



1er Congreso Internacional  
CEMIE-Océano

# Análisis teórico experimental del comportamiento de la estela de agua en el modelo de una turbina marina bajo condiciones hidrodinámicas de la Isla de Cozumel utilizando velocimetría por imágenes de partículas

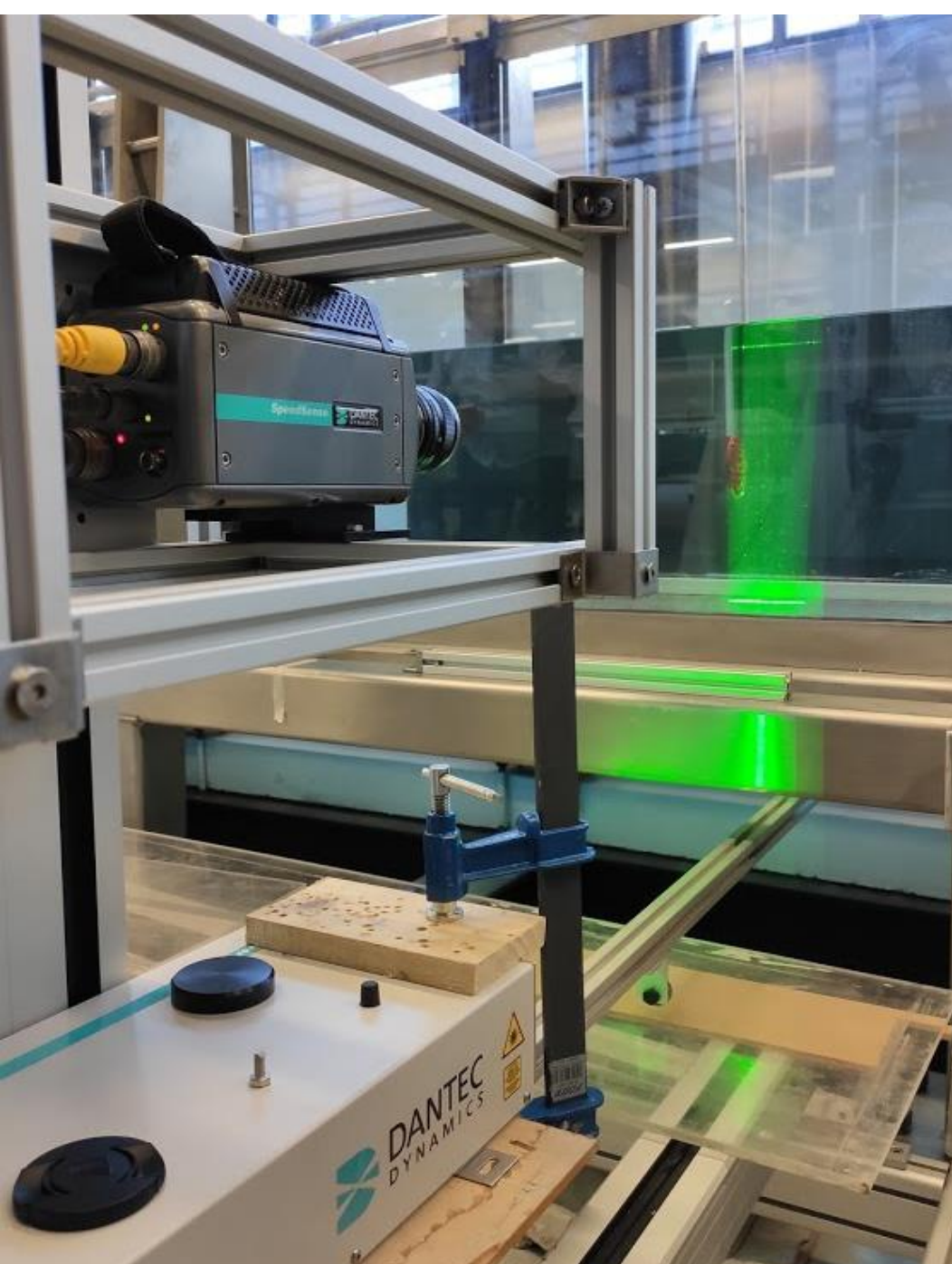
Jonathan Emmanuel Benitez Gallardo

II-UNAM  
FI-UAEM



## Introducción

Como tema central del trabajo de Tesis del estudiante que para obtener el grado de ingeniero en sistemas energéticos sustentables se desarrolla una investigación bajo un entorno teórico-experimental en el canal hidrodinámico del Instituto de Ingeniería de la UNAM, modelando condiciones hidrodinámicas anteriormente reportadas de la Isla de Cozumel.



## Objetivos

Analizar teórica y experimentalmente el comportamiento de la estela de agua en el modelo de una turbina marina.

Dar respuesta al espaciamiento entre turbinas para el arreglos de turbinas de eje horizontal.

Analizar con un diseño factorial la recuperación del fluido a partir del comportamiento y restablecimiento de la velocidad de referencia y de la vorticidad en el fluido.

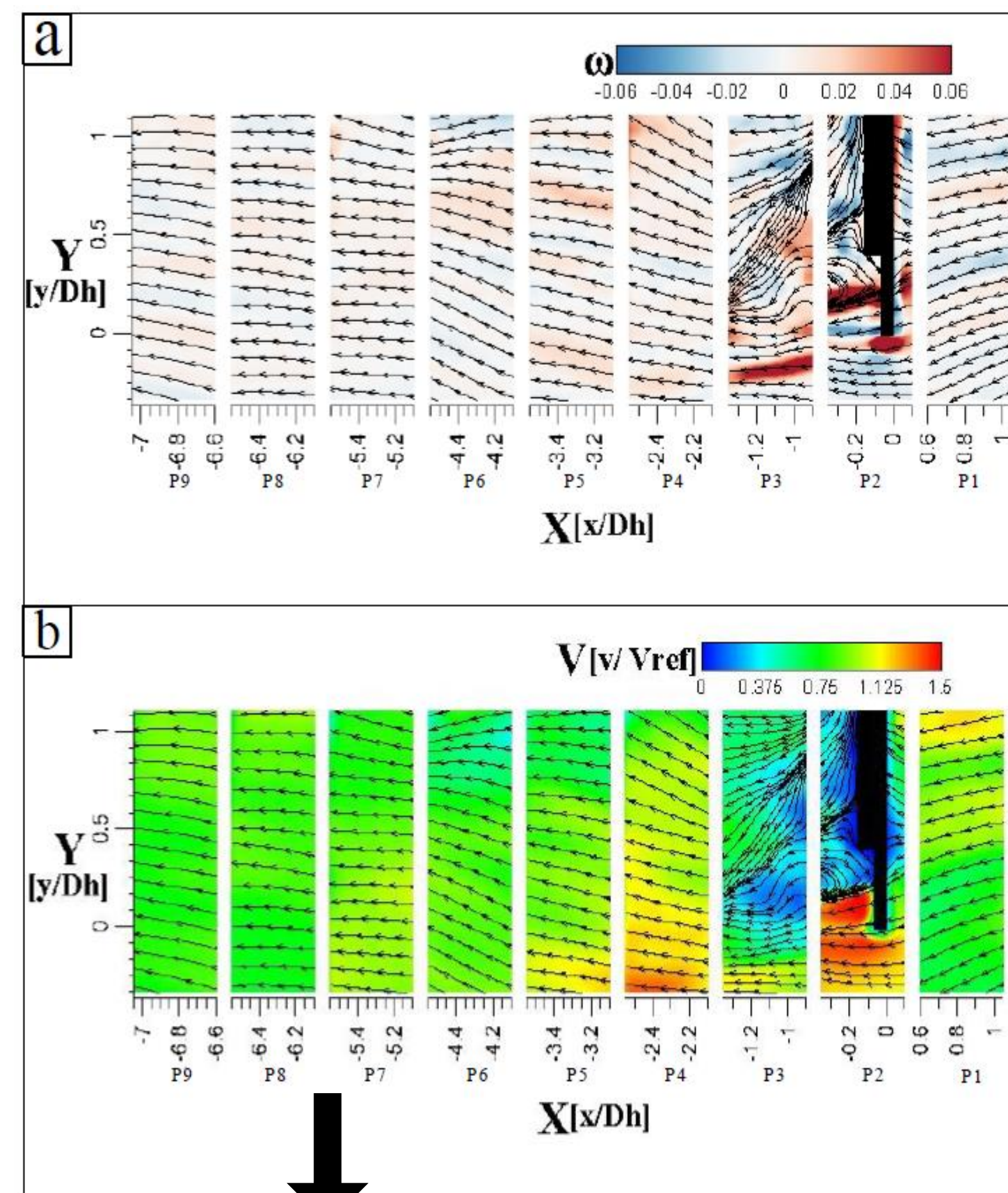
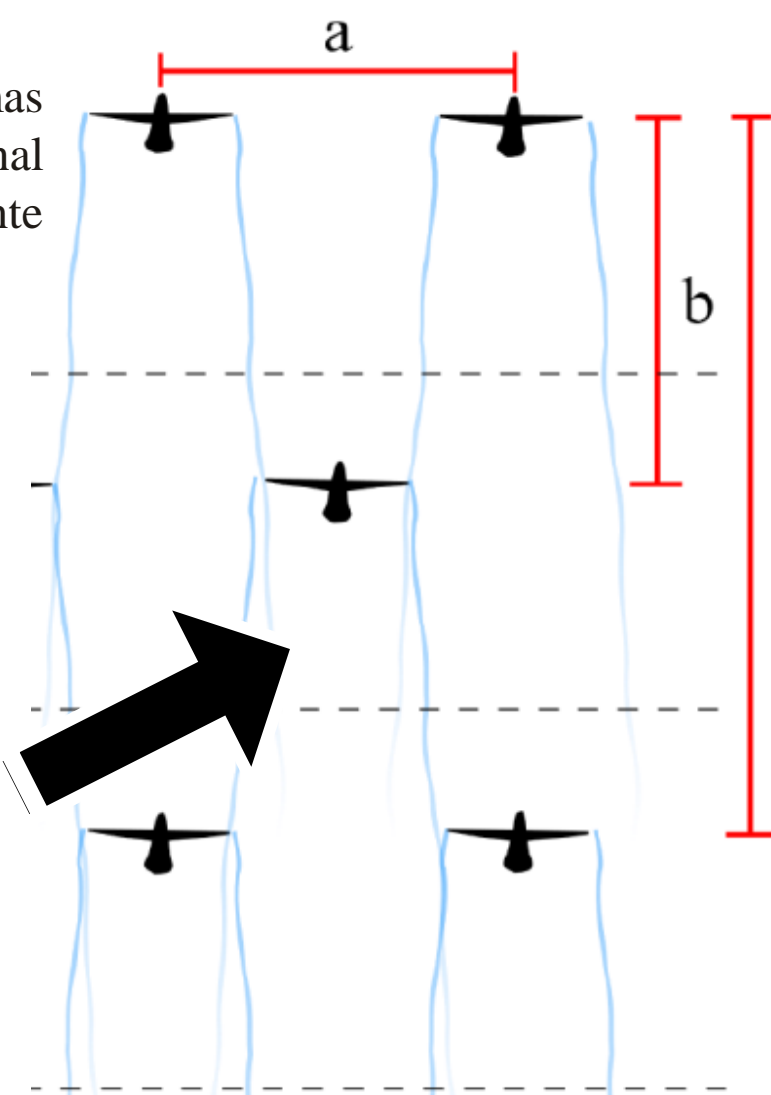
## Proceso experimental

Se utilizaron 3 discos actuadores con la misma relación de porosidad y distinto arreglo de ésta. Los casos experimentales relacionaban cada disco poroso con 5 velocidades de corriente distinta en el canal hidrodinámico. Así bien, cada caso experimental se desarrollaba 3 veces para lograr asegurar replicabilidad, reproducibilidad y repetibilidad de los resultados.

**En resumen: 3 discos, 5 velocidades de corriente, todos hechos 3 veces.**

Tomando en cuenta que el *Particle image velocimetry* PIV requiere un recorrido haciendo 10 tomas a lo largo del canal hidrodinámico por cada caso experimental, se obtuvieron 450 bases de datos para la creación de 45 imágenes objetivo.

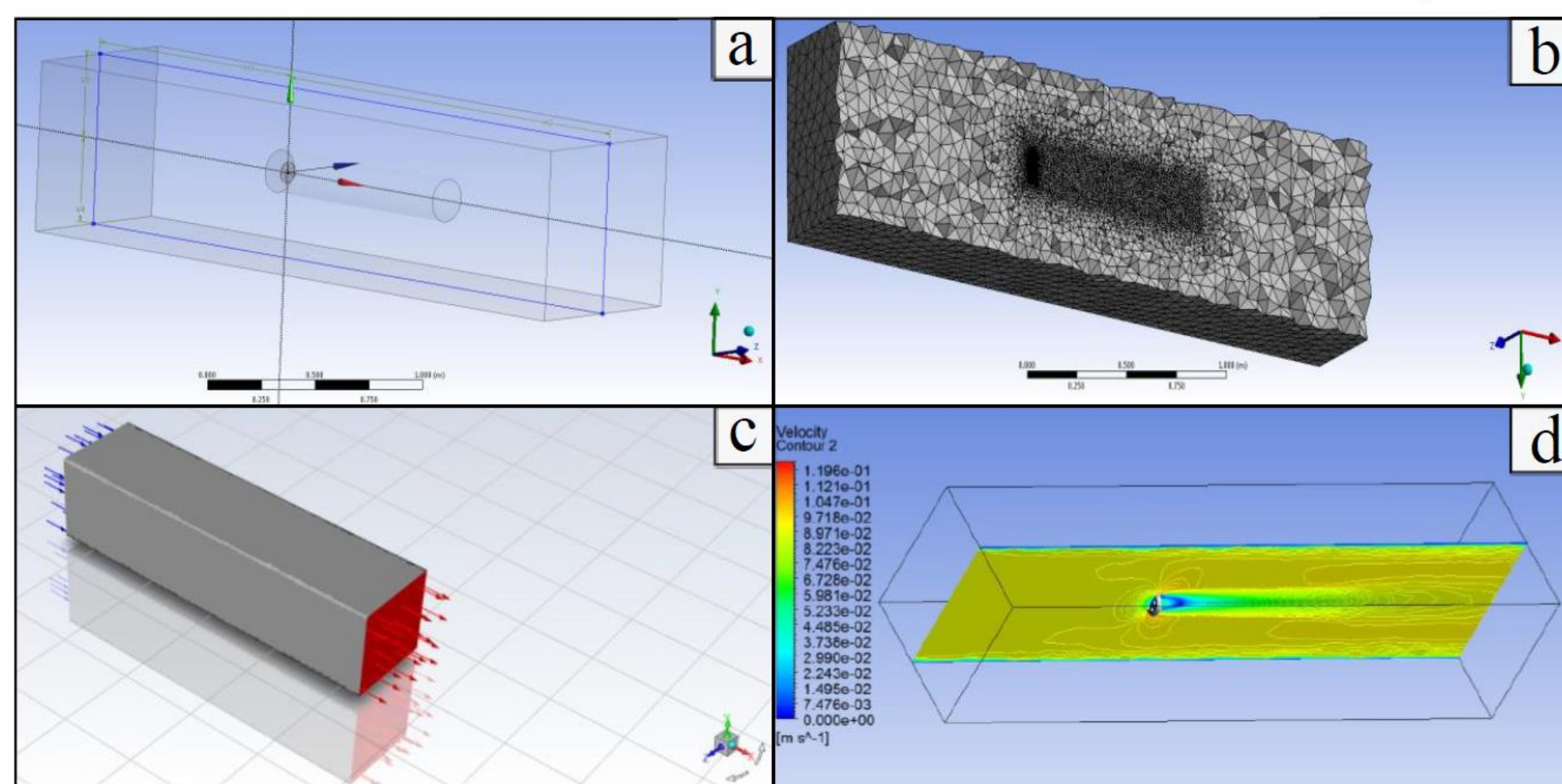
Para la creación de las imágenes finales, las bases de datos deben ser exportadas de forma individual para ser analizadas y procesadas en softwares externos



## Análisis numérico

Para el análisis numérico se desarrolló una maya con 1217690 nodos y 3494066 elementos. Se puede notar que los elementos de la parte exterior son mas grandes y robustos mientras que los más cercanos al disco y a la estela se vuelven más pequeños y refinados alcanzando mínimos cercanos a un milímetro en los orificios y en las curvas de la geometría.

El caso de estudio que se modela es el caso utilizado en el disco actuador A1 con la velocidad máxima que es de 90 milímetros por segundo (30DA1V90), teniendo resultados exitosos pues la regeneración de la estela en cuanto a mediciones de velocidad y vorticidad coincide con la respuesta que fue obtenida físicamente en las corridas experimentales. A su vez, las gráficas de presión y velocidad del fluido al pasar por el disco coinciden con la investigación tórica reportada en el trabajo.



$$\bar{\omega} = \text{rot}(\bar{V}) = \nabla \times \bar{V} = \left( \frac{\partial W}{\partial y} - \frac{\partial V}{\partial z} \right) \bar{i} + \left( \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial W}{\partial x} \right) \bar{j} + \left( \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} \right) \bar{k}$$

Imagen final correspondiente a una de las repeticiones del caso experimental utilizando el disco actuador A2 y velocidad de corriente a 30mm.

Los discos estaban diferenciados por el arreglo de porosidad, contando el primero de éstos con 5 orificios de frente al fluido, el siguiente con 13 y el último con 33 de ellos. Es valioso recordar que todos tienen la misma relación de porosidad, esto con el objetivo de analizar el comportamiento del fluido respecto al cambio del arreglo de porosidad en cada disco.

El objetivo de las imágenes finales es que contengan la mayor cantidad de información posible y que dicha información se pueda notar a simple vista para el lector en ambos casos: (a) vorticidad y (b) velocidad.

Con la siguiente imagen, obtenida de la misma simulación numérica se puede notar que el comportamiento físico esperado se lleva a cabo con éxito pues ocurre lo que con la teoría se esperaba; La velocidad del fluido disminuye y conforme sale del disco tiende a recuperarse mientras que la presión sufre una caída abrupta tras su paso por el disco.

El fluido se mueve de derecha hacia la izquierda. Los colores de las imágenes están normalizadas respondiendo a valores entre 0 y 1.5 respecto a la velocidad de referencia para el caso b, mientras que en el caso a los colores hacen referencia a la tendencia que tienen los vectores al giro o creación de un vórtice. Las líneas por encima de dichos colores hacen referencia a la función corriente de las partículas.

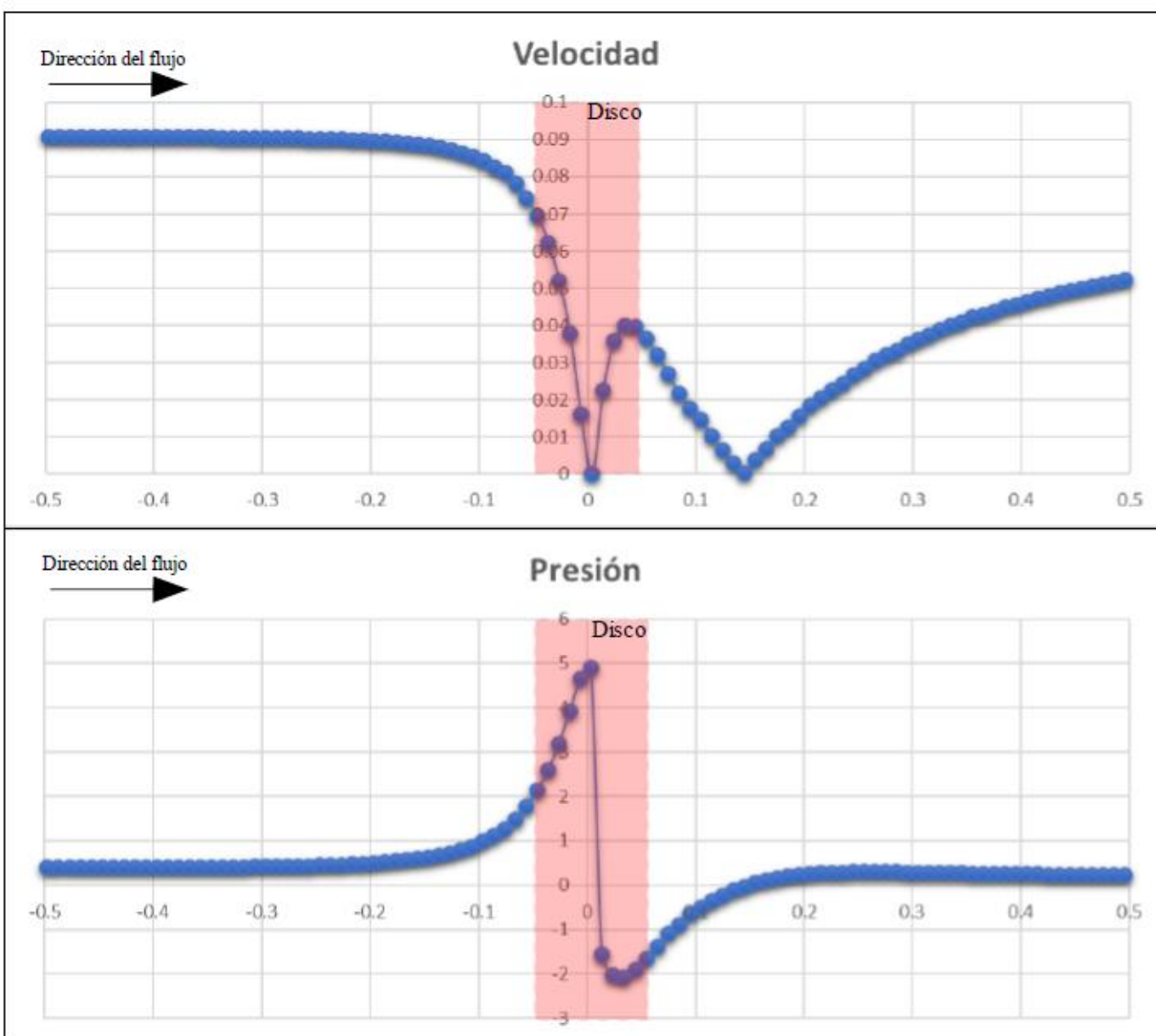
las distancias en X y Y se muestran adimensionales, en donde la distancia aún dimensional es dividida entre el diámetro hidráulico con las unidades de medida correspondientes (mm, cm, m, etc.) de modo que el número uno al frente indica un diámetro hidráulico y la parte final hacia la izquierda indica que se ha avanzado hacia atrás siete diámetros hidráulicos. En el eje de las ordenadas Y, el punto de referencia se estableció en la parte más baja del disco actuador.

Por análisis numéricos hechos anteriormente se ha asegurado que el fluido en los extremos laterales de las turbinas (Y discos actuadores para su estudio) puede experimentar aceleraciones de alrededor del 22% respecto con su velocidad de referencia, sin embargo gracias a la actual investigación se logra comprobar físicamente que el fluido no tiene como límite el veintidós por ciento de aceleración en esa zona sino que puede sufrir aceleraciones hasta del 50% por lo que se puede suponer que el valor de 22 por ciento es un valor propuesto a partir de asegurar llegar a dicho valor y no como un valor máximo al cual aspirar.

## Análisis multifactorial de los resultados

Para el caso actual se realiza todo el proceso para analizar la respuesta en cuanto a la recuperación de la velocidad de referencia y de forma análoga analizando las respuestas del comportamiento de la vorticidad en la estela del fluido, ambos resultados, hallados en las mismas corridas experimentales. Se toman como referencia para saber la influencia de los factores y que tan grande es dicha influencia respecto a las respuestas.

Cabe mencionar que para la toma de decisiones para la puesta en marcha las distancias entre turbinas aquí propuestas tendrán que validarse con conocimientos empíricos de expertos más variables controladas como el tipo de turbinas que se usan así como el tamaño de estas. El actual trabajo gracias a las observaciones propone el uso de más de un tamaño de turbinas para el mejor aprovechamiento de la energía.



El tamaño de la estela depende principalmente de la velocidad que traiga el fluido, entré mayor sea la velocidad a la que se enfrente la turbina mayor será la distancia que alcance la estela y los procesos como turbulencia y vorticidad también se incrementarán en relación con la velocidad de entrada.

El arreglo de la porosidad no tiene efecto sobre la distancia que alcanza a extenderse la estela por detrás de una turbina de eje horizontal pero sí en el caos que experimenta el fluido por detrás de una turbina.

Además de la extensión de la estela por detrás de una turbina se debe considerar una zona de frenado del fluido con extensión máxima de 1 diámetro hidráulico al frente de la turbina.

La distancia óptima para colocar una turbina por detrás de otra se encuentra entre 2.5 y 4 diámetros hidráulicos mientras que la decisión final, dependerá de implicaciones ambientales, civiles, legales, la cantidad de energía buscada y las especificaciones de las turbinas de eje horizontal que vayan a ser utilizadas.

## CONCLUSIONES

