



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



# USO DE CFD COMO HERRAMIENTA PARA LA MODELACIÓN Y PREDICCIÓN NUMÉRICA DE LOS FLUIDOS: APLICACIONES EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS Y AGRICULTURA

Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez  
Cándido Ramírez Ruiz  
Erick Dante Mattos Villarroel



Fecha de presentación del 09 al 11 de junio de 2021





# Contenido

1. Conceptos y aplicaciones de CFD
2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos
3. Ejemplos en estructuras hidráulicas y agricultura
4. Conclusiones





# Contenido

1. Conceptos y aplicaciones de CFD
2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos
3. Ejemplos en estructuras hidráulicas y agricultura
4. Conclusiones



## Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

Es una rama de la mecánica de fluidos **que utiliza métodos numéricos y algoritmos para PREDECIR las ecuaciones fundamentales**, que permiten conocer de manera cualitativa y cuantitativa el **comportamiento de los fluidos**.

### ¿Qué es CFD?

Dinámica de Fluidos Computacional

Mecánica de Fluidos



Cálculo Numérico

En la vida cotidiana



## Ventajas & Desventajas

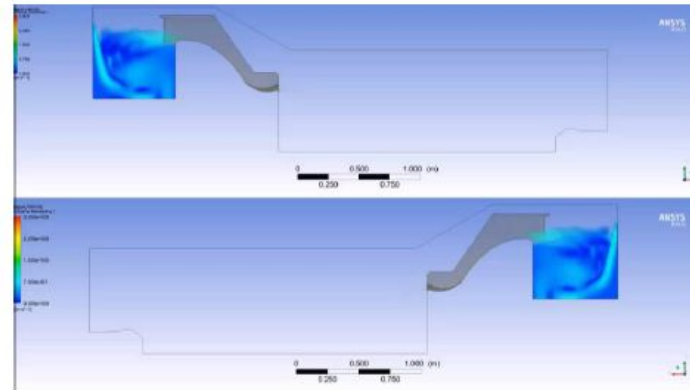
Propiedades físicas y químicas.

Evita costosos experimentos.

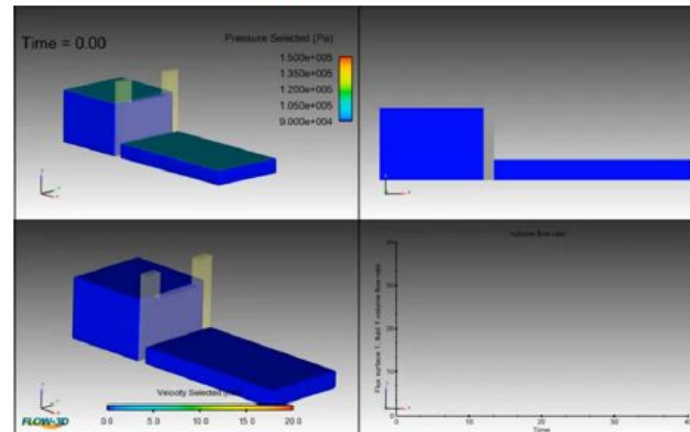
Visualización y animación de las variables del fluido.

No está sujeta a condiciones de criterios de similitud y tamaño de modelo.

Gran cantidad de cálculos en poco tiempo.



Modelo 2D



Modelo 3D

Requerimiento computacional.

Calibración con modelos experimentales (calidad de resultados)

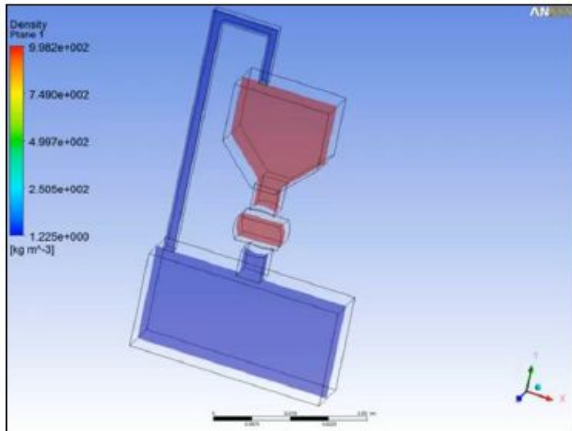
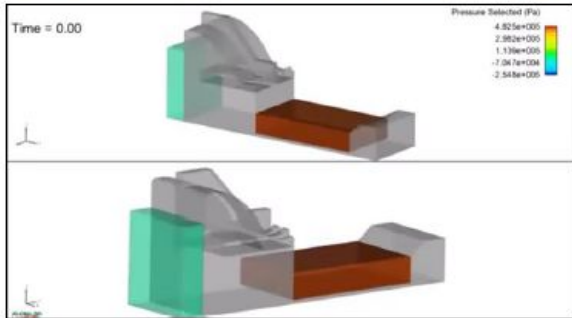
Licencia comercial del software.

Manejo y uso del software.

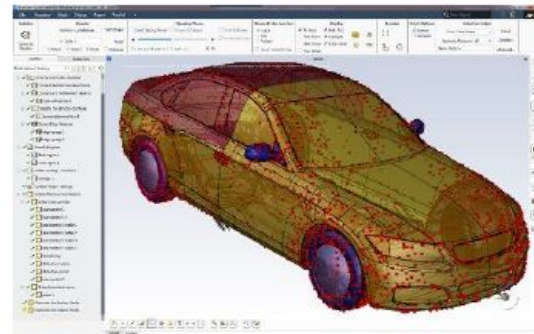
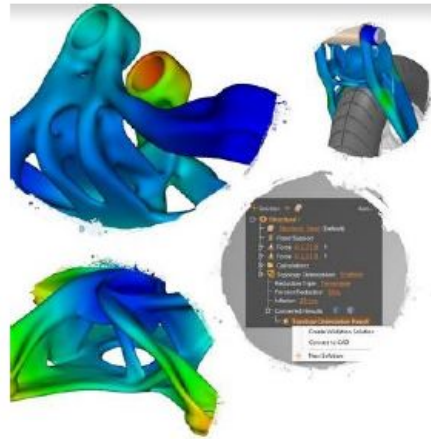


# Aplicación del CFD

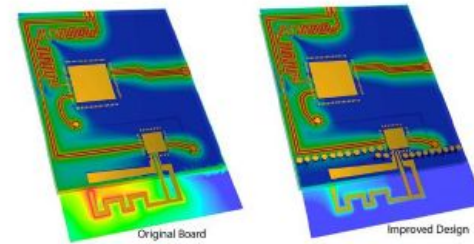
Desde muchos puntos de vista:



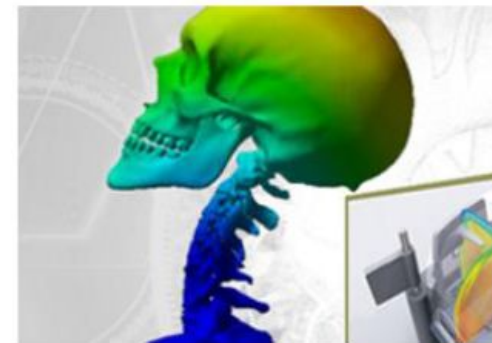
Ingeniería civil y obras hidráulicas



Diseño aerodinámico



Un análisis de radiofrecuencia (RF) de un dispositivo de comunicación inalámbrico

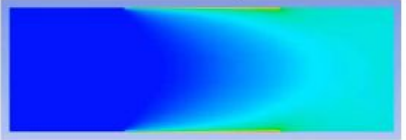


Biomédica

# Aplicación del CFD



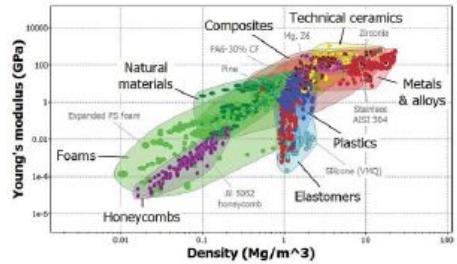
Contorno de Temperatura



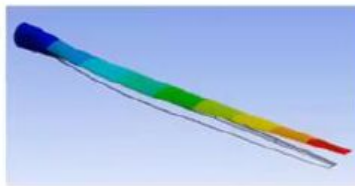
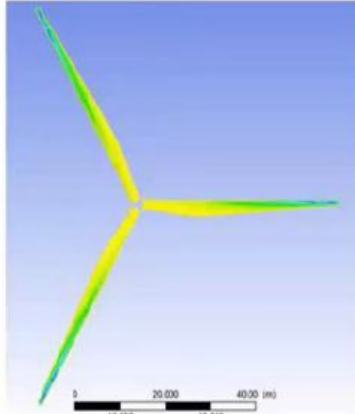
Laboratorio  
Termo-Fluidos



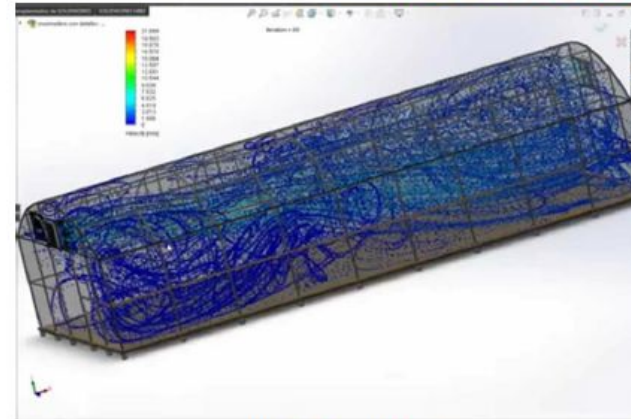
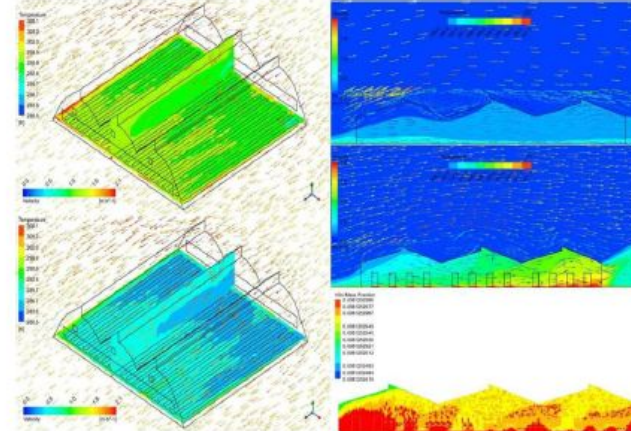
Diseño de Drones



Optimización de materiales  
(Mecánica de materiales)

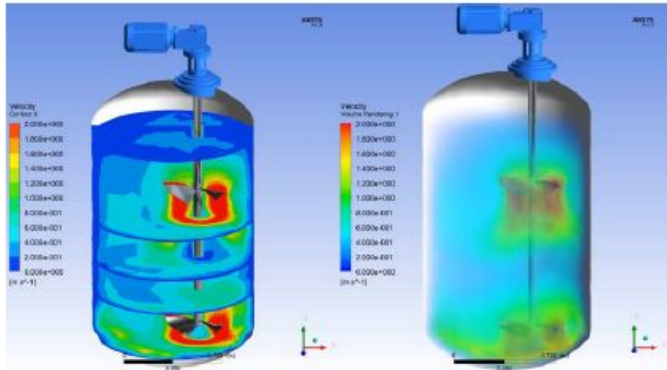


Energía eólica y  
Aeroespacial

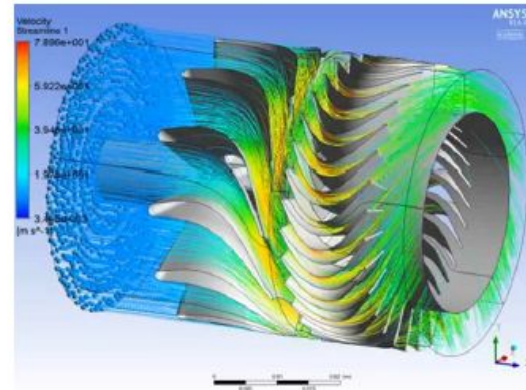


Agricultura

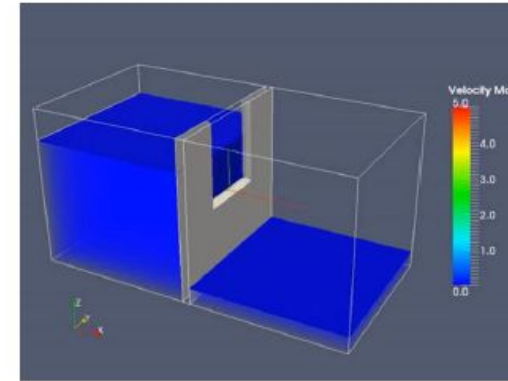
# Aplicación del CFD



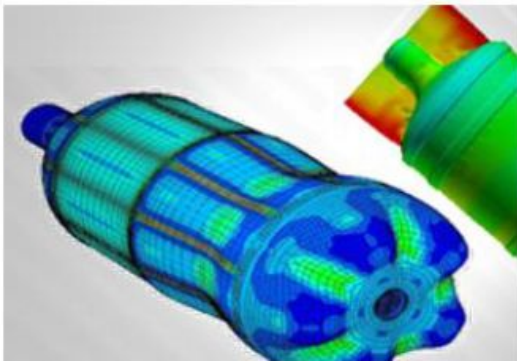
Industria de procesos



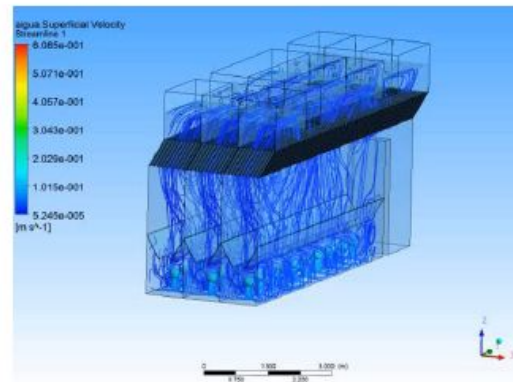
Industria de procesos



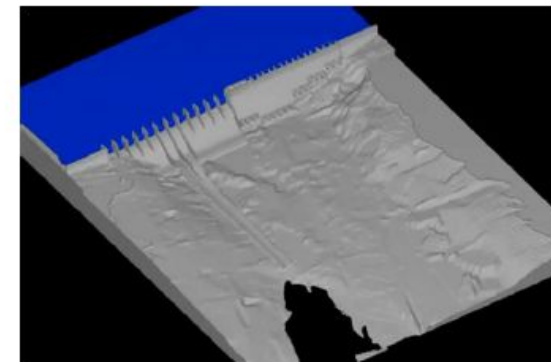
Canales hidráulicos



Industria alimentaria



Industria de procesos



Hidrología superficial





# Contenido

1. Conceptos y aplicaciones de CFD
- 2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos**
3. Ejemplos en estructuras hidráulicas y agricultura
4. Conclusiones





## Ley de la Conservación de la Masa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{U}) = 0$$

## Ley de Conservación de momento (Ecuación de Navier-Stokes):

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho u U) &= -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}(u)) + S_{Mx} \\ \frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho v U) &= -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad}(v)) + S_{My} \\ \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho w U) &= -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad}(w)) + S_{Mz}\end{aligned}$$





## Modelos de Turbulencia utilizados en la CFD

### Transporte de la Energía Cinética Turbulenta (k):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k U) = \text{div} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad}(k) \right] + P_k - \beta^* \rho k \omega$$
$$P_k = \left( 2u_t S_{ij} \cdot S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right)$$

### Transporte de la Frecuencia Turbulenta ( $\omega$ ):

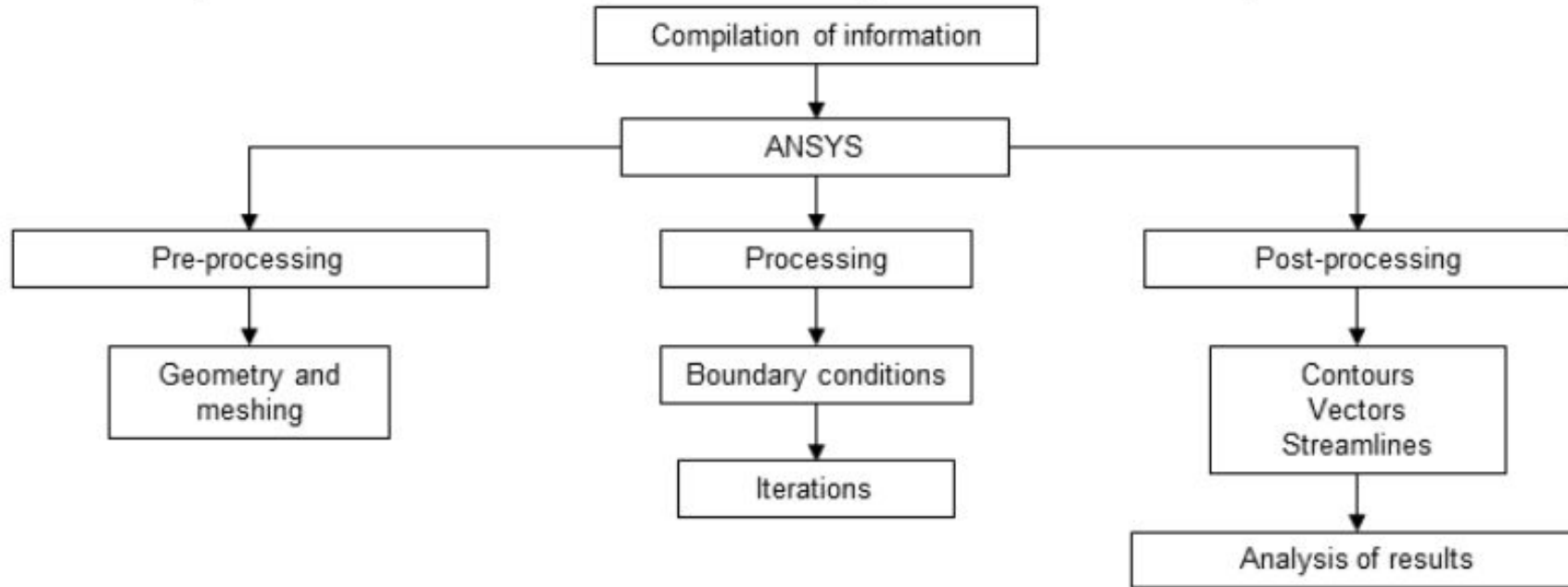
$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega U) = \text{div} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 1}} \right) \text{grad}(\omega) \right] + \gamma_2 P_\omega - \beta_2 \rho \omega^2 +$$
$$2 \frac{\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k}$$
$$P_\omega = \left( 2u_t S_{ij} \cdot S_{ij} - \frac{2}{3} \rho \omega \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right)$$

### Ecuación de Transporte de Especies:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i$$

### Ecuación de la Energía:





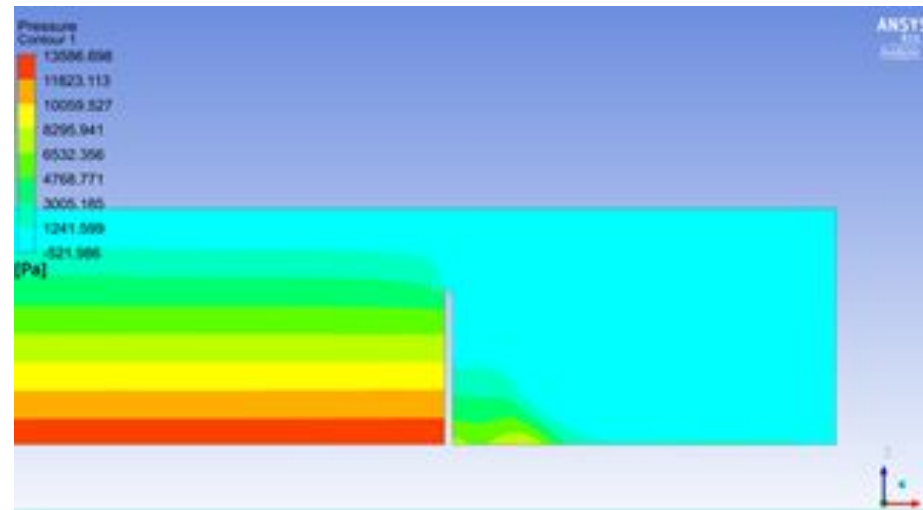
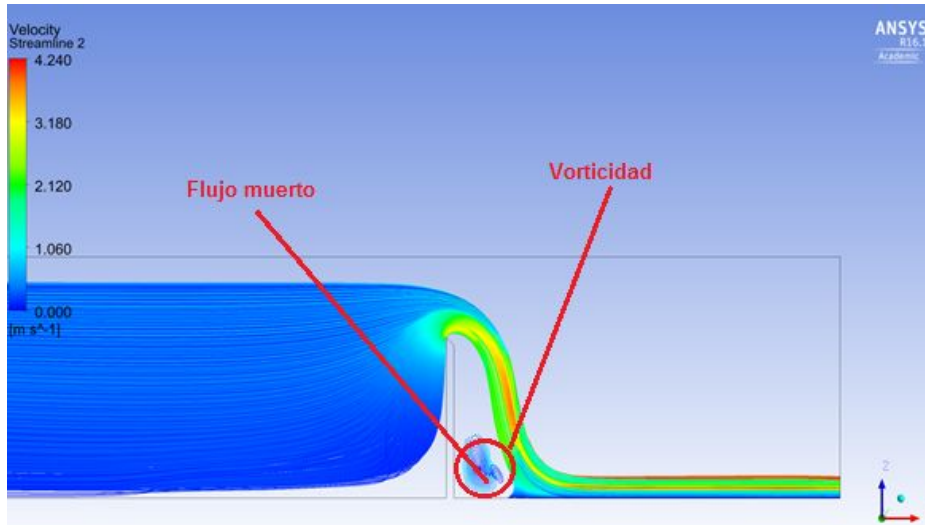


# Contenido

1. Conceptos y aplicaciones de CFD
2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos
- 3. Ejemplos en estructuras hidráulicas y agricultura**
4. Conclusiones

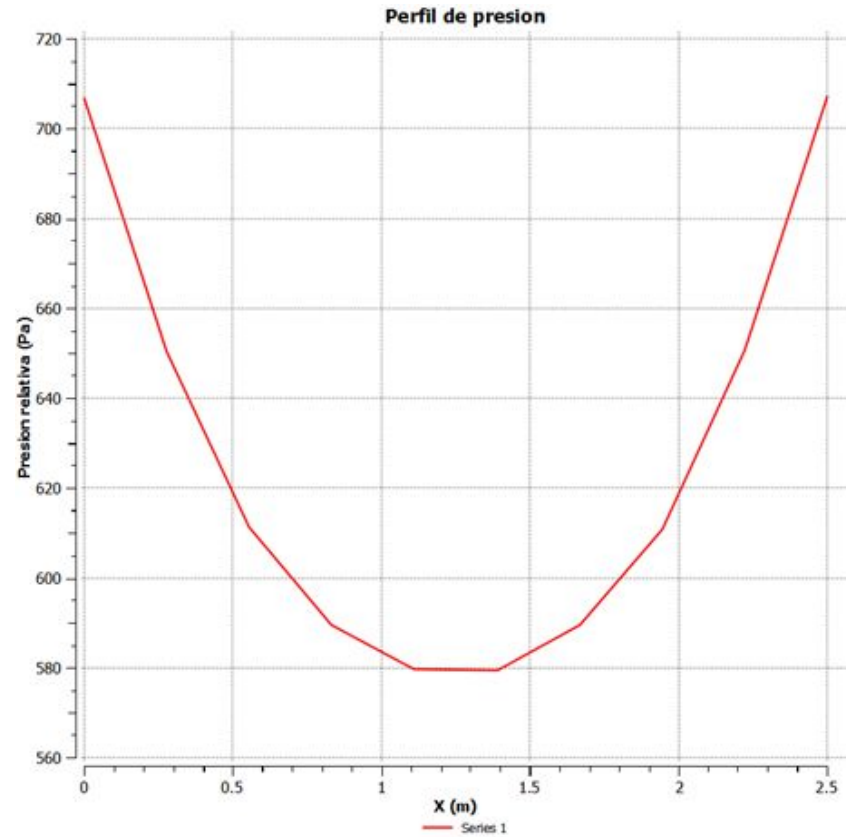
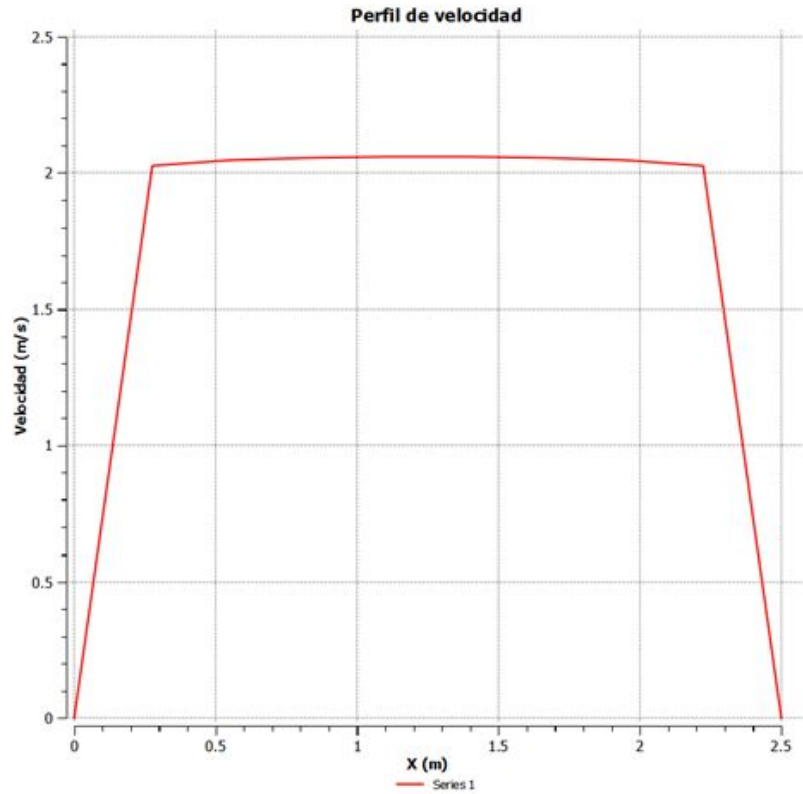


## Vertedor



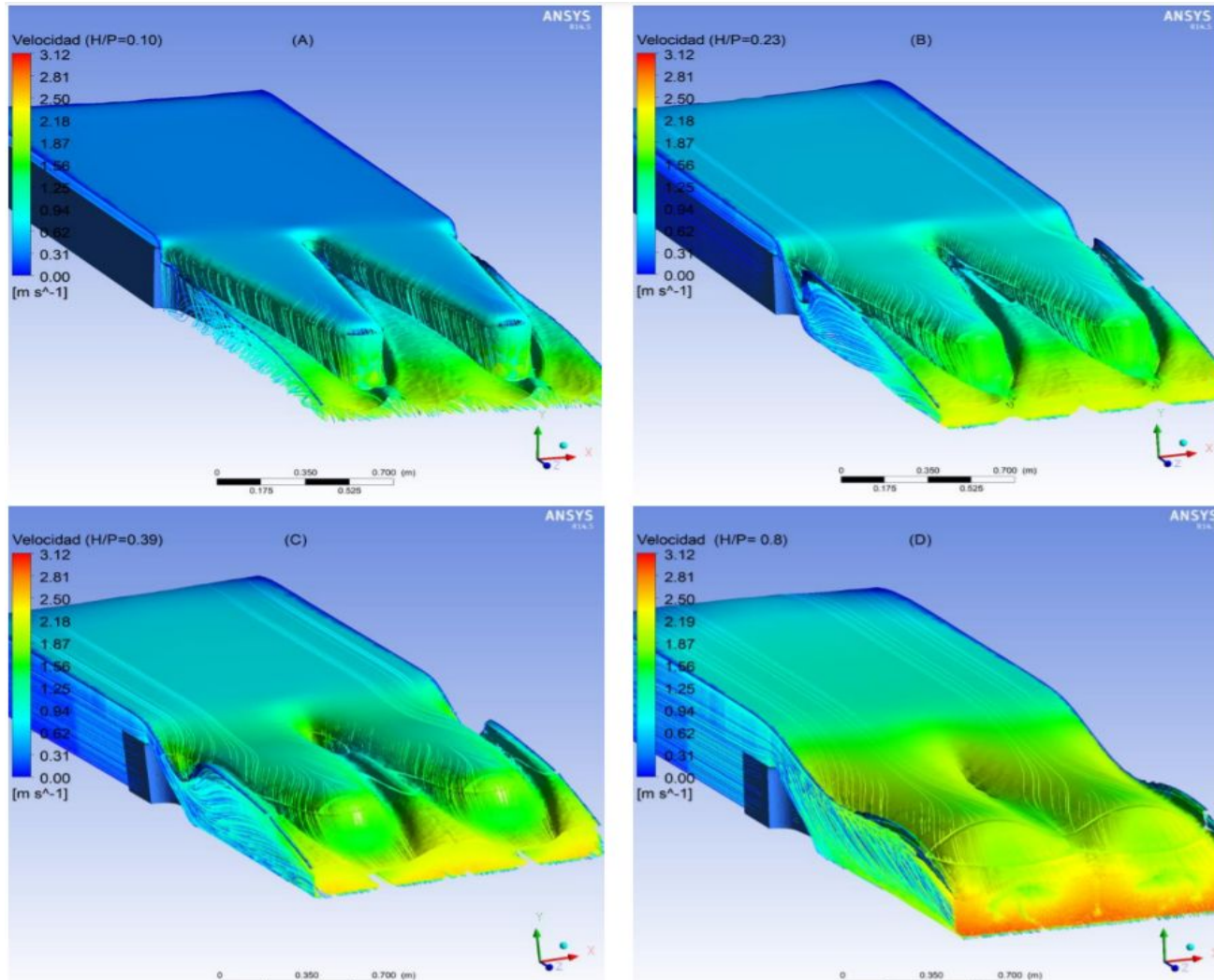
Mattos-Villaroel et al., 20

Distribución de presiones y velocidades en un vertedor de pared delgada



Perfiles de velocidad y presión en la cresta vertedora





Mattos-Villaroel et al., 2019

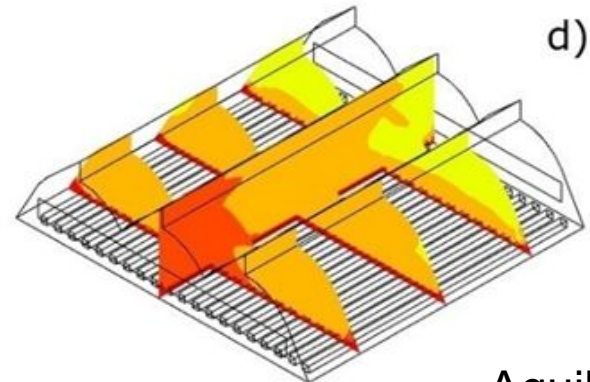
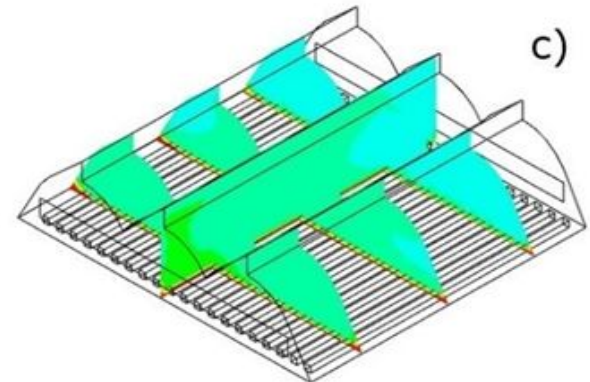
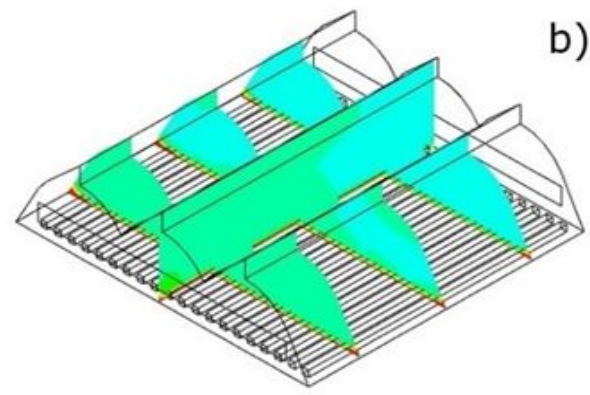
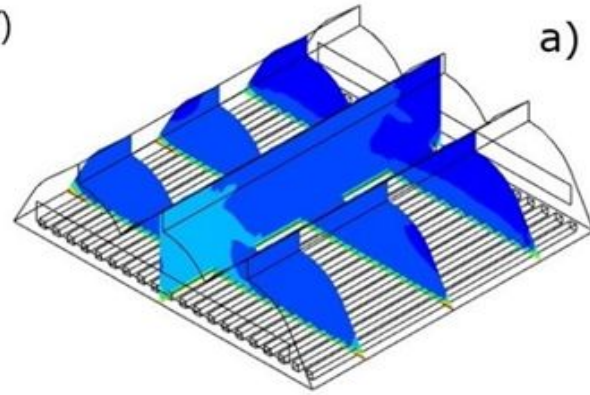
Condiciones de aireación en vertedor tipo laberinto. (A) lámina adherida a la pared del vertedor, (B) aireado, (C) parcialmente aireado, (D) ahogado.





# Invernadero

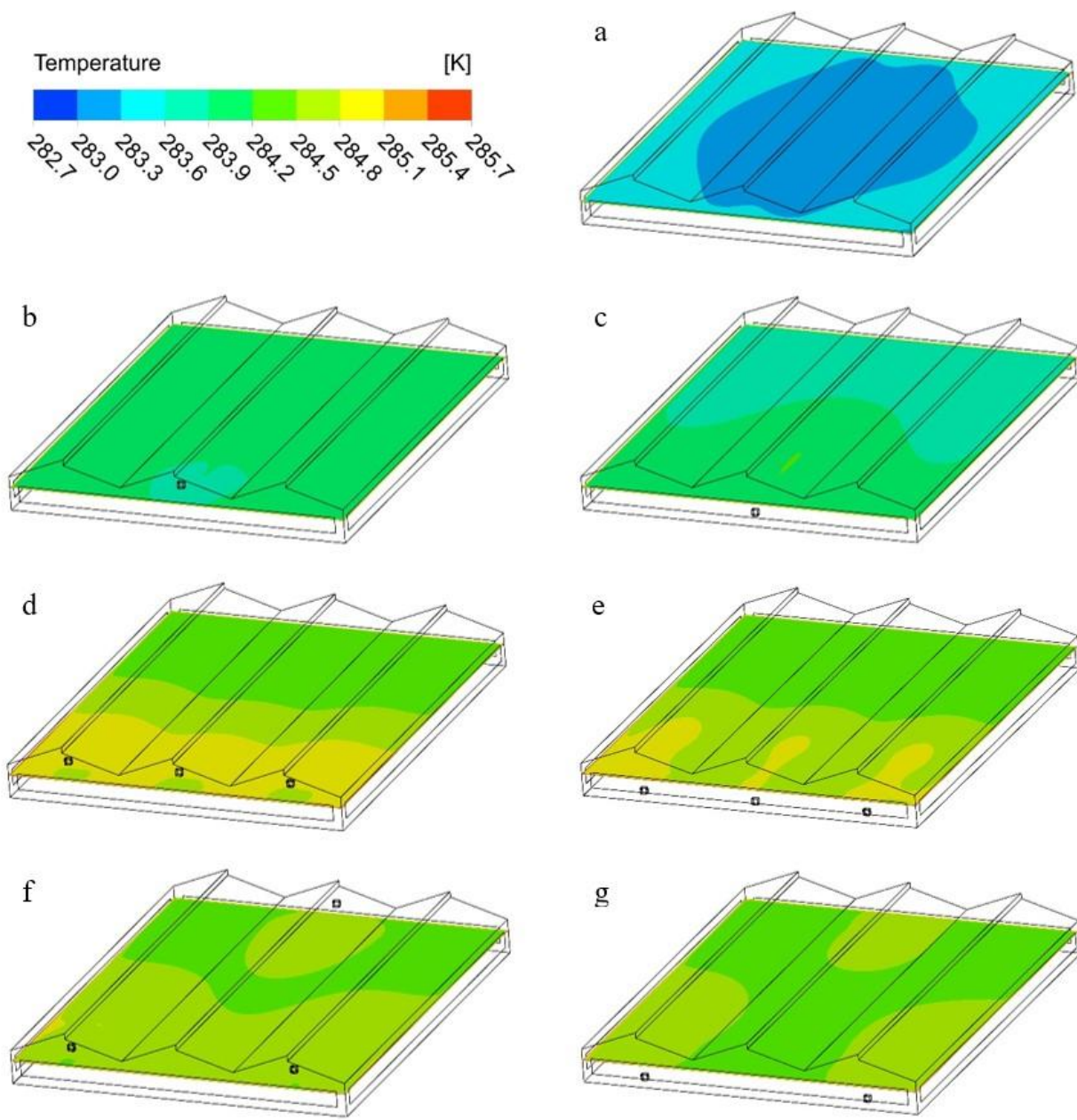
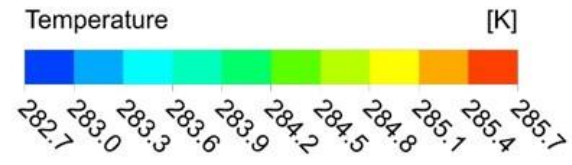
Temperatura (K)



Aguilar-Rodriguez et al., 2020

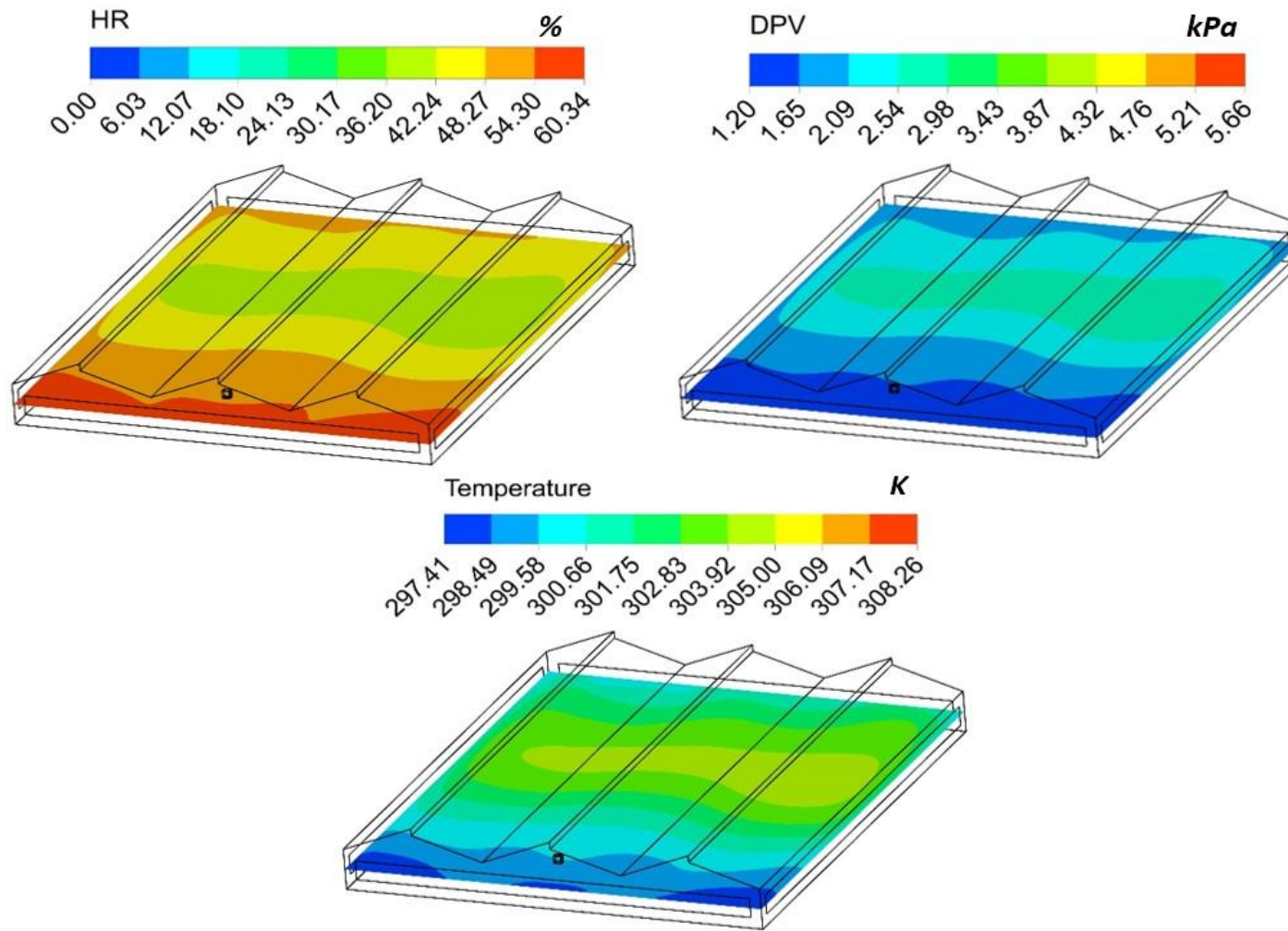
Gradiente térmico durante el año en dos municipios con condiciones climáticas diferentes





Aguilar-Rodriguez et al., 2020

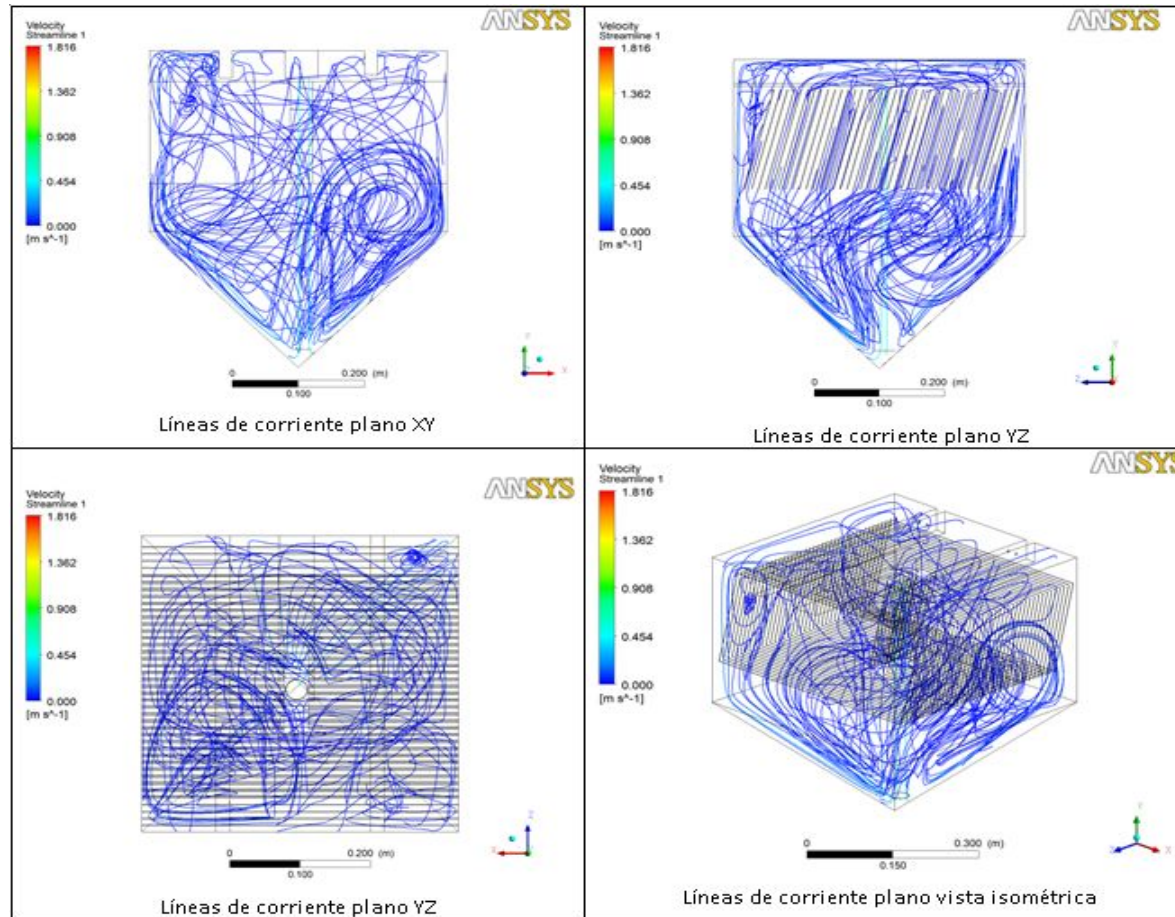
Efecto de la posición y dirección de los calefactores en un invernadero a 2 m del suelo.



Aguilar-Rodriguez et al., 2020

Indicadores ambientales para medir el confort ambiental de los cultivos

# Sedimentador



Ramirez-Ruiz, 2019

Líneas de corriente dentro del sedimentador experimental en estado estacionario.



# Contenido

1. Conceptos y aplicaciones de CFD
2. Ecuaciones fundamentales del movimiento de fluidos
3. Ejemplos en estructuras hidráulicas y agricultura
- 4. Conclusiones**





Una vez validado, CFD como herramienta para analizar y predecir el comportamiento fluidodinámico de un vertedor, sedimentador o invernadero, es posible estudiar el comportamiento hidráulico y térmico de los objetos de estudio y mejorar su funcionamiento realizando configuraciones en la geometría del concepto computacional. Los resultados numéricos muestran concordancia con los experimentales con errores menores al 10%, permitieron caracterizar el comportamiento de la descarga en los vertedores, el funcionamiento hidráulico de los sedimentadores y caracterizar el ambiente dentro de los invernaderos. Finalmente se concluye que CFD es una herramienta poderosa que permite predecir los fenómenos fluidodinámicos que se presentan en estructuras agrícolas e hidráulicas.





"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



# ¡GRACIAS!

**Dr. Cruz Ernesto Aguilar Rodríguez**

**TecNM Campus Los Reyes**

 [ernesto.ar@losreyes.tecnm.mx](mailto:ernesto.ar@losreyes.tecnm.mx)

