

Análisis del comportamiento de una turbina Savonius en condiciones de superficie libre.

Nombres completos Estudiantes: Mateo Velandia Suarez, Nicolás Ardila Vergara, Laura Catalina Ramírez

Nombre completo Docente Líder del Semillero: Juan Miguel Mantilla G.

Semillero de investigación, creación e innovación: FLUSS

Programa Académico: Ingeniería Mecánica

Institución: Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

El diseño de turbinas en canales con interfaz agua-aire plantea desafíos significativos en el campo de la ingeniería hidráulica. Este estudio investiga el comportamiento del flujo a través de una turbina sumergida y utiliza simulaciones avanzadas para modelar con precisión las interacciones entre los fluidos. La metodología empleada permite evaluar el rendimiento del diseño de la turbina en condiciones complejas y ofrece una solución para mejorar la eficiencia en sistemas de energía renovable.

PALABRAS CLAVES: turbina Savonius, superficie libre, simulación CFD, eficiencia hidrocinética, interfaz agua-aire.

INTRODUCCIÓN



Figura 1: Canal de hidráulica

El problema planteado forma parte del proyecto de investigación FLUSS, cuyo objetivo es investigar la viabilidad de las turbinas hidrocinéticas tipo Savonius de eje horizontal en ríos de montaña. El problema de simulación planteado busca responder a preguntas sobre el desempeño de la turbina en un entorno de laboratorio, antes de proceder a su construcción y diseño para un banco de pruebas de turbinas en el canal de pruebas hidráulicas del laboratorio de hidráulica.

Las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) son coeficientes adimensionales para el análisis a escala real de la turbina en el canal, para una estimación de las cargas sobre la estructura y medición del coeficiente de generación de potencia de la turbina, para posterior desarrollo de un prototipo a escala real.

| | Símbolo | Unidades | Descripción |
|---|------------|-----------------------------|----------------------|
| $C_p = C_m * TSR$ | C_p | Coeficiente de potencia | [1] |
| | C_d | Coeficiente de arrastre | [1] |
| | C_t | Coeficiente de sustentación | [1] |
| | C_m | Coeficiente de momento | [1] |
| $TSR = \frac{\omega R}{U_\infty}$ | F_d | Fuerza de arrastre | [N] |
| | F_t | Fuerza de sustentación | [N] |
| | M | Momento | [Nm] |
| $C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho A_t R U_\infty^2}$ | ω | Velocidad angular | [rad/s] |
| | TSR | Tip speed ratio | [1] |
| | U_∞ | Velocidad de referencia | [m/s] |
| | A_t | Área transversal | [m ² /s] |
| | e | Overlap ratio | [1] |
| $C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho A_t U_\infty^2}$ | ρ | Densidad del agua | [kg/m ³] |
| | R | Radio de la turbina | [m] |

Tabla 1: Glosario

METODOLOGÍA

Objetivo: Desarrollar un modelo numérico basado en dinámica de fluidos computacional en ANSYS para evaluar el desempeño de una turbina Savonius en un canal con superficie libre.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------|----------------------------------|
| U_∞ | 0.1250 [m/s] |
| $D_{turbina}$ | 0.1710 [m] |
| Δt | 0.01 [s] |
| $T_{simulación}$ | 20 [s] |
| $Re_{turbina}$ | 1.9393e+04 |
| TSR y valores asociados | |
| TSR | 0.4000, 0.6000, 0.8000, 1.0000 |
| RPM | 5.5844, 8.3766, 11.1688, 13.9610 |

Tabla 2: Tabla de parámetros de la simulación

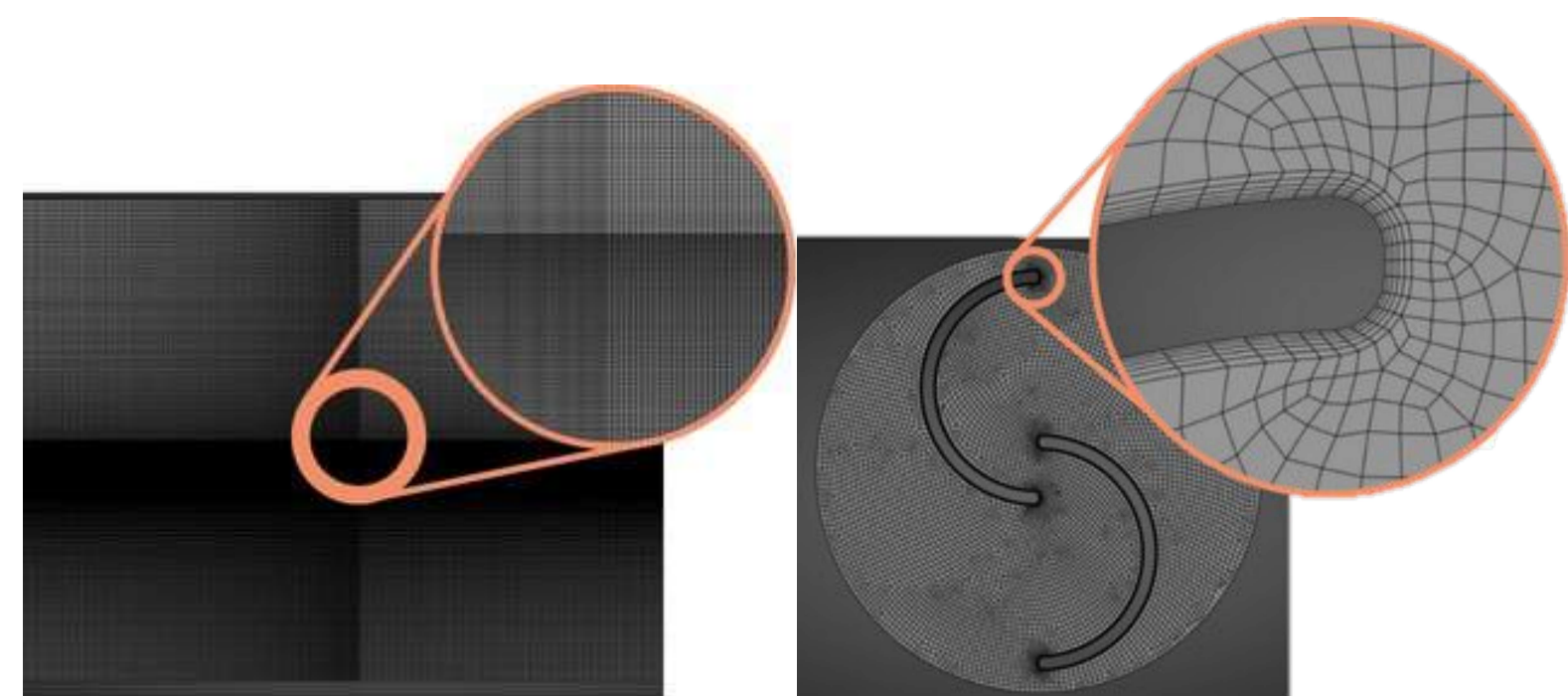
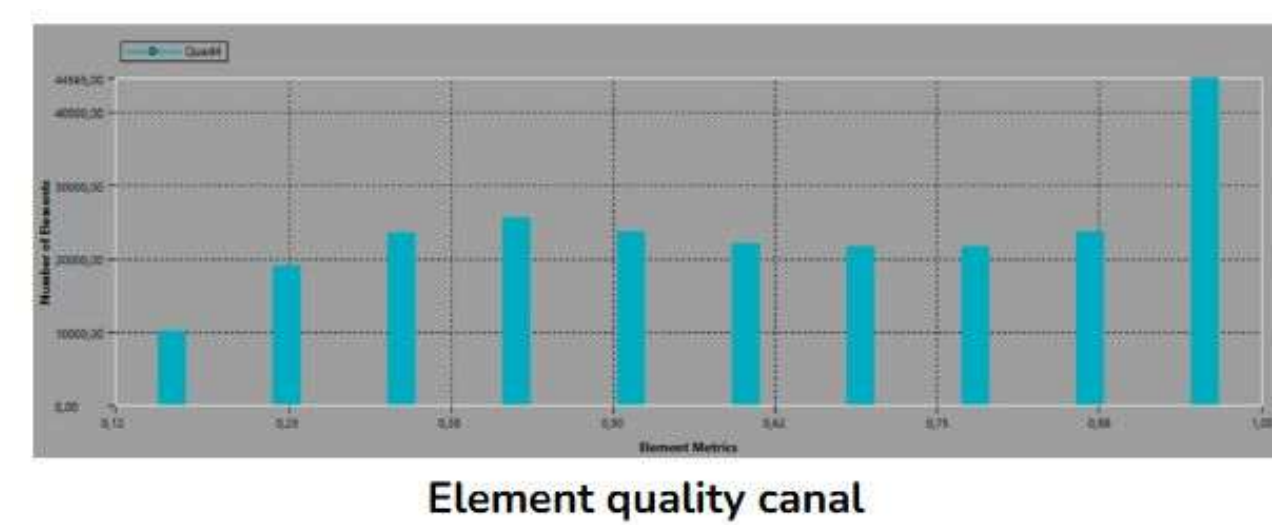
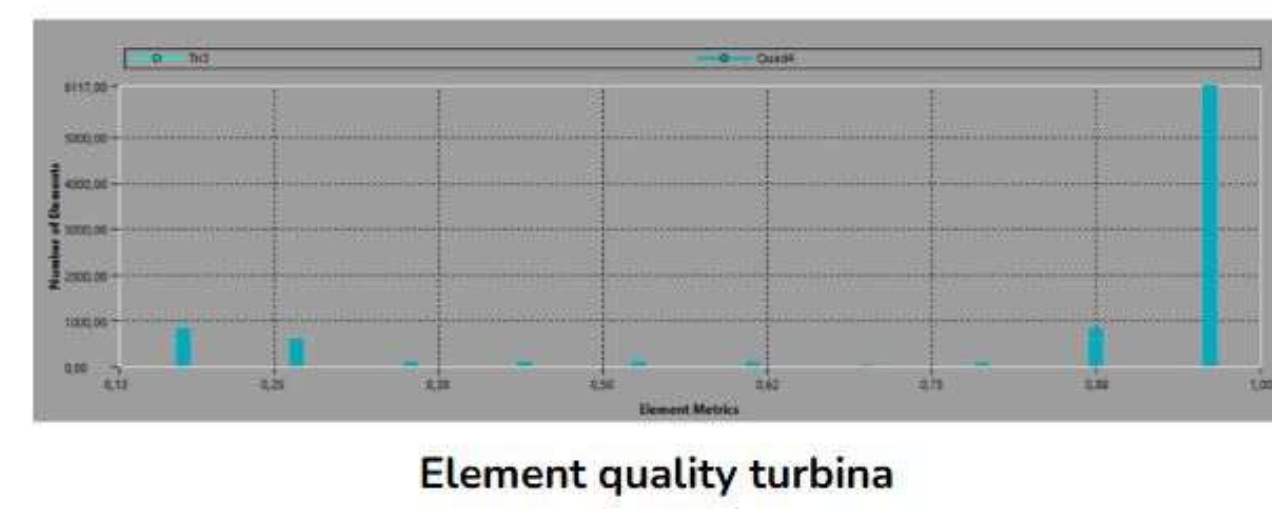


Figura 2: Detalle de los enmallados, canal (izquierda), turbina

(derecha)



Element quality canal



Element quality turbina

Figura 3: Gráficas calidades de los elementos del canal y la turbina

Para la simulación del campo fluido no estacionario se utilizan las ecuaciones RANS con un modelo de turbulencia tipo $k - \omega SST$.



Figura 4: Condiciones de contorno y dominio de simulación

Aunque la calidad de los elementos de la malla como se observa en la figura 3 es baja, es necesario usar esa configuración específica, ya que asegura la convergencia temporal de las ecuaciones de RANS, por lo que se consideran aceptables en este caso.

RESULTADOS

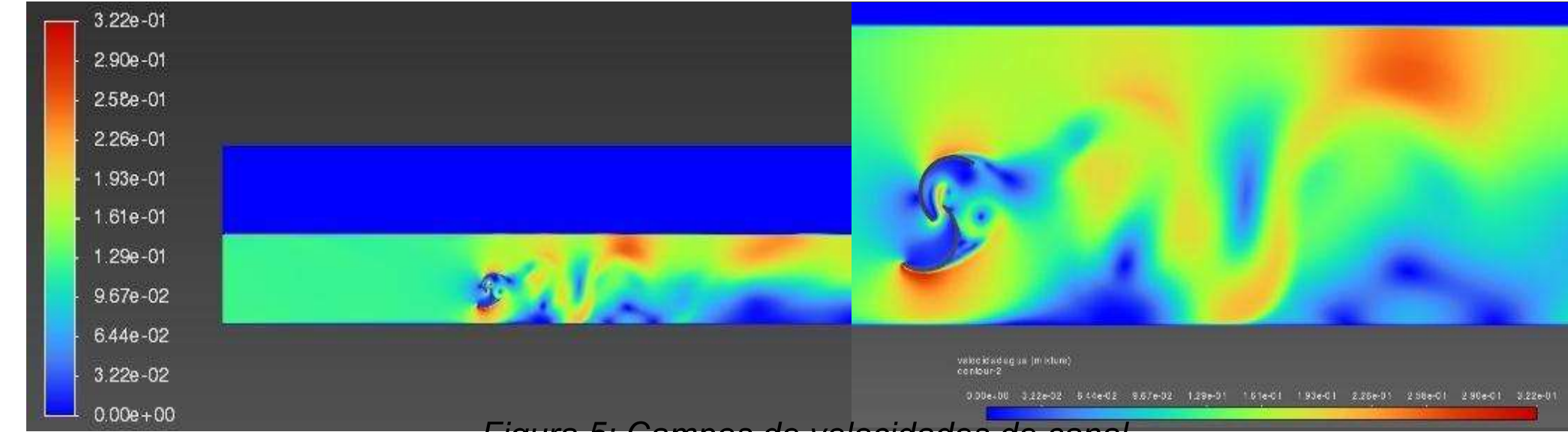


Figura 5: Campos de velocidades de canal

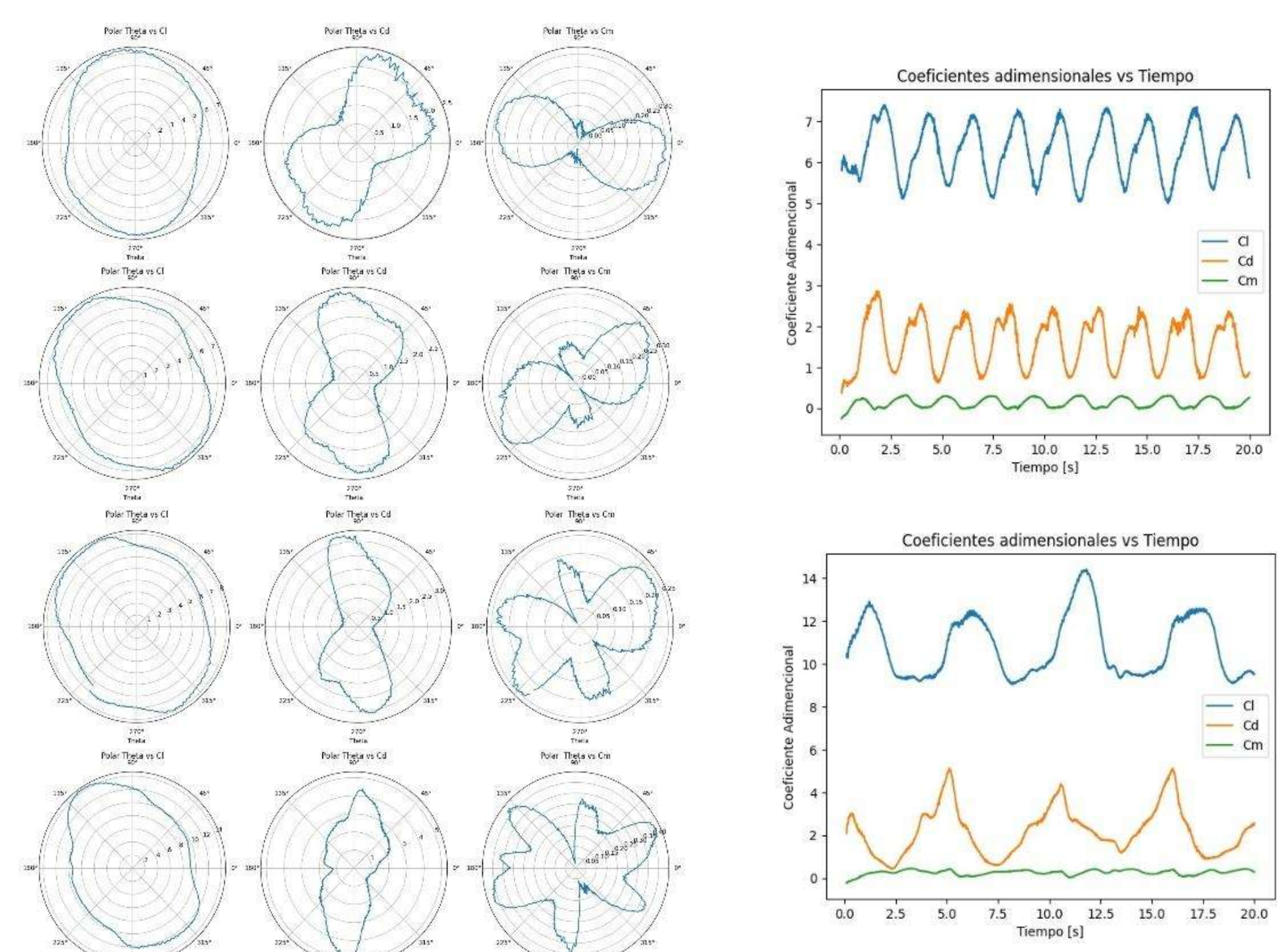


Figura 5: Coeficiente de sustentación, arrastre y momento frente al ángulo para TSR desde 1 hasta 0.4 (descendente)

Figura 6: Coeficiente de sustentación, arrastre y momento frente al tiempo para TSR=1 (Arriba) y TSR=0.4 (Abajo)

En los resultados del campo de velocidades se observan vórtices causados por la turbina y una mayor velocidad cerca del suelo debido al bloqueo de la turbina y el fondo del canal. Solo se pueden comparar con la literatura consultada los coeficientes de momento debido a que en la bibliografía consultada solo fueron presentados los resultados de coeficientes de momento, al comparar los resultados obtenidos con la bibliografía se observa que para un TSR=0.8 se presenta una forma similar a la reportada por la literatura, sin embargo se observa un importante corrimiento de fase, se sospecha que este puede ser un efecto de la superficie libre o del piso del canal al hacer una restricción al flujo que modifique el comportamiento de la turbina. Añadido a esto se observan coeficientes de sustentación muy altos, estos resultados es necesario validarlos con pruebas experimentales ya que se sospecha que puedan ser errores numéricos, es necesario validar estos resultados mediante pruebas rigurosas.

La interacción con la base del canal y la superficie libre genera un efecto de bloqueo, evidenciado en zonas de alta velocidad en la parte superior e inferior de la turbina debido a la aceleración del flujo por la reducción del área de sección. Este comportamiento es similar al observado en la punta de los álabes en [1] y en la simulación con superficie libre, aunque la geometría utilizada en este estudio difiere de la de [1].

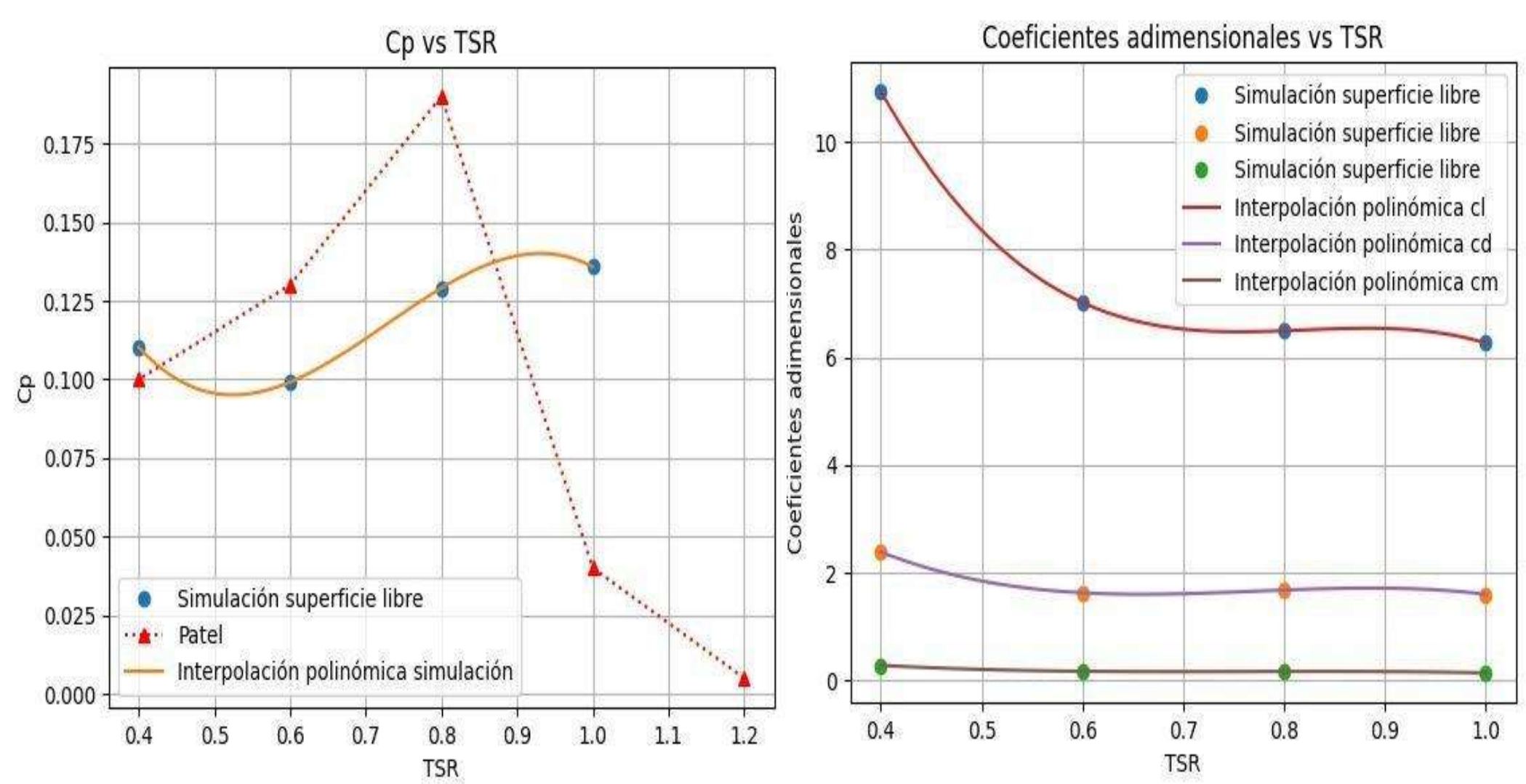


Figura 7: Coeficiente de potencia frente a TSR (Izquierda) y coeficiente de sustentación y de arrastre (Derecha).

En las cuatro velocidades simuladas, los resultados siguen una tendencia similar a [1], pero el coeficiente de potencia con superficie libre es menor que en flujo uniforme sin ella, este resultado debe ser investigado más a detalle, ya que [4] dice que para coeficientes de bloqueos altos, el coeficiente de potencia debe aumentar (un coeficiente de bloqueo de 42.75% frente a uno de 7%-10% reportado en [1]). Añadido a esto tanto las fuerzas de arrastre de la turbina y las fuerzas de sustentación aumentan con la velocidad angular de la turbina.

CONCLUSIONES

- Los resultados de campo de velocidad en la cercanía de la turbina se ajusta a los valores correspondientes reportados en [1], con el que se realizaba la comparación.
- Se observa una fuerte dependencia del coeficiente de arrastre frente al ángulo y, en general, un corrimiento de fase del coeficiente de momento y, por ende, del coeficiente de potencia frente a los datos de la literatura sin superficie libre.
- Se observa que, para los puntos explorados, el TSR máximo obtenido no coincide con el de la literatura, y se espera una respuesta más plana en frecuencia.

Referencias

- [1] Patel, R. S., & Patel, V. K. (2023). Numerical investigation and experimental validation about negative overlap in Savonius hydrokinetic turbine. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 45(648). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04557-4>
- [2] Fernando Alonso Rivera Martínez, Jorge Luis Rodríguez Leguizamón y Vladimiro Zambrano Camacho. "Estudio de la canaleta Parshall como mezclador rápido". Proyecto de Grado. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1980.
- [3] F.R. Menter, R. Lechner y A. Matyushenko. Best Practice: RANS Turbulence Modeling in Ansys CFD. Inf. téc. Ver. 1.0. Ansys Germany GmbH, NTS, St. Petersburg, Russia, 2021.
- [4] J. I. Whelan, J. M. R. Graham y J. Peir'o. "A free- surface and blockage correction for tidal turbines: Jour-nal of Fluid Mechanics". En: Cambridge Core (abr. de2009). URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-fluid-mechanics/article/abs/free-surface-and-blockage-correction-for-tidal-turbines/2DD9EBC15F03B8D03B298AEEAAFE375C4>