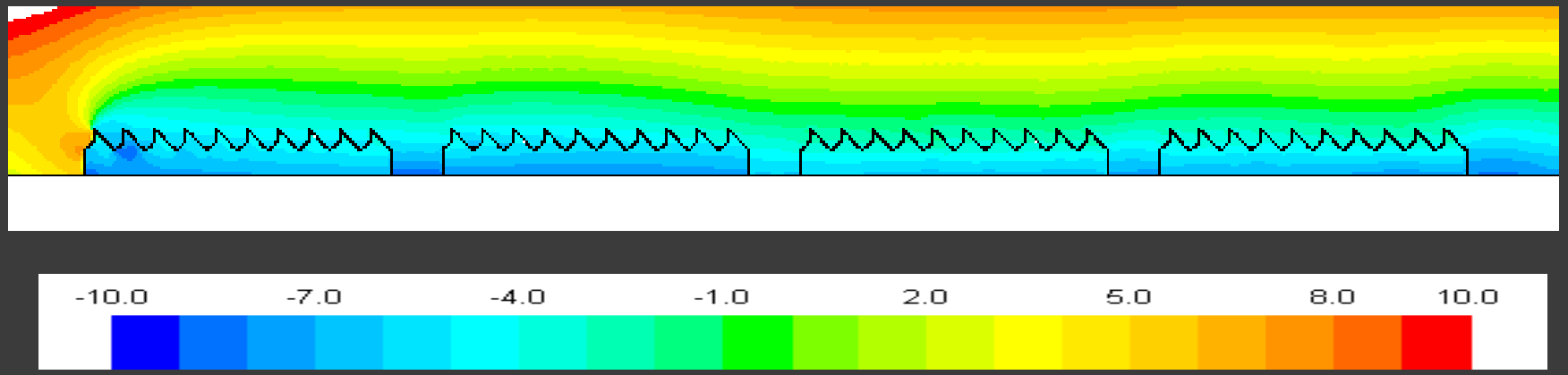




Potencial riesgo de daño a la estructura en las ventanas cenitales o en los cultivos cuando las ventanas cenitales se abren

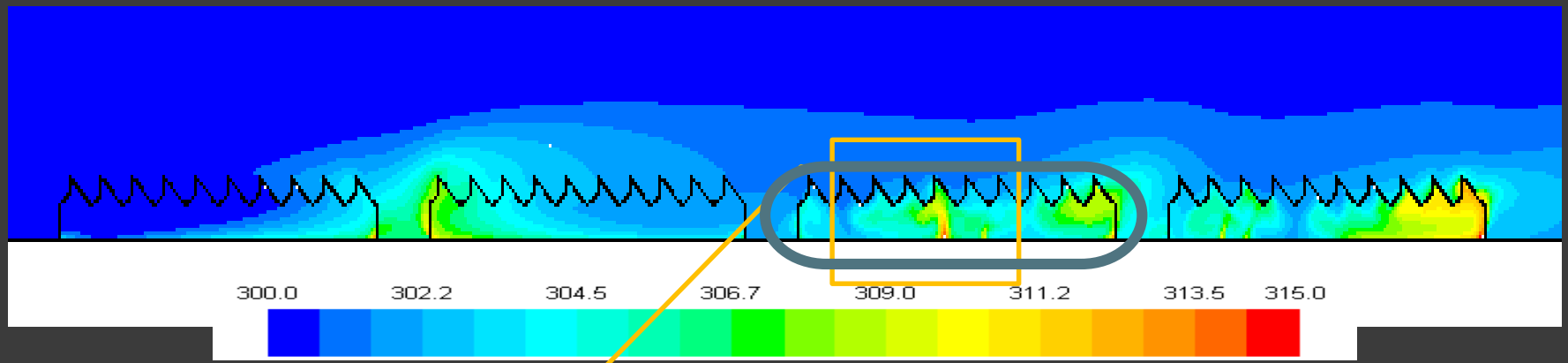
VECTORES DE VELOCIDAD



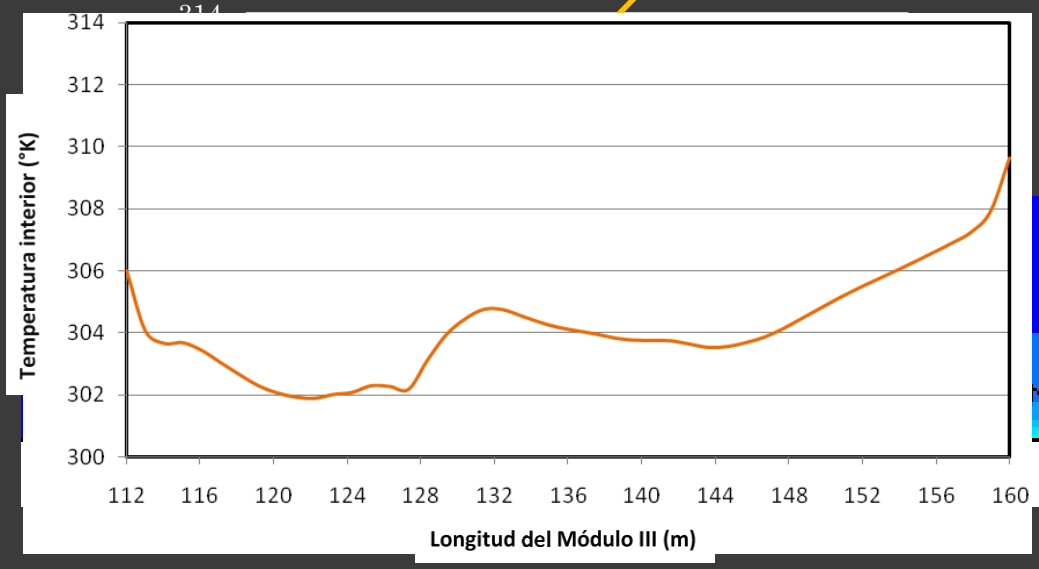


Diferencia de presiones (Pa) que origina los patrones de ventilación del caso expuesto

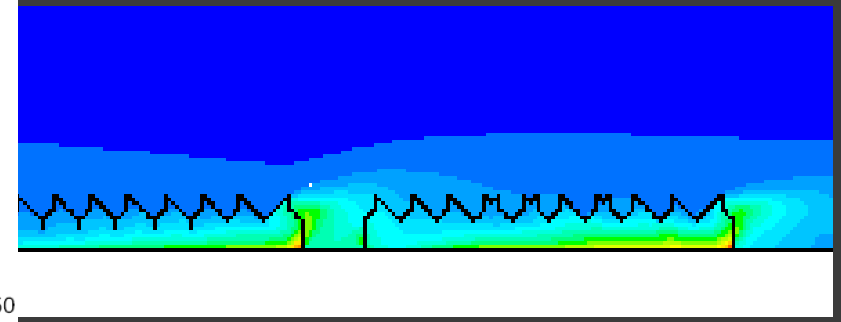
ANÁLISIS DE TEMPERATURAS



Distribución espacial de temperaturas (K) en los 4 módulos y su interacción con el exterior



Perfil de temperaturas (K) en el Modulo3.



Conclusiones

La dinámica de fluidos, herramienta numérica que mediante el planteamiento de ecuaciones que describen el movimiento de un fluido, puede ser considerada como una robusta herramienta en el análisis de la ventilación como forma de regular el clima del invernadero.

Uno de los principales problemas de los invernaderos, es la dificultad que el viento tiene para ser evacuado; el usos de mallas anti-insectos y las bajas velocidades contribuyen en la disminución de la tasa de ventilación, consecuentemente el incremento de las temperaturas y heterogéneos gradientes térmicos.

En invernaderos modulares, la ventilación lateral cobra mayor importancia sobre la cenital; la ventana cenital contribuye en la expulsión del aire caliente; no obstante es importante una modificación estructural que permita que aire fresco también entre.