

## Simulación del desempeño de tres perfiles aerodinámicos en flujo turbulento

**Mariana Montenegro Montero**  
<https://orcid.org/0000-0002-1865-3021>  
Mariana.montenegro@polimi.it  
Politecnico di Milano, Milán, Italia

**Gustavo Richmond Navarro**  
<https://orcid.org/0000-0001-5147-5952>  
grichmond@tec.ac.cr  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica

Recibido (20/09/21 ) Aceptado (18/10/21)

**Resumen:** En este trabajo se presentan las curvas de coeficientes de sustentación y arrastre en función del ángulo de ataque, para los perfiles NACA0012, S809 y SG6043 en condiciones de flujo turbulento. El objetivo es identificar el perfil aerodinámico que tiene mejor rendimiento en condiciones de relevancia para las turbinas eólicas de pequeña escala. El análisis se realizó mediante simulación utilizando OpenFOAM. En el caso del perfil NACA0012 se encuentra que su desempeño es poco sensible a cambios en la turbulencia y en el número de Reynolds. La respuesta del perfil S809 es de aumentar tanto el arrastre como la sustentación al aumentar la turbulencia. El desempeño del perfil SG6043 resulta ser el más conveniente en flujo turbulento pues las curvas de sustentación en su mayoría aumentan al aumentar la turbulencia. Las curvas que se reportan aquí son inéditas y no se encuentra en la literatura.

Palabras clave: aerodinámica, sustentación, arrastre, turbulencia.

### Aerodynamic performance simulation of three selected airfoils

**Abstract:** This work presents the lift and drag coefficient curves, as functions of the angle of attack, for the NACA0012, S809 and SG6043 airfoils in turbulent flow conditions. The objective is to identify the airfoil with the best aerodynamic performance under conditions that are descriptive of small scale wind turbine. With the use of OpenFOAM, an analysis was done by numerical simulation. In the case of the NACA0012 airfoil, it was found that the performance is insensitive to the changes in turbulence and the Reynold number. The aerodynamic response of the S809 airfoil is to increase both the drag and lift as the turbulence increases. The SG6043 airfoil responds the best out of the three in turbulent flow, given that the lift curves mostly increase with the turbulence. The curves reported in this work are new and not found in previous literature

**Keywords:** aerodynamics, lift, drag, turbulence.



## I. INTRODUCCIÓN

La demanda energética de la sociedad moderna ha crecido de manera vertiginosa en las últimas décadas. De modo que, incluso en las comunidades remotas en los países en desarrollo, se busca el acceso a la electricidad, frecuentemente con sistemas aislados solares o híbridos solares más eólicos, con baterías [1]. En este tipo de aplicaciones, así como en aplicaciones habitacionales, se emplean turbinas eólicas de pequeña escala.

Por otro lado, en los últimos años la tendencia en el campo de la energía eólica ha sido construir turbinas eólicas más grandes y de mayor potencia, buscando las zonas donde el viento tiene la menor perturbación posible, empleando alturas de buje cada vez mayores y ubicando los aerogeneradores fuera de la costa, tomando en cuenta la información que brindan los mapas de potencial eólico que identifican las regiones con los mejores vientos. No obstante, como lo estableció [2], los mejores sitios ya están ocupados por lo que el problema de micro generación toma mayor relevancia.

El interés por la investigación en el campo de turbinas eólicas de pequeña escala no es algo reciente, por ejemplo, en [3] crean una serie de perfiles aerodinámicos específicamente para micro generación eólica, otros autores como [4] han estado involucrados en el tema en aspectos como la inercia del rotor directamente relacionada con la capacidad de arranque a bajas velocidades.

En el campo de las turbinas eólica de pequeña escala, diferentes autores han empleado distintos perfiles aerodinámicos para turbinas eólicas de pequeña escala. En [5] se obtiene que los perfiles de uso muy frecuente en las investigaciones de turbinas eólicas de pequeña escala son el SG6043, S809 y NACA0012, siendo el primero de ellos el que presenta mejor desempeño aerodinámico, no obstante, se concluye que se requiere más investigación en temas como desempeño aerodinámico de los perfiles ante altos niveles de turbulencia.

La relevancia de los estudios en condiciones con alta turbulencia, son mencionadas por [6] al destacar que las fluctuaciones del viento para turbinas eólicas de pequeña escala, a alturas sobre el suelo de 10 o 15 metros, afecta directamente su desempeño. Lo cual es respaldado por [7] donde se indica que la turbulencia juega un rol crucial en la eficiencia de las turbinas eólicas.

Este efecto de la turbulencia puede eventualmente ser positivo, según afirma [8], quien señala que a bajas velocidades un incremento en la turbulencia puede incrementar la producción de energía, de modo que la producción energética anual se puede ver favorecida por un aumento en la intensidad de turbulencia.

Este posible aumento de la eficiencia estaría relacionado con el aumento en el coeficiente de sustentación

que se reporta en [9] y [10] al aumentar la turbulencia. En otros ensayos con turbulencia generada artificialmente con rejillas, se ha reportado un ligero aumento en la producción de energía en comparación al flujo sin turbulencia [11].

Existe muy poca literatura en el tema del efecto de la intensidad de turbulencia sobre los perfiles aerodinámicos, al variar el número de Reynolds [12]. Ejemplo de esto, en [13] se presenta diferentes curvas de potencia para varios valores de intensidad de turbulencia y en [14] se muestra el efecto de la turbulencia propiamente en el desempeño de las aspas. Por otra parte, en [15] se respalda la idea de que la fuerza de sustentación aumenta al aumentar la turbulencia.

Por tanto, el objetivo de este artículo es presentar y compara el desempeño aerodinámico de los perfiles SG6043, NACA0012 y S809 para una amplia gama de números de Reynolds y ante distintos niveles de turbulencia, condiciones de relevancia para las turbinas eólicas de pequeña escala. Las curvas de sustentación, arrastre y sustentación sobre arrastre que se presentan en esta investigación son inéditas y no se encuentran en la literatura.

## II. METODOLOGÍA

Para el caso de flujo sobre perfiles aerodinámicos con alta turbulencia, resulta necesario emplear modelos de flujo en transición [16]. Específicamente el modelo SST de transición – Re. Este incorpora la intermitencia y el número de Reynolds al cual empieza la intermitencia Re.

La principal razón para el uso de este modelo de transición es que tiene la capacidad de simular con mayor fidelidad las burbujas de separación laminar que ocurren en los perfiles de interés en las condiciones de flujo turbulento.

El modelo SST de transición – Re es similar al modelo k- SST pero hay tres términos que son distintos en las ecuaciones de transporte. El término de producción de energía cinética turbulenta va multiplicado por la intermitencia, la cual representa el porcentaje de tiempo que hay fluctuaciones turbulentas presentes en la capa límite. Si la intermitencia es cero, se tiene capa límite laminar, si es 1 la capa límite es turbulenta y en el rango de 0 a 1 es transición.

El término de disipación de energía cinética turbulenta va multiplicado por el máximo entre 0,1 y el valor de la intermitencia. Lo que pone un límite inferior de un 10% del valor de la disipación en el modelo k- SST.

La función de mezcla F1 es la que define en el modelo k- SST si se usa el modelo k- o el k-, de modo que F1 vale 1 cerca de la pared (k-) y vale 0 en la corriente libre

(k-)). En el modelo SST de transición – Re el término  $F1$  recibe una corrección para evitar que su valor sea 0 en la capa límite laminar [17].

Para obtener el desempeño aerodinámico de los perfiles de interés se propone un diseño experimental del tipo factorial con niveles mixtos, donde las variables de

respuesta serán las curvas de coeficiente de sustentación y arrastre del perfil aerodinámico, así como la relación entre la sustentación y el arrastre. Los factores y niveles de las simulaciones están en la Tabla 1, de donde se extrae que en total se realizaron 360 simulaciones.

**Tabla 1. Diseño experimental de simulación de perfiles aerodinámicos**

Variable	Niveles	Total
Perfiles	S809, NACA0012 y SG6043	3
Número de Reynolds	$5 \times 10^4$ , $1 \times 10^5$ , $5 \times 10^5$ y $1 \times 10^6$	4
Intensidad de Turbulencia (IT)	0%, 5%, 10%, 20% y 30%	5
Ángulo de ataque (AoA)	$0^\circ$ , $5^\circ$ , $10^\circ$ , $15^\circ$ , $20^\circ$ y $25^\circ$	6

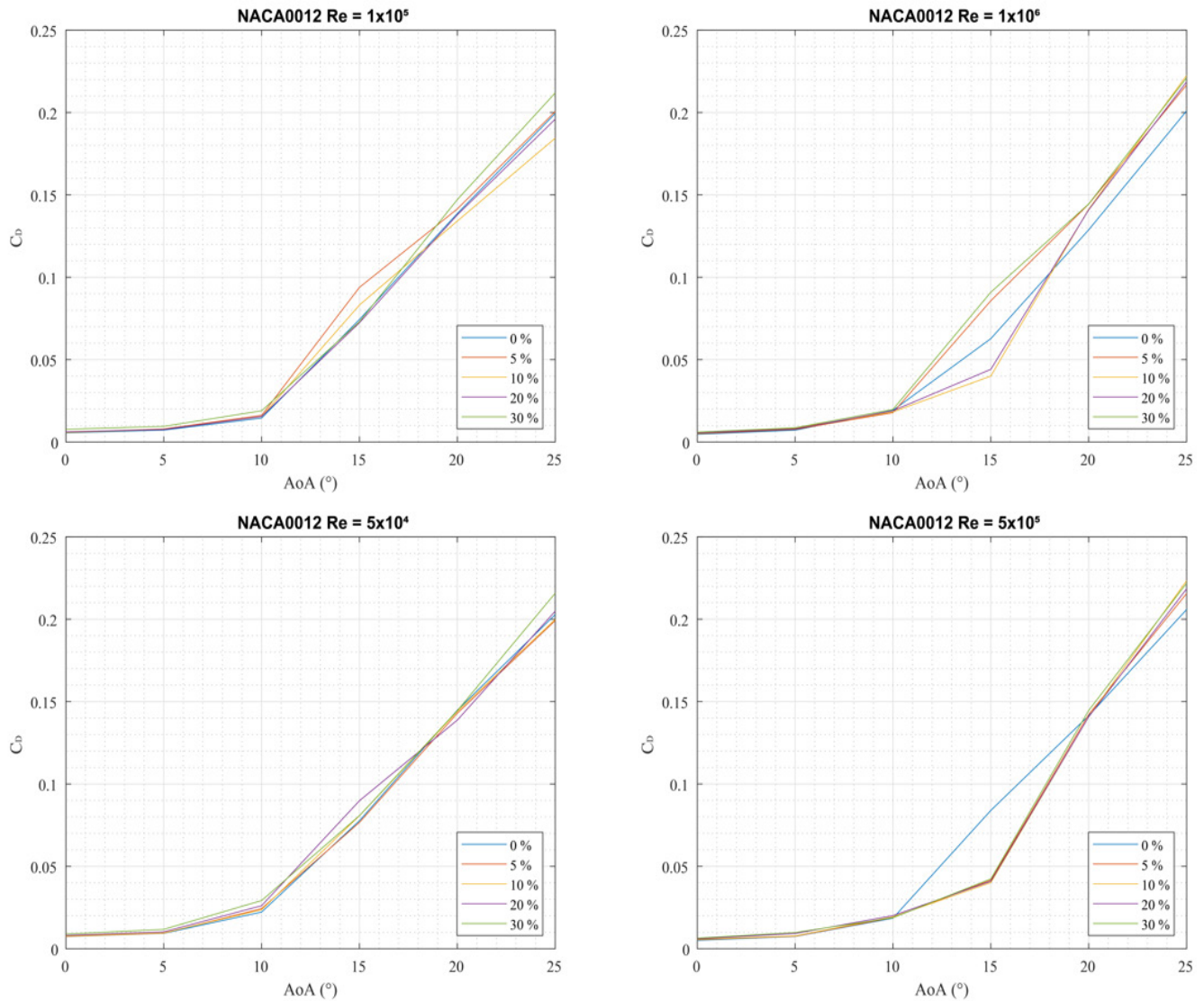
Todas las simulaciones son realizadas en OpenFOAM. En cada simulación se considera el flujo de aire alrededor del perfil, a una velocidad y ángulo definidos por un tiempo de 4000 s, el cual se tomó para asegurar que el flujo se estabilice y la solución converja. Como parámetros fijos se consideró una densidad del aire de  $1,2056 \text{ kg/m}^3$ , una cuerda de 0,2 m y una viscosidad cinemática del aire de  $1,1516 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### III. RESULTADOS

Al simular los perfiles aerodinámicos NACA0012, S809 y SG6043 en condiciones de flujo turbulento para distintos números de Reynolds, es posible observar la respuesta de los coeficientes de sustentación y arrastre; así como la relación entre ellos para distintos ángulos de ataque. En estos resultados la variable independiente es el ángulo de ataque (AoA). Las variables dependientes son el coeficiente de sustentación (CL), el coeficiente de arrastre (CD) y la razón CL/CD. Se han agrupado

los cinco valores de intensidad de turbulencia en el mismo gráfico para valorar cómo cambia la variable dependiente en cada caso. Cada gráfico corresponde a un perfil aerodinámico y un número de Reynolds.

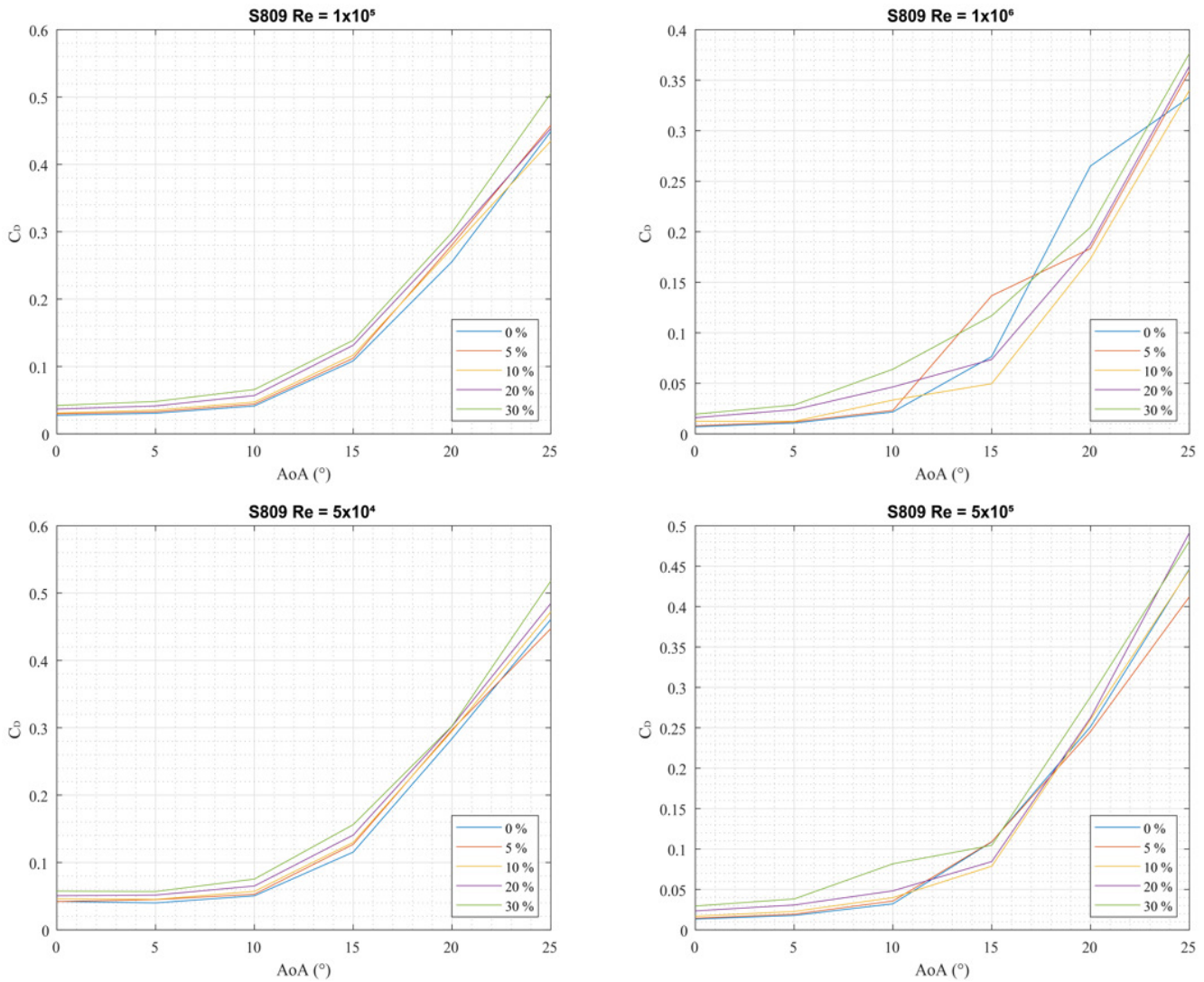
En la Figura 1 se muestra el coeficiente de arrastre para el perfil NACA0012 en las condiciones de los cuatro números de Reynolds de interés. Los valores mínimos y máximos de este coeficiente son muy similares en las cuatro gráficas. Además, no hay una tendencia clara del efecto de la turbulencia a nivel general. De forma específica se puede ver que en el caso de  $Re = 5 \times 10^5$  el coeficiente de arrastre es menor en todos los casos que la turbulencia es distinta de cero. En términos generales se puede afirmar que el coeficiente de arrastre en el perfil NACA0012 no es significativamente afectado por el cambio en la turbulencia ni por el número de Reynolds, dentro de los parámetros de esta investigación.



**Fig. 1. Coeficiente de arrastre para el perfil NACA0012.**

En la Figura 2 se presenta el coeficiente de arrastre para el caso del perfil S809. Resulta notorio que al aumentar el número de Reynolds ocurre una ligera disminución en el coeficiente de arrastre, en particular para ángulos de ataque mayores a  $10^\circ$ . Esto está relacionado con la formación de la burbuja de separación laminar, la cual tiene menor probabilidad de formarse cuando el flujo tiene más energía, esto es, para mayor número de Reynolds. En este caso el efecto de la turbulencia es

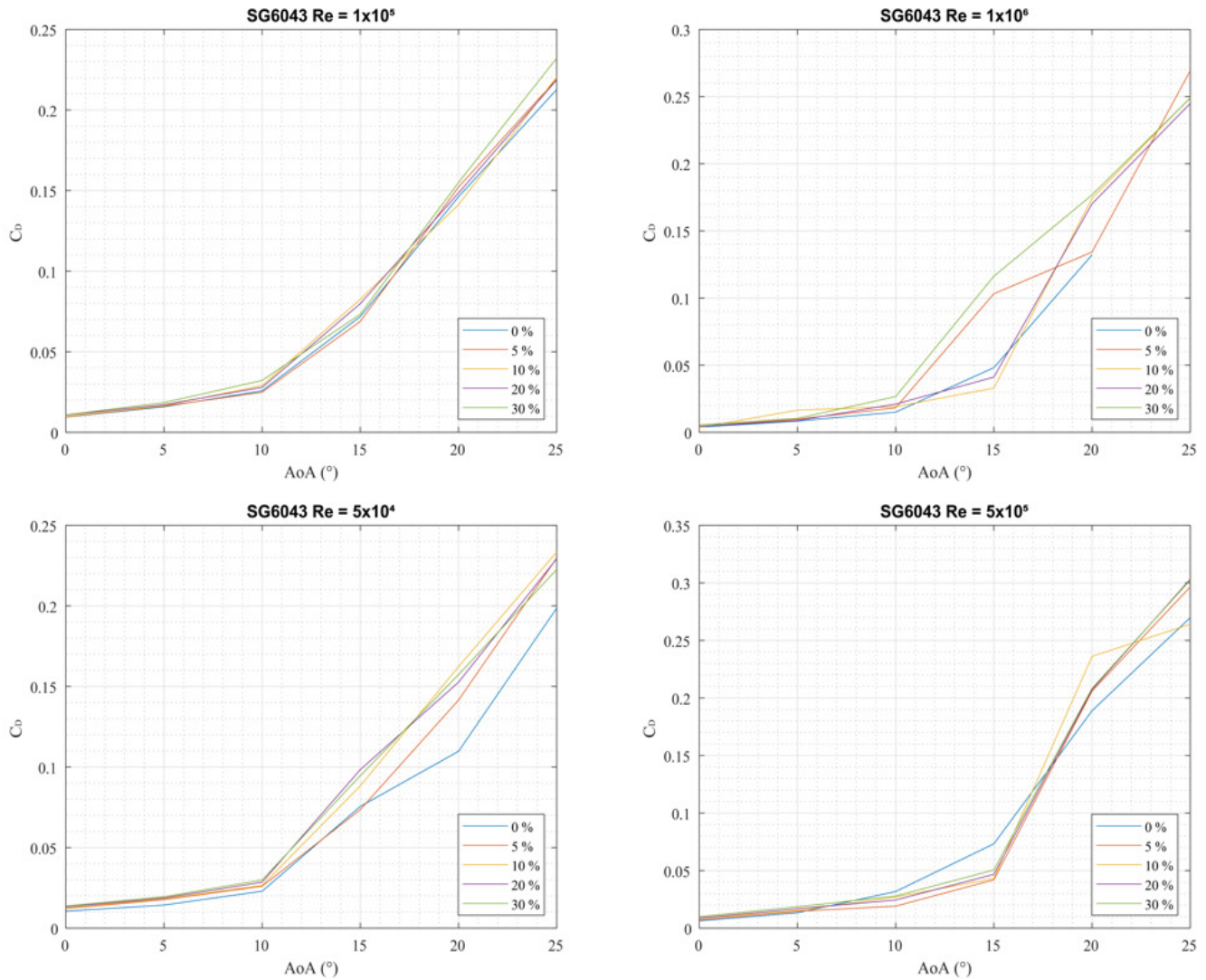
más notorio y definido que para el perfil NACA0012. En las 4 gráficas se aprecia un ligero aumento del arrastre al aumentar la turbulencia, salvo en el caso de mayor número de Reynolds, donde el comportamiento es errático. Dado que en el perfil S809 el arrastre aumenta al aumentar la turbulencia, se puede indicar que este perfil puede no resultar adecuado para aplicaciones en flujo turbulento.



**Fig. 2. Coeficiente de arrastre para el perfil S809.**

La Figura 3 presenta el coeficiente de arrastre para el perfil SG6043. El comportamiento de los valores máximos del arrastre al aumentar el número de Reynolds; es el contrario que para el caso del perfil S809, pues ahora al aumentar el Reynolds se registran valores mayores de arrastre. Esto indica una ventaja para el perfil SG6043 pues los números de Reynolds bajos son los más usuales en las aplicaciones de interés de este proyecto, en particular  $Re = 1 \times 10^5$  que es un valor típico de operación de turbinas eólicas de pequeña escala, de acuerdo con la literatura. Para la gráfica específica de  $Re = 1 \times 10^5$ , el comportamiento de la curva de coeficiente de

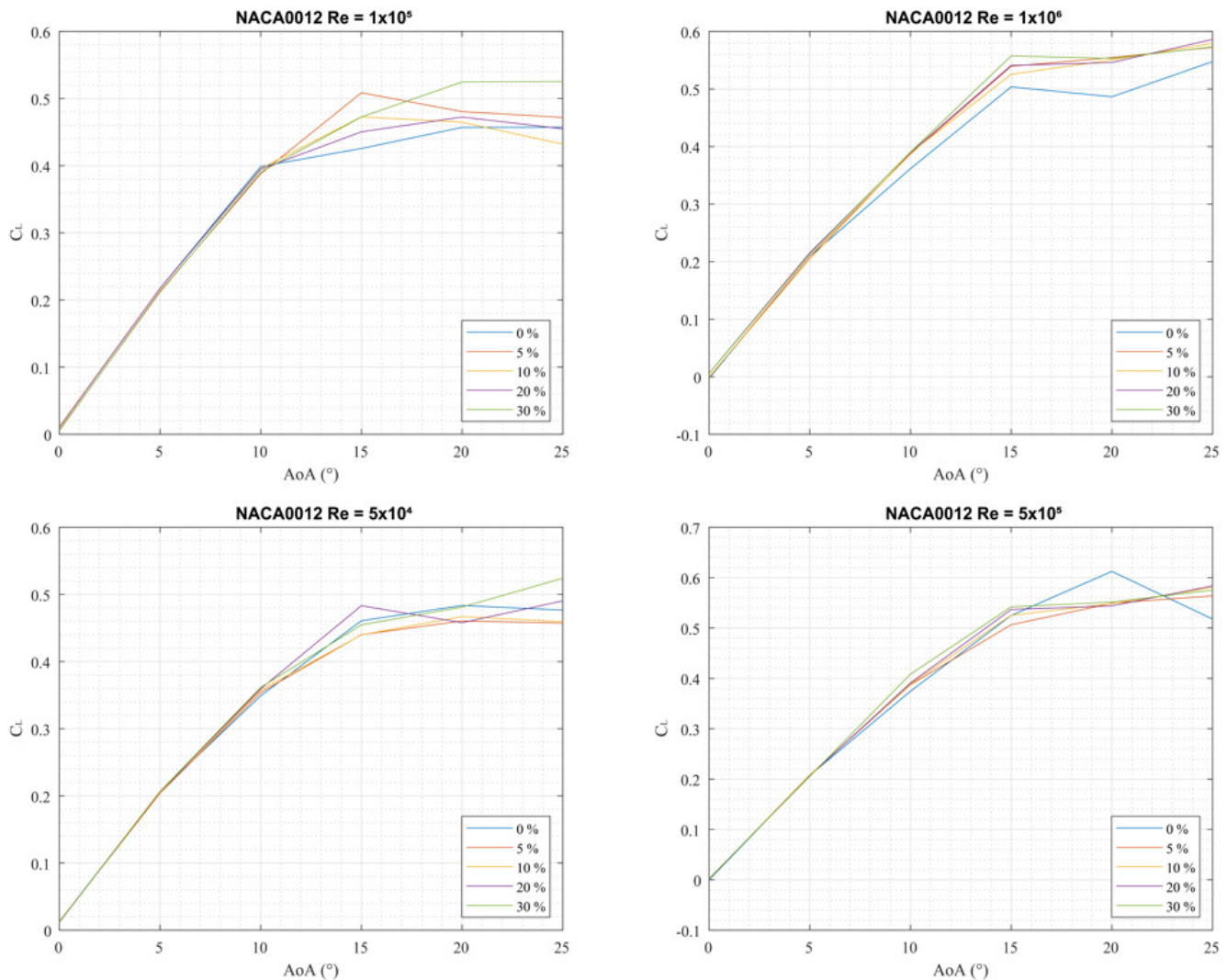
arrastre en función de la turbulencia no está muy bien definido. La curva de este coeficiente para la turbulencia de 30% resulta mayor en unos casos y menor en otros, al compararla con la curva de turbulencia 0%. Considerando que la respuesta del arrastre en el perfil SG6043 no es particularmente sensible ante cambios en la intensidad de turbulencia y que su tendencia es a la baja al disminuir el número de Reynolds, se identifican estas características como ventajas que posee este perfil para aplicaciones en flujo turbulento en turbinas de pequeña escala.



**Fig. 3. Coeficiente de arrastre para el perfil SG6043.**

La Figura 4 presenta el coeficiente de sustentación para el perfil NACA0012. De manera similar que en los casos anteriores, se muestran las curvas para 5 diferentes valores de intensidad de turbulencia en el escena-

rio de 4 diferentes números de Reynolds. Se observa que los máximos de sustentación que ofrece el perfil NACA0012 son sumamente estables, alrededor de 0,6.

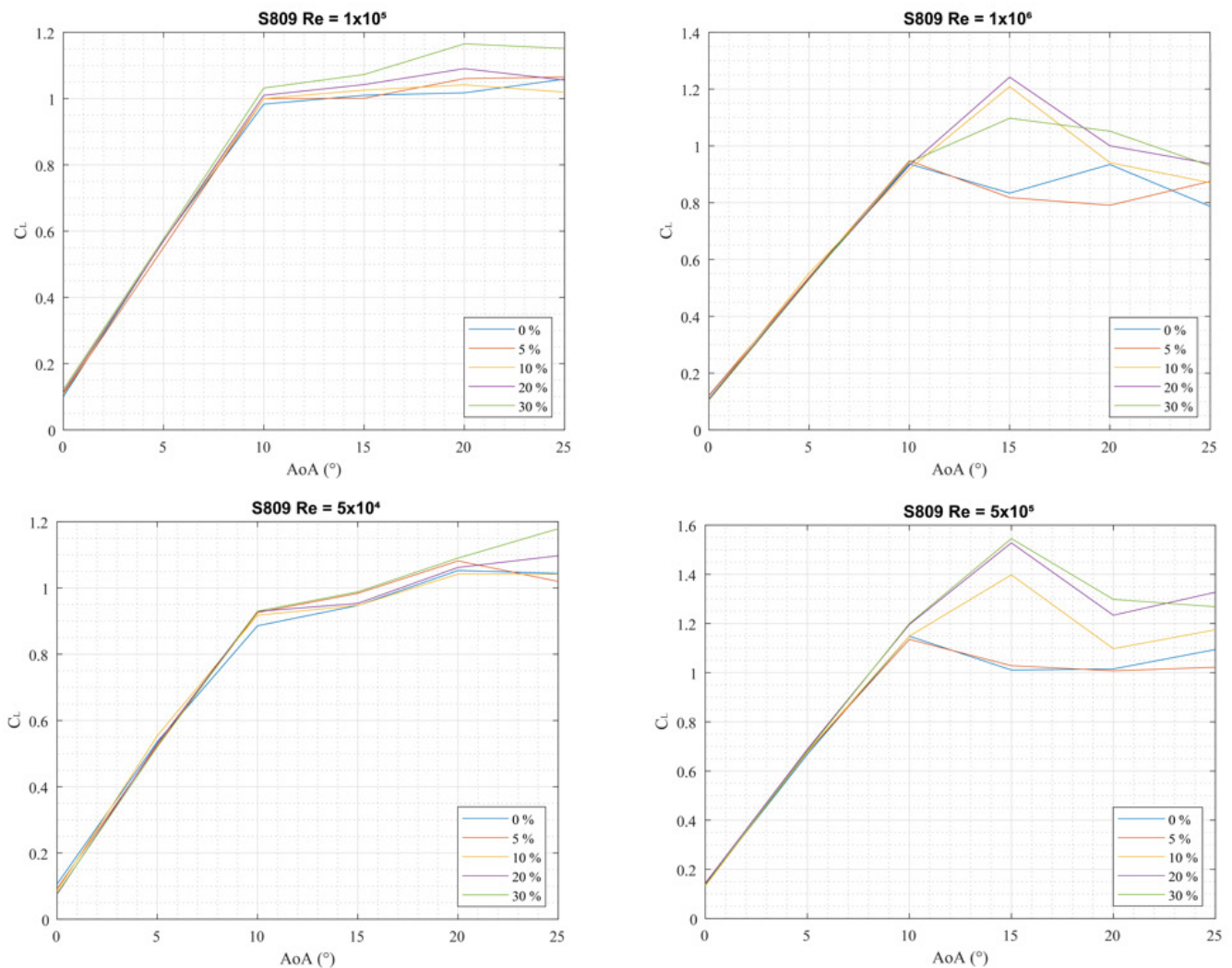


**Fig. 4. Coeficiente de sustentación para el perfil NACA0012.**

Al comparar la tendencia del coeficiente de sustentación en los cuatro regímenes de número de Reynolds del perfil NACA0012, se observa que la mayor diferencia y por tanto el mayor porcentaje de error ocurre para  $Re = 1 \times 10^5$ . En este caso el error inducido por la turbulencia tiene un máximo de 17.5 % para el ángulo de ataque de  $15^\circ$ .

En la Figura 5 se muestra el coeficiente de sustentación para el perfil S809. Es posible observar que la

turbulencia tiene un efecto positivo en el coeficiente de sustentación en este perfil, para todos los números de Reynolds de interés. No obstante, como se mencionó anteriormente respecto de la Figura 2, en este perfil el arrastre también aumenta al aumentar la turbulencia. Para definir de mejor forma lo adecuado o no que puede resultar este perfil particular, se valorará en breve el resultado de la razón entre sustentación y arrastre. De este modo es posible conocer cuál es el efecto dominante.



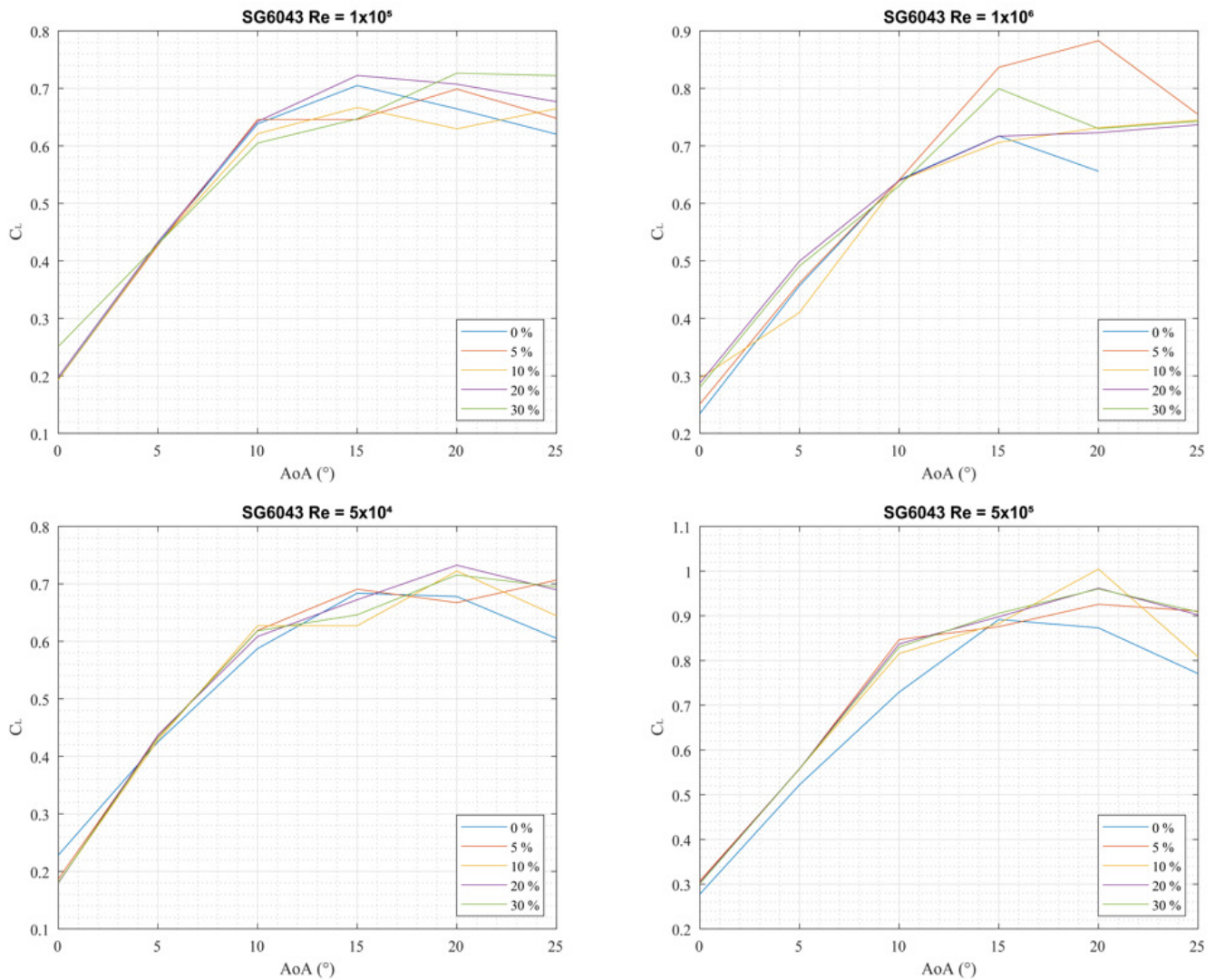
**Fig. 5. Coeficiente de sustentación para el perfil S809.**

Al comparar la tendencia del coeficiente de sustentación en los cuatro regímenes de número de Reynolds del perfil S809, se observa que la mayor diferencia y por tanto el mayor porcentaje de error ocurre para  $Re = 5 \times 10^5$ . En este caso el error inducido por la turbulencia tiene un máximo de 34.8 % para el ángulo de ataque de  $15^\circ$ . Es de destacar que es el mismo ángulo de ataque en el cual ocurre el máximo de error para el perfil NACA0012.

El comportamiento de la sustentación del perfil SG6043 se presenta en la Figura 6. Las curvas de sustentación son en su mayoría mayores conforme aumenta la turbulencia, pero la tendencia no es tan clara como

en el caso del perfil S809. Los valores de coeficiente de sustentación son en general menores en el perfil SG6043 que en el caso del S809, salvo para ángulos de ataque pequeños. Tanto en el caso del perfil S809 como para el SG6043, las curvas de sustentación aumentan al aumentar el Reynolds, hasta un máximo en  $Re = 5 \times 10^5$ , para luego registrar una disminución en  $Re = 10^6$ . Si se comparan los resultados mostrados para el coeficiente de sustentación de los tres perfiles, en las Figuras 4, 5 y 6, se observa que ofrecen mayor sustentación los perfiles S809 y SG6043.



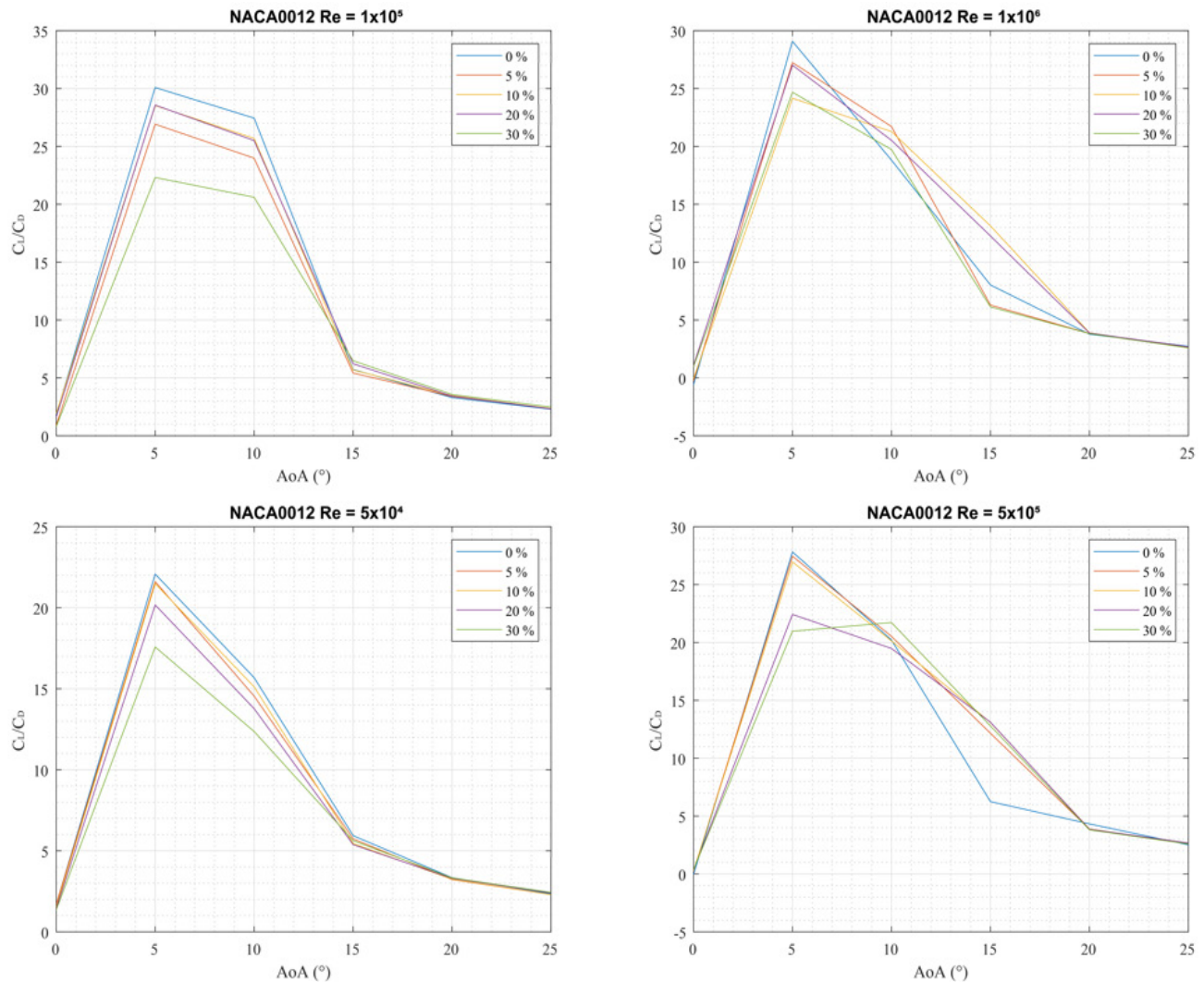


**Fig. 6. Coeficiente de sustentación para el perfil SG6043.**

Al comparar la tendencia del coeficiente de sustentación en los cuatro regímenes de número de Reynolds del perfil SG6043, se observa que la mayor diferencia y por tanto el mayor porcentaje de error ocurre para  $Re = 5 \times 10^6$ . En este caso el error inducido por la turbulencia tiene un máximo de 25.5 % para el ángulo de ataque de  $20^\circ$ .

Para determinar de manera más clara el comportamiento de los perfiles aerodinámicos, se presenta la relación entre sustentación y arrastre. En la Figura 7 se

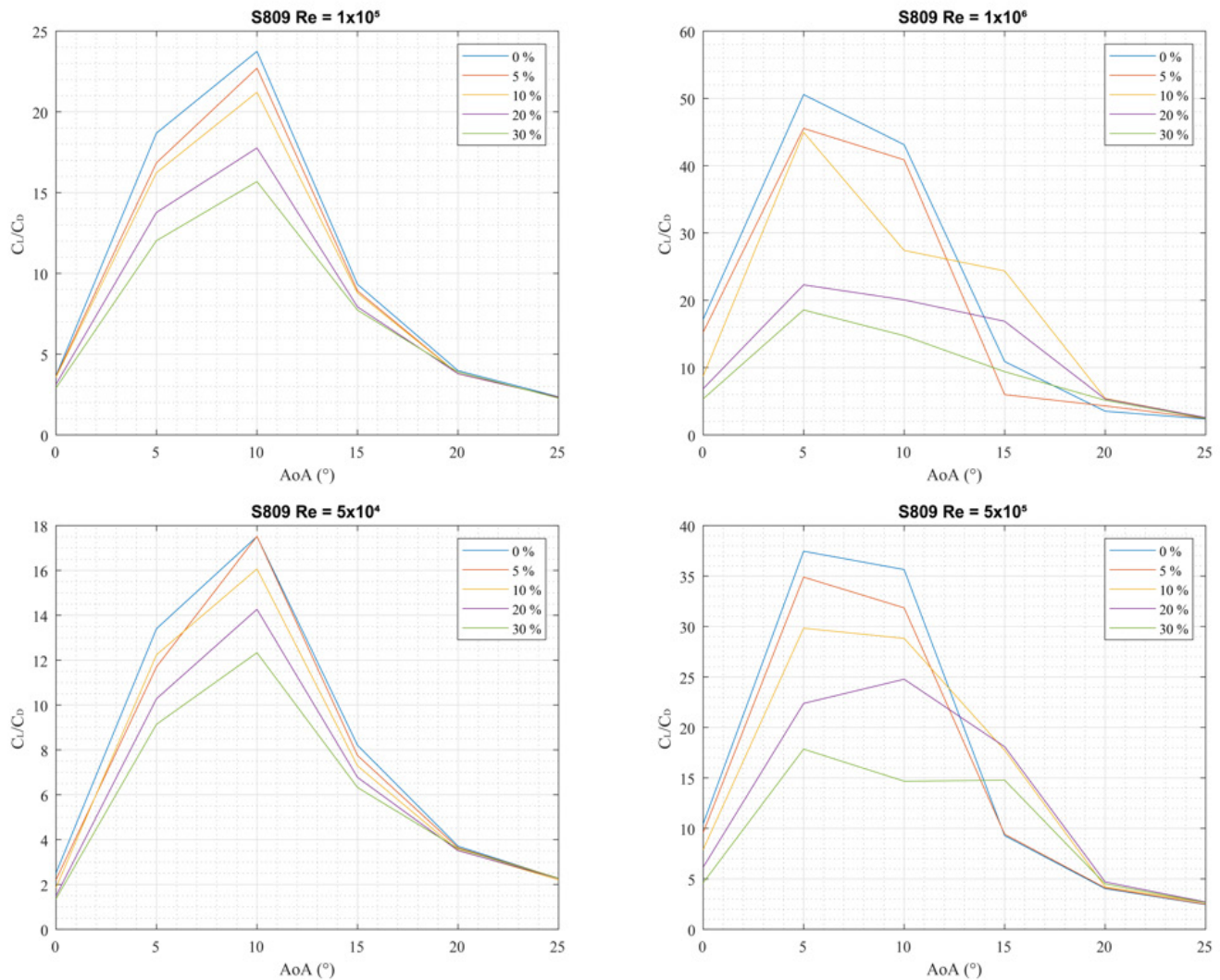
muestra el perfil NACA0012, que presenta una caída importante al aumentar el ángulo de ataque. Si se tiene en mente que para las aplicaciones de flujo turbulento es usual los cambios en la dirección del viento en el eje horizontal, debido a las fluctuaciones propias de la turbulencia, se debe reconocer que el mantener una adecuada respuesta aerodinámica para ángulos de ataque grandes es importante. Por esta razón una vez más se identifica que el perfil NACA0012 no resulta con un desempeño deseable en las condiciones de este estudio.



**Fig. 7. Relación entre el coeficiente de sustentación y el de arrastre para el perfil NACA0012.**

En la Figura 8 se muestra la relación entre sustentación y arrastre para el perfil S809. Aquí es evidente el impacto de la turbulencia. Por ejemplo, si se comparan

los casos de turbulencia 0% y 30%: para para el ángulo de ataque de  $10^\circ$ , con  $Re = 10^5$  la razón  $CL/CD$  cae de 24 a 15,5. Es decir, una pérdida del 35% para el S809.



**Fig. 8. Relación entre el coeficiente de sustentación y el de arrastre para el perfil S809.**

En la Figura 9 se muestra la relación entre sustentación y arrastre para el perfil SG6043. Al comparar con las figuras anteriores se encuentra que la tendencia del efecto de la turbulencia en los perfiles S809 y SG6043

es a disminuir la relación  $CL/CD$ . Pero en el caso del S809 la tendencia es mucho más clara y constante, para el SG6043 en algunos casos la turbulencia más bien aumenta la relación  $CL/CD$ .

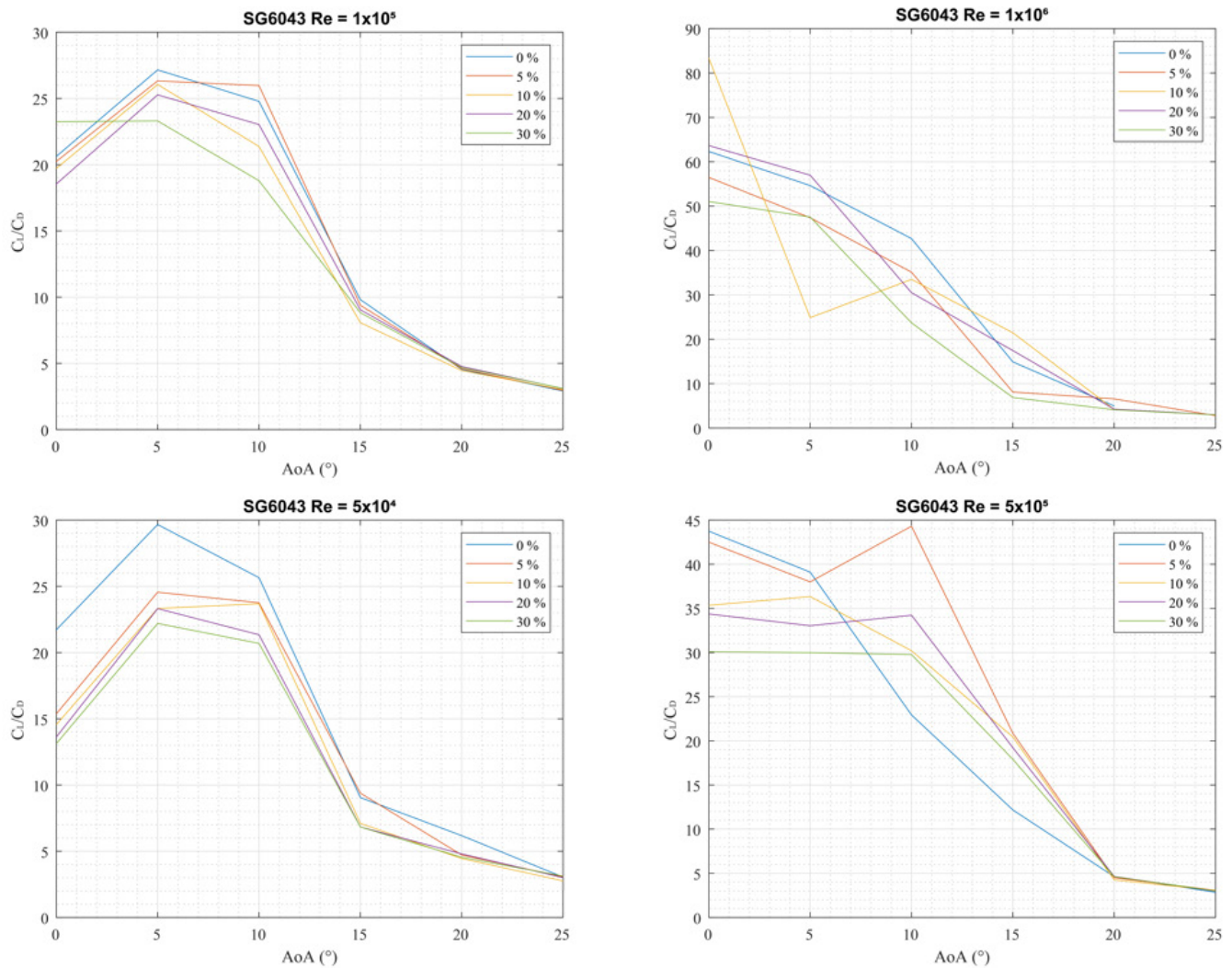


Fig. 9. Relación entre el coeficiente de sustentación y el de arrastre para el perfil SG6043.

#### IV. CONCLUSIONES

Luego de analizar la respuesta de los perfiles aerodinámicos NACA0012, S809 y SG6043 ante variaciones en el número de Reynolds y la intensidad de turbulencia, se puede concluir que:

1. El arrastre en el perfil NACA0012 no es significativamente afectado por el cambio en la turbulencia ni por el número de Reynolds, sin embargo, este perfil posee los valores de sustentación más bajos al ser comparado con los perfiles S809 y SG6043.

2. El perfil NACA0012 tiene los valores mínimos de sustentación entre arrastre y además presenta una caída importante al aumentar el ángulo de ataque. Por esta razón se identifica que el perfil NACA0012 no resulta con un desempeño deseable en las condiciones de este estudio.

3. El perfil S809 no es adecuado para aplicaciones en flujo turbulento dado que el arrastre aumenta al aumentar la turbulencia. Esto a pesar que la turbulencia tiene

un efecto positivo en el coeficiente de sustentación en este perfil. La no idoneidad se sustenta en que la tendencia del efecto de la turbulencia en el perfil S809 es a disminuir la relación  $CL/CD$ .

4. Algunas de las ventajas que posee este perfil SG6043 para aplicaciones en flujo turbulento en turbinas de pequeña escala son que la respuesta del arrastre no es particularmente sensible ante cambios en la intensidad de turbulencia y su tendencia es a la baja al disminuir el número de Reynolds. Además, las curvas de sustentación son en su mayoría mayores conforme aumenta la turbulencia.

5. En el perfil SG6043 la turbulencia disminuye o aumenta la relación  $CL/CD$ , pero en los casos que la disminuye el efecto es menor que en el perfil S809.

6. De los perfiles en estudio, resulta como más adecuado para turbinas eólicas de pequeña escala, el perfil SG6043.

Los resultados de este trabajo tienen una gran aplica-

ción en el campo de turbinas eólicas de pequeña escala, donde el comportamiento aerodinámico de los perfiles es sumamente dependiente de la turbulencia. Aplicando estos resultados es posible mejorar el desempeño de los aerogeneradores que se instalan en viviendas o en puntos remotos o aislados de la red, donde las condiciones de flujo se ven afectadas por obstáculos locales y las turbinas eólicas comerciales entregan un bajo desempeño.

## REFERENCIAS

- [1] R. Madriz-Vargas, A. Bruce, M. Watt, L. G. Mogoollón y H. R. Álvarez, «Community renewable energy in Panama: a sustainability assessment of the “Boca de Lura” PV-Wind-Battery hybrid power system,» *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, vol. 2, n° 18, pp. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1051/rees/2017040>
- [2] S. Mertenés, «Wind Energy in the Built Environment,» Ph.D. dissertation. Multi-Science, Brentwood, 2006.
- [3] P. Giguere y M. S. Selig, «New airfoils for small horizontal axis wind turbines,» *Journal of Solar Energy Engineering-transactions*, vol. 120, pp. 108-114, 1988. <https://doi.org/10.1115/1.2888052>
- [4] A. K. Wright y D. H. Wood, «The starting and low wind speed behaviour of a small horizontal axis wind turbine,» *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, vol. 92, n° 14-15, pp. 1265-1279, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2004.08.003>
- [5] G. Richmond-Navarro, M. Montenegro-Montero y C. Otárola, «Revisión de los perfiles aerodinámicos apropiados para turbinas eólicas de eje horizontal y de pequeña escala en zonas boscosas,» *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 17, n° 1, pp. 233-251, 2020. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a22>
- [6] A. Tummala, R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indraja y V. H. Krishna, «A review on small scale wind turbines,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 1351-1371, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>
- [7] L. Pagnini, M. Burlando y M. Repetto, «Experimental power curve of small-size wind turbines in turbulent urban environment,» *Applied Energy*, vol. 154, pp. 112-121, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.117>
- [8] W. D. Lubitz, «Impact of ambient turbulence on performance of a small wind turbine,» *Renewable Energy*, vol. 61, pp. 69-73, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.015>
- [9] P. Devinant, T. Laverne y J. Hureau, «Experimental study of wind-turbine airfoil aerodynamics in high turbulence,» *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 90, n° 6, pp. 689-707, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00162-9](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00162-9)
- [10] C. Sicot, P. Devinant, S. Loyer y J. Hureau, «Rotational and turbulence effects on a wind turbine blade. Investigation of the stall mechanisms,» *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, vol. 96, n° 8-9, pp. 1320-1331, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.01.013>
- [11] C. R. Chu y P. H. Chiang, «Turbulence effects on the wake flow and power production of a horizontal-axis wind turbine,» *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 124, pp. 82-89, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.11.001>
- [12] Y. Kamada, T. Maeda, J. Murata y Y. Nishida, «Visualization of the flow field and aerodynamic force on a Horizontal Axis Wind Turbine in turbulent inflows,» *Energy*, vol. 111, pp. 57-67, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.098>
- [13] Q. A. Li, J. Murata, M. Endo, T. Maeda y Y. Kamada, «Experimental and numerical investigation of the effect of turbulent inflow on a Horizontal Axis Wind Turbine (Part I: Power performance),» *Energy*, vol. 113, pp. 713-722, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.138>
- [14] S. W. Li, S. Wang, J. P. Wang y J. Mi, «Effect of turbulence intensity on airfoil flow: Numerical simulations and experimental measurements,» *Applied Mathematics and Mechanics*, vol. 32, n° 8, pp. 1029-1038, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10483-011-1478-8>
- [15] S. Wang, Y. Zhou, M. M. Alam y H. Yang, «Turbulent intensity and Reynolds number effects on an airfoil at low Reynolds numbers,» *Physics of Fluids*, vol. 26, n° 11, p. 115107, 2014. <https://doi.org/10.1063/1.4901969>
- [16] M. Lin y H. Sarlak, «A comparative study on the flow over an airfoil using transitional turbulence models,» *AIP Conference Proceedings*, vol. 1738, p. 030050, 2016. <https://doi.org/10.1063/1.4951806>
- [17] Langley Research Center, «Turbulence Modelling Resource,» NASA, [En línea]. Available: [https://turbmodels.larc.nasa.gov/langtrymenter\\_4eqn.html](https://turbmodels.larc.nasa.gov/langtrymenter_4eqn.html). [Último acceso: 08 03 2021].

## RESUMEN CURRICULAR



**Mariana Montenegro-Montero**, costarricense, máster en energía eólica de la Universidad Técnica de Dinamarca, e ingeniería aeroespacial con énfasis en aerodinámica de la Universidad de Tecnología de Delft. Tiene experiencia en diseño y construcción de rotores de turbina eólica.



**Gustavo Richmond Navarro**, costarricense, máster en ciencias de la ingeniería mecánica de la Universidad de Chile, profesor e investigador del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el campo de turbinas eólicas de pequeña escala.