

# Análisis mediante dinámica de fluidos computacional de un álabe con perfil NACA 2411

F. Marín<sup>1</sup>, M. Rivero<sup>2,\*</sup>, S. Sellschopp<sup>3</sup>, F. Alba<sup>4</sup>, E. Ramos<sup>5</sup>

**Resumen**—En este trabajo se presenta el análisis numérico bidimensional de un álabe con perfil NACA 2411 para determinar los coeficientes de arrastre, sustentación y presión. El perfil NACA 2411 tiene una longitud de la cuerda de 1 m. El análisis se realiza utilizando modelo de turbulencia SST en el software COMSOL Multiphysics para un flujo en estado estacionario. Se realiza un análisis paramétrico en el que se evalúan ángulos de ataque entre  $-5^\circ$  y  $8^\circ$ , y números de Reynolds entre 100,000 y 800,000, que para las condiciones de flujo consideradas sean equivalentes a velocidades de corriente libre entre 1.5 y 12 m/s. Para los distintos números de Reynolds presentados, el perfil opera por debajo del ángulo de ataque crítico correspondiente, en el cual se presenta la condición de *atascamineto*.

**Palabras claves**— Dinámica de fluidos computacional, perfiles NACA, Modelo SST

**Abstract**—This work presents the 2D numeric analysis of a NACA 2411 airfoil in order to determine the drag, lift and pressure coefficients. The considered airfoil has chord length of 1 m. The analysis is performed using the SST turbulence model in COMSOL Multiphysics software for a steady state flow. A parametric study is performed for angles of attack ranging from  $-5^\circ$  to  $8^\circ$ , and Reynolds numbers between 100,000 and 800,000 that under considered flow conditions correspond to free stream velocities from 1.5 to 12 m/s. For all Reynolds numbers, the airfoil operates below its corresponding critical angle of attack, in which the stall condition appears.

**Keywords**— CFD, NACA airfoils, SST model

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe un incremento considerable en el uso de energías renovables. Tan solo en México la capacidad instalada de energía eólica supera los 3,000 MW hasta el 2016 [1]. La conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica se lleva a cabo en aerogeneradores, en donde el viento impulsa álabes que

hacen girar un rotor al cual está acoplado un generador eléctrico. En la literatura se han reportado distintos tipos de aerogeneradores [2], [3]. La clasificación más común es respecto a la forma en la que se aprovecha el viento. En este caso las turbinas se dividen en turbinas de tipo arrastre y turbinas de tipo sustentación.

En dinámica de fluidos, cuando existe un movimiento relativo entre un objeto sólido y un fluido (que puede ser líquido o gas) se presentan distintas fuerzas, cuya naturaleza y efecto son complejos. Sin embargo, para propósitos de diseño un cuerpo experimenta dos fuerzas principales: la fuerza de arrastre y la de sustentación. Es importante hacer notar que un sólido se puede mover en un fluido, como un avión o un automóvil en movimiento, o bien el objeto puede estar fijo y el fluido moverse, como los pilares de puentes inmersos en un río.

### A. Arrastre y sustentación

El flujo de un fluido sobre cualquier objeto sólido ejerce fuerzas debidas a la presión y fuerzas debidas a la viscosidad del fluido. Las componentes de la fuerza resultante que actúa sobre el objeto son la fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación, como se muestra en la Figura 1.

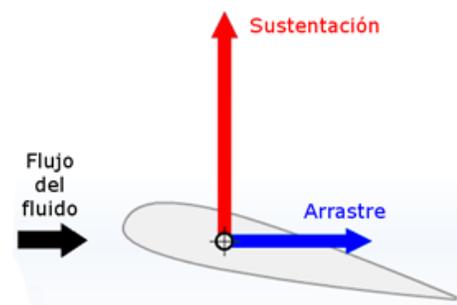


Figura 1. Diagrama de las fuerzas de arrastre y sustentación sobre un álabe.

La fuerza de arrastre, o simplemente arrastre, es la fuerza total sobre un cuerpo ocasionada por el fluido y es en dirección del movimiento relativo entre el fluido y el objeto, como se observa en la Figura 1. La fuerza de arrastre tiene dos contribuciones: una es debida a la fuerza de fricción en la superficie del perfil producto de la viscosidad del fluidos, y la segunda por la distribución asimétrica de la presión en la superficie del objeto, o bien

<sup>1</sup> TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Av. Cuauhtémoc y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N 27000, Torreón, Coahuila, México

<sup>2</sup> CONACYT – TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

<sup>3</sup> TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación

<sup>4</sup> TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, Departamento de Ingeniería Eléctrica

<sup>5</sup> Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, Morelos

\* mariveroco@conacyt.mx

para el caso de un perfil aerodinámico, en las caras superior e inferior de un perfil.

La fuerza de arrastre se expresa como:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A \rho U_0^2, \quad (1)$$

donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre,  $\rho$  es la densidad del fluido,  $U_0$  la velocidad de corriente libre del fluido y  $A$  el área de referencia del objeto. De esta ecuación se puede observar que la fuerza de arrastre depende linealmente de las cuatro variables antes mencionadas, es decir, si alguna se incrementa el arrastre será mayor. De los parámetros mencionados, el coeficiente de arrastre es el parámetro más difícil de determinar ya que éste depende entre otros factores de la forma del cuerpo, de la velocidad y propiedades del fluido, y el tipo de flujo que se presente.

Por el contrario, la fuerza de sustentación es una fuerza ocasionada por el fluido pero en dirección perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo (ver Figura 1). La fórmula matemática que describe la sustentación es análoga a (1), y se escribe como

$$F_L = \frac{1}{2} C_L A \rho U_0^2, \quad (2)$$

en donde  $C_L$  es coeficiente de sustentación, y al igual que el coeficiente de arrastre, depende de distintos factores. La fuerza de sustentación es producto únicamente de la distribución inhomogénea de la presión en la superficie del objeto.

Es importante resaltar que para estudios en tres dimensiones comúnmente se utilizan letras mayúsculas para los subíndices  $D$  y  $L$ , mientras que para problemas en dos dimensiones se utilizan letras minúsculas. En el primer caso la resultante será una fuerza [N], en tanto en dos dimensiones será fuerza por unidad de longitud [N/m].

### B. Perfil aerodinámico

La utilidad de la fuerza de arrastre o la fuerza de sustentación dependerá de la aplicación. Por ejemplo, para un avión en vuelo se busca que el perfil del ala maximice la fuerza de sustentación y disminuya el arrastre. Por el contrario, cuando el avión aterriza, se busca lo contrario para disminuir la longitud de frenado.

Un perfil aerodinámico se refiere a la forma que debe tener un objeto sólido para maximizar la fuerza de sustentación. En la práctica existe una infinidad de perfiles aerodinámicos, pero todos ellos tienen una forma similar. El perfil, como el mostrado en la Figura 1, tiene un *borde de ataque*, que es donde incide el fluido en el perfil, y un *borde de salida*, en la parte posterior. Puesto que se desea disminuir el arrastre en el perfil, el borde de salida es afilado, lo que se conoce en dinámica de fluidos como condición de Kutta [4]. La línea recta que une el borde de

ataque y el borde de salida se denomina *cuerda*, y se define con la letra  $c$ . En problemas de aerodinámica la longitud de la cuerda se considera comúnmente como la distancia características del problema. Además, la cara superior del perfil se denomina *extradós*, o superficie de succión, y la cara inferior del perfil *intradós*, o superficie de presión. Esto se puede observar en la Figura 2. El espesor del perfil corresponde a la máxima distancia entre el intradós y el extradós. La forma de cada una de ellas proporciona características particulares al perfil.

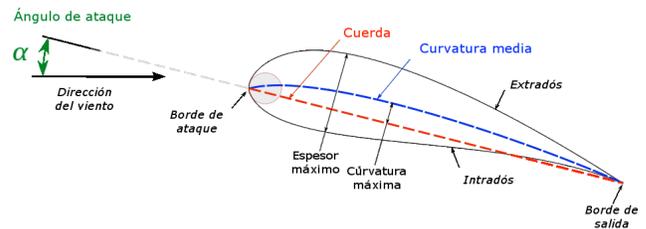


Figura 2. Esquema con las partes principales de un perfil.

Un parámetro importante en el análisis de perfiles es el *ángulo de ataque* que corresponde al ángulo existente entre la dirección del viento y la cuerda del perfil. En perfiles asimétricos, como los mostrados en las Figuras 1 y 2, existe una línea que une el borde de ataque y el borde de salida y que pasa por los puntos medios entre el intradós y extradós denominada *línea de curvatura media*. En perfiles simétricos la cuerda y la línea de curvatura media coinciden.

## II. NOMENCLATURA DE ÁLABES

El diseño de álabes depende en gran medida del fabricante y de la aplicación. Existen distintas maneras de designar los álabes, siendo uno de los principales la NACA [5], por sus siglas en inglés *National Advisory Committee for Aeronautics*. Dentro de la NACA existen distintas maneras de designar un álabe. En este trabajo utilizaremos la designación mediante cuatro dígitos, es decir, de la forma NACA MPXX.

El primer dígito (M) hace referencia a la máxima curvatura que puede tener la línea media que divide al intradós y extradós entre la longitud de la cuerda. Debido a esto su valor debe ser expresado en porcentaje. Su rango está disponible desde 0 a 9.5%. El segundo dígito (P) se refiere a la posición en que se encontrará la máxima curvatura de la línea media respecto al borde de ataque. De igual manera se expresa su valor en porcentaje y solo aparece en la designación el primer dígito. Su rango de valores es de 0 a 90%. Finalmente el tercer y cuarto dígito corresponde al espesor que tendrá el perfil en función de la cuerda. Su rango de valores está desde el 1 a 40% de la

longitud de la cuerda.

Por ejemplo, el perfil NACA 5518 tiene una curvatura del 5% de la cuerda, el máximo de curvatura se encuentra a un 50% de la longitud de la cuerda respecto del borde de ataque y el espesor máximo del perfil es de 18% de la cuerda. Este perfil se muestra gráficamente en la Figura 3.

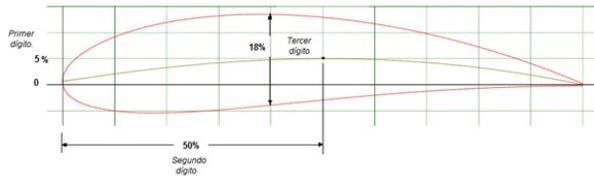


Figura 3. Perfil NACA 5518.

### III. COEFICIENTES Y NÚMEROS ADIMENSIONALES

El análisis teórico y experimental ha mostrado que muchos problemas se pueden caracterizar por parámetros adimensionales. Estos números adimensionales permiten generalizar los resultados obtenidos en experimentos realizados a escala.

El número de Reynolds es tal vez el parámetro adimensional más importante ya que define el régimen de flujo existente. Este número expresa la relación que existe entre los mecanismos de convección y difusión para un problema dado y se expresa como

$$Re = \frac{U_0 L \rho}{\mu}, \quad (3)$$

donde  $U_0$ ,  $L$  y  $\rho$  se definieron previamente, y  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido. Para un problema específico, el número de Reynolds indica si el flujo es laminar (valores bajos) o turbulento (valores elevados), y la transición entre ambos regímenes depende del tipo de flujo. Para el flujo sobre un perfil, la velocidad de corriente libre (lejos del perfil) y la cuerda se consideran como las variables características del problema.

Si bien, es importante conocer la fuerza de arrastre y de sustentación, en problemas de dinámica de fluidos es más conveniente utilizar su forma adimensional, es decir, los coeficientes de arrastre, sustentación y presión [3] que se definen a continuación. Usar estas variables adimensionales permite validar las simulaciones con datos experimentales reportados en la literatura. El coeficiente de arrastre  $C_l$  relaciona la fuerza de sustentación por unidad de longitud entre la fuerza dinámica por unidad de longitud, y en dos dimensiones se expresa como

$$C_l = \frac{F_L/l}{\frac{1}{2} \rho U_0^2 c}. \quad (4)$$

El coeficiente de arrastre  $C_d$  en dos dimensiones relaciona la fuerza de arrastre por unidad de longitud entre la fuerza dinámica por unidad de longitud, es decir,

$$C_D = \frac{F_D/l}{\frac{1}{2} \rho U_0^2 c}. \quad (5)$$

Finalmente, el coeficiente de presión es la razón entre la presión estática y presión dinámica, y está dado por

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_0^2}, \quad (6)$$

donde  $p$  corresponde a la presión está del fluido en un punto dado, y  $p_\infty$  a la presión de flujo libre (muy lejos del perfil).

### IV. MÉTODO NUMÉRICO

La simulación numérica se llevó a cabo con el software COMSOL Multiphysics 5.2, basado en el método de elemento finito. COMSOL, a través del módulo de dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés *Computational Fluid Dynamics*) ofrece distintas formulaciones de las ecuaciones de Navier-Stokes [4] para resolver problemas con flujos turbulentos, por ejemplo: k-epsilon, k-omega y SST (por sus siglas en inglés *Shear Stress Transport*), entre otras [6]. En este trabajo se utilizó el modelo SST [7], también conocido como SST k-omega. Este modelo se usa comúnmente en problemas que presentan gradientes de presión adversos y separación de la capa límite. Estos fenómenos son de suma importancia en aplicaciones prácticas, por ejemplo en la aerodinámica de los álabes de aerogeneradores en los cuales es relevante la separación de la capa límite que se puede utilizar para controlar la operación de los aerogeneradores.

### V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Existen dos maneras de analizar el problema del flujo de aire sobre un perfil para distintos ángulos de ataque: 1) rotar la geometría (perfil aerodinámico) y mantener la dirección del flujo en la entrada constante, o 2) mantener la geometría fija y variar la dirección del flujo en la entrada. La primera opción implica que para cada ángulo de ataque se debe mallar el dominio. Por el contrario, la segunda opción implica modificar únicamente la condición de entrada, que es más simple de implementar y requiere un menor tiempo de cómputo al eliminar los procesos de remallado. En este trabajo se optó por la segunda opción.

En la Figura 4 se presenta el dominio de simulación y las condiciones de frontera utilizadas. La cuerda del perfil tiene una longitud de 1 m. Para evitar el efecto de las

condiciones de frontera en el flujo, se definió un dominio con una distancia del al menos 180 m del perfil, 360 m en la parte posterior. Puesto que lejos del perfil la velocidad se considera constante, se especificó una condición de entrada del flujo en la cual las componentes horizontal y vertical de la velocidad de la siguiente manera  $\vec{u} = U_0\{\cos\alpha \hat{i} + \sin\alpha \hat{j}\}$ , en donde alpha es el ángulo de ataque. En la parte posterior del dominio (rojo) se especificó una condición de superficie libre, y en las paredes del perfil la condición de no deslizamiento. Esta condición implica que la velocidad en una superficie determinada tendrá la misma velocidad que dicha superficie, en este caso cero.

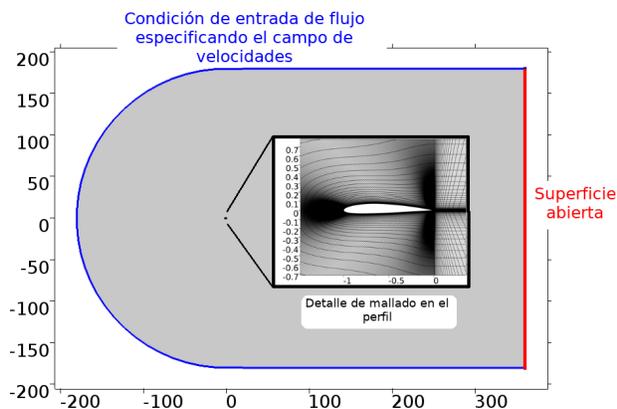


Figura 4. Dominio de simulación y condiciones de frontera utilizada. Detalle de mallado en la región del perfil.

En el análisis mediante dinámica de fluidos computacional, las regiones críticas debe resolverse correctamente o de lo contrario la solución podría no converger. Por esta razón, las zonas cercanas al borde de ataque y de salida tienen una malla considerablemente más fina, como se puede apreciar en el detalle de la Figura 4.

Los parámetros analizados en este trabajo son el ángulo de ataque, que se varió entre  $-5^\circ$  y  $8^\circ$ , y el número de Reynolds, para valores entre 100,000 y 800,000. En las condiciones de flujo consideradas (ver Tabla I) los valores de Re equivalentes a velocidades entre 1.5 m/s y 12 m/s. En todos los casos presentados, el perfil opera por debajo del ángulo de ataque crítico en el cual se presenta la condición de atascamiento (*stall condition* en inglés). Esta condición se presenta cuando se excede el valor del ángulo de ataque crítico y el sistema tiene una caída considerable de la sustentación, que para sistemas eólicos significaría una reducción de la velocidad de rotación [8].

TABLA I  
CONDICIONES DEL FLUJO Y PROPIEDADES DE AIRE EN LA REGIÓN DE CORRIENTE LIBRE.

Densidad del aire	1.2043 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica del aire	1.814×10 <sup>-5</sup> kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Longitud característica (cuerda)	1 m
Velocidad	1.5 – 12 m s <sup>-1</sup>
Perfil	NACA 2411

VI. RESULTADOS

En la Figura 5 se muestra la gráfica de contornos de la presión para un número de Reynolds de 800,000. En la izquierda se muestra la distribución correspondiente a un ángulo de ataque de  $5^\circ$  y a la derecha para un ángulo de ataque de  $-5^\circ$ . El ángulo se mide desde la horizontal (paralela a la cuerda del perfil) y es positivo en dirección anti-horaria. En esta Figura se puede observar que los mayores gradientes de presión se tienen en el borde de ataque, que es en donde incide el aire, y de allí la importancia del diseño para evitar la turbulencia originada por estos gradientes. Un aspecto importante a resaltar es que debido a la asimetría del perfil, la distribución de la presión es asimétrica y por lo tanto los ángulos críticos (positivo y negativo) son diferentes. Para este perfil, puesto que los gradientes de presión a lo largo del perfil son mayores para ángulos negativos, comparados con el ángulo positivo correspondiente, el desprendimiento de la capa límite se presenta a ángulos inferiores. En la Figura 5 se muestran también las líneas de corriente que para este caso corresponden a la trayectoria que seguiría una partícula en el flujo.

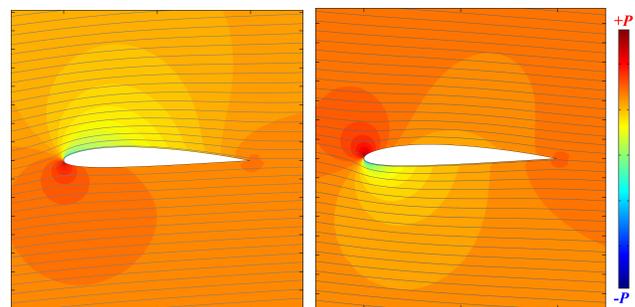


Figura 5. Gráfica de contornos de la presión y líneas de corriente para Re=800,000 con un ángulo de ataque de  $5^\circ$  (izquierda) y  $-5^\circ$  (derecha).

En la Figura 6 se presenta el coeficiente de sustentación, que es proporcional a la fuerza de sustentación, como función del ángulo de ataque para todos los números de Reynolds considerados. Se puede observar que el comportamiento de la sustentación no presenta cambios significativos con el número de Reynolds, aunque se presenta un ligero incremento del coeficiente de sustentación con el número de Reynolds.

Debido a la asimetría del perfil, el ángulo de ataque para el cual se presenta una sustentación nula, corresponde a  $\alpha \approx -1.9^\circ$ . En el rango de valores de los ángulos de ataque considerados el coeficiente tiene un crecimiento monótono y casi lineal, aunque para valores superiores a  $8^\circ$  se presentará una caída significativa en la sustentación.

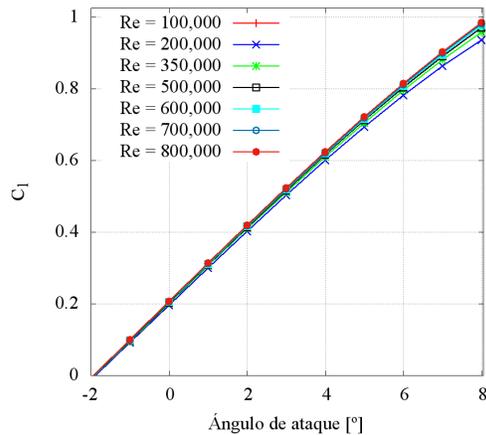


Figura 6. Coeficiente de sustentación como función del ángulo de ataque para distintos números de Reynolds.

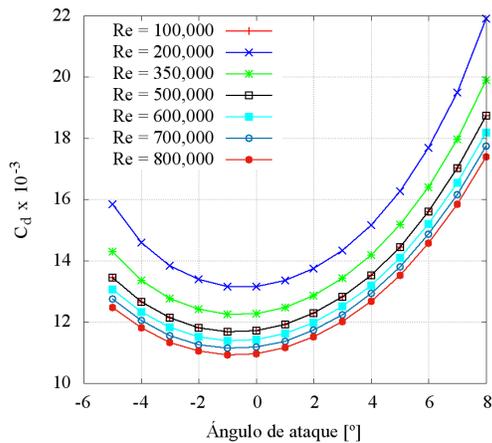


Figura 7. Coeficiente de arrastre como función del ángulo de ataque para distintos números de Reynolds.

El coeficiente de arrastre como función de ángulo de ataque para distintos valores de  $Re$ , se muestra en la Figura 7. Se puede observar que  $C_D$  para un ángulo de ataque fijo no tiene un incremento monótono con el número de Reynolds, sino que aumenta de  $Re=100,000$  a  $Re=200,000$ , y para números de Reynolds superiores a este valor el arrastre disminuye. Se observa también que el mínimo de arrastre se presenta para  $\alpha \approx -1^\circ$ , y no corresponde con el ángulo para el que la sustentación sea nula.

En las Figura 8 y 9 se muestra el coeficiente de presión a lo largo del perfil (extradós e intradós respectivamente)

para tres ángulos de ataque distintos y  $Re=800,000$ . De acuerdo a (6), estas gráficas representan el perfil de presión normalizado con la presión dinámica para cada punto sobre la superficie del perfil. Se puede apreciar la diferencia en la distribución de la presión mostrada en la Figura 6, y además el incremento significativo (en sentido opuesto) en la presión para ángulos opuestos, es decir, para un ángulo de ataque de  $5^\circ$  el coeficiente de presión máximo es de aproximadamente 1. Por el contrario, para un ángulo de ataque de  $-5^\circ$ , el valor máximo de  $C_p$  es 2.2. Para el primer caso la fuerza es en dirección vertical positiva, mientras que en el segundo es en dirección opuesta.

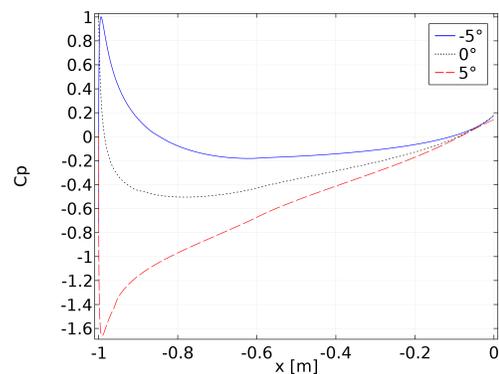


Figura 8. Distribución de la presión a lo largo del extradós para  $Re= 800,000$ .

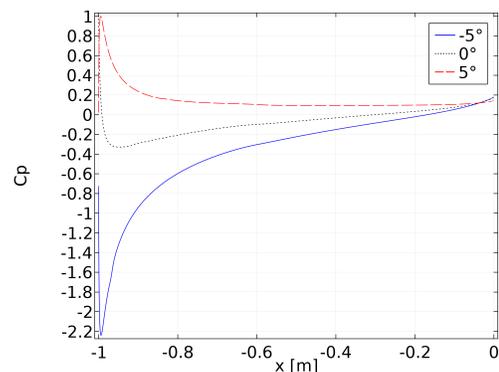


Figura 9. Distribución de la presión a lo largo del intradós para  $Re= 800,000$ .

## VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó numéricamente el flujo de aire sobre un perfil NACA 2411 en estado estacionario. El análisis numérico se basó en el modelo de turbulencia SST, comúnmente utilizado en problemas que involucran desprendimiento de capa límite. Los parámetros evaluados son el número de Reynolds y el ángulo de ataque. El número de Reynolds varió entre 100,000 y 800,000, que equivalen a velocidades entre 1.5 y 12 m/s. Los ángulos de ataque considerados están por debajo del ángulo de ataque

crítico y están en el rango de  $-5^\circ$  y  $8^\circ$ . Con base en los resultados numéricos se presentaron los coeficientes de sustentación y arrastre, así como el coeficiente de presión a lo largo del perfil. Los resultados muestran que, para el rango analizado, existe una dependencia casi lineal entre el coeficiente de arrastre y éste no varía significativamente con el número de Reynolds. Se observó que para el perfil considerado, con un ángulo de ataque inferior a  $1.9^\circ$ , se pierde la sustentación. Para el caso del coeficiente de arrastre, el mínimo se presenta a un ángulo de ataque de  $1^\circ$ . Además, si se considera un ángulo de ataque fijo, el coeficiente de arrastre no presenta un incremento monótono con el número de Reynolds.

#### VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al TecNM por los recursos para el desarrollo de este proyecto. M. Rivero agradece a Cátedras CONACYT.

#### IX. REFERENCIAS

- [1] AMDEE, "Asociación Mexicana de Energía Eólica." [Online]. Available: [www.amdee.org](http://www.amdee.org). [Accessed: 01-May-2017].
- [2] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2011.
- [3] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 2nd ed. Wiley, 2010.
- [4] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Fluid Mechanics*, vol. 6, no. 1. Pergamon books Ltd., 1987.
- [5] H. Abbott, A. E. Von Doenhoff, and L. S. Stivers, "Report No 824: Summary of Airfoil Data," 1943.
- [6] J. Bredberg, "On Two-equation Eddy-Viscosity Models," Goteborg, Sweden., 2001.
- [7] F. R. Menter, "2-Equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *Aiaa J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994.
- [8] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, "Wind Energy Handbook, 2nd Edition."

#### X. BIOGRAFÍA



**Luis Francisco Marín Montañez.** Actualmente cursa el sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de La Laguna. Sus intereses son el análisis y de diseño mecánico de máquinas, así como de sistemas térmicos.



**Eduardo Ramos.** Doctor en Física por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador Titular C del Instituto de Energías Renovables - UNAM ubicado en Temixco, Morelos, México. Las líneas de investigación del Dr. Ramos incluyen el análisis del fenómeno de convección natural con y sin rotación, flujos en gotas y burbujas, flujos magnetohidrodinámicos, así como fenómenos de transferencia de calor en estos y otros sistemas.



**Michel Rivero.** Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigador adscrito al CONACYT - Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna. Las líneas de interés del Dr. Rivero son la dinámica de fluidos, implementación de modelos para la estimación y predicción del potencial eólico y solar, flujos magnetohidrodinámicos, y Procesamiento Electromagnético de Materiales.



**Francisco Sergio Sellschopp Sánchez.** Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de La Laguna en 2003 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad de la energía e incorporación de fuentes renovables a redes eléctricas.



**Felipe de Jesús Alba Silva.** Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1984 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de M.E. en Economía y mercadotecnia en 2001 en la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma de Coahuila, en Torreón, Coahuila. Actualmente forma parte de la planta académica de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de especialidad son las Plantas Eléctricas de Emergencia, los Hornos de Inducción y la Automatización de procesos.