

EVALUACIÓN DE SOFTWARE NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS DE SUPERFICIES SUSTENTADORAS

Soria Castro, Luis M.^{1*}

¹*Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*

Palabras clave: Aerodinámica, GNU, Software.

RESUMEN:

La utilización del método de red de vórtices implementado mediante software es variada; en el prediseño de aeronaves pequeñas, tanto de aeromodelos como aviones no tripulados, como también en la enseñanza de cursos de Aerodinámica. Actualmente un gran número de códigos, se encuentran disponibles bajo licencia de uso libre o GPL GNU. Ante la variedad de opciones se plantea el interrogante de la selección del programa más adecuado según los diferentes criterios y motivos de uso.

El objetivo de este trabajo se centra en la evaluación y comparación de los códigos; “*Athena Vortice Lattice (AVL)*”, “*Tornado VLM*”, “*Xflr5*” y “*Miarex*”, con el objeto de obtener precisiones acerca de los resultados que entregan y un proveer criterios de selección adecuados.

La metodología de análisis empleada consiste en comparar los diferentes programas entre sí con respecto a tres aspectos principales: facilidad de uso, precisión y calidad de los resultados. Asimismo se realiza la correlación de los resultados numéricos en concordancia a diversas publicaciones de trabajos experimentales de la antigua NACA.

Los resultados obtenidos son promisorios en el sentido de la precisión de los programas en analizar configuraciones de alas convencionales. Donde se observan errores y dispersión de resultados menores al 10%. Respecto de la usabilidad de los programas, al ser un análisis subjetivo los resultados son discutibles.

Las conclusiones se sintetizan en que los resultados son lo suficientemente precisos para los casos en análisis, y teniendo en cuenta los usos generales de códigos comparados. La capacidad prevista por los autores de algunos de los programas es bastante mayor a la analizada en el presente trabajo. Por ejemplo; los softwares *AVL* y *Xflr5* permiten realizar análisis dinámicos y modales de las alas. Con relación a la facilidad de uso y presentación de los resultados, varía mucho de un código a otro y puede significar, a modo de ver del autor, un criterio de selección para los usos didácticos y educativos de los mismos.

* Soria Castro, Luis M.: imsoriacastro@gmail.com , Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Velez Sarfield 1611, X5018JMX Córdoba, Argentina. Tel.: 0054 351 4334419.

1 INTRODUCCIÓN

El empleo de programas de análisis aerodinámico por métodos analíticos se ha popularizado, principalmente en el estudio de aeronaves pequeñas donde la correlación experimental no siempre es posible. El objetivo de este trabajo es la evaluación y comparación de los códigos; “Athena Vortice Lattice (AVL)”, “Tornado VLM”, “Xflr5” y “Miarex”, con el objeto de obtener precisiones acerca de los resultados que entregan y un proveer criterios de selección adecuados. Estos códigos emplean como método de cálculo la técnica de línea sustentadora y red de vórtices.

El método de red de vórtices es una técnica de análisis aerodinámico para flujo potencial. Donde el modelo matemático que representa el ala es un arreglo de vórtices distribuidos sobre la línea media, resultando en un ala sin espesor. En los casos analizados se tratan modelos rígidos y estacionarios de superficies sustentadoras. La distribución clásica de los vórtices se realiza panelizando la superficie en estudio. Ubicando el vórtice al 25% de la cuerda del panel y el punto de control para cada panel, al 75% de la cuerda del mismo. Luego mediante la integración del campo de movimiento, es posible calcular la sustentación y la resistencia inducida. Al trabajar con flujo ideal y sin espesor no se tienen en cuenta las componentes de resistencia de presión y fricción. Pero las restricciones de uso son menores que las del método de línea sustentadora, lo que permite geometrías arbitrarias y ángulos de diedro elevados, como así también el modelado de empenajes.

Con el auge de las licencias de software libre, estilo GNU GPL, se presentan multitud de programas de análisis aerodinámicos de diferentes grados de complejidad, en este trabajo se analizan cuatro códigos conocidos por referencias o uso.

2 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

A partir de los datos experimentales de los reportes, NACA TN 1422 [1] y NACA TN 1270 [2], se reproducen cuatro casos de análisis. Los cuales son alas rectas ahusadas con perfiles NACA clásicos de 4 y 6 cifras. En el caso del report 1422 emplea perfiles de 6 cifras y 10% de espesor. Combinando diferentes grados de alabeo geométrico para verificar las diferencias. En el caso del 1270, se presenta un ala con perfiles de 4 cifras, de 20 y 12 % de espesor.

Para cada ala se calculan los coeficientes característicos. Sin embargo las alas 2 y 3 solo se pudieron calcular resultados con el software Xflr5. La descripción de las alas comparadas se presenta en la Tabla 2.

3 PROGRAMAS

Los diferentes códigos/programas comparados en este trabajo son los siguientes:

3.1 Miarex ¹

Es un código programado en Matlab. El método de cálculo utilizado se basa en la teoría de la línea sustentadora, con las limitaciones que esto implica. Calcula la distribución de sustentación a lo largo de la envergadura, con el ángulo inducido del ala finita. Luego suma el coeficiente de sustentación local, el coeficiente de resistencia inducido, el C_d propio del perfil, y el coeficiente de momento, para con estos obtener los coeficientes globales. Este programa se basa en la fórmula desarrollada en NACA TN-1269 [3].

¹ Download page: (<http://scherrer.pagesperso-orange.fr/matthieu/aero/miarexdownload.html>)

Facilidad de uso: el empleo en si mismo resulta simple, pero carece de muchas opciones de configuración, sólo tiene las mínimas. No presenta un manual acabado de funcionamiento, ni del código. Permite el análisis integrado de perfiles mediante el empleo de Xfoil, debiendo ingresarse las coordenadas de cada perfil a analizar. Sin embargo esta interacción genera muchos problemas de cómputo y le quita estabilidad. Asimismo, no permite configurar el análisis de perfiles de una manera fluida. El código ha sido programado para una versión antigua de Matlab (versión 6.5, año 2002), en versiones más modernas genera errores y cuelgues repetidos.

Calidad de presentación de los resultados: Presenta para cada caso analizado multitud de gráficos y datos de resultados, como así también archivos en formato texto con los valores calculados. Al calcular integralmente el ala a partir de los perfiles, incluye entre los resultados las polares de los mismos. Asimismo permite obtener la distribución de C_p en la superficie analizada.

Precisión: Dentro de los cálculos realizados, la precisión es regular; si bien logra estimar razonablemente bien la pendiente de sustentación, falla en el cálculo del C_{L0} . Así también debido a los múltiples “cuelgues” que presenta durante funcionamiento, no es posible analizar todos los casos. Por ejemplo los casos de las alas 2, 3 y 4 no entregaron resultados, por problemas en la interacción entre el código Xfoil y MiareX propiamente dicho. Sin embargo, permite obtener el $C_{Lmáx}$ y $\alpha_{CLmáx}$ de alas, lo cual representa una buena aproximación, según se compara con los datos experimentales. (Ver Figura 1). Además permite para los casos de alas rectas ahusadas, obtener muy buenas estimaciones de la resistencia total de la misma, como puede verse en la Figura 2.

3.2 Xflr5 v5.0²

Es un programa de análisis para perfiles, alas y aviones operando a bajo número de Reynolds. Al igual que lo anteriores se dispensa bajo una licencia libre de tipo GNU GPLv2. Permite utilizar varios métodos de cálculo; línea sustentadora, red de vórtices y método de los paneles, en nuestro caso solo analizamos los dos primeros. Además permite el análisis de cuerpos fuselados mediante el método de los paneles.[4]

Facilidad de uso: presenta un manual de usuario, complementa con una interfaz gráfica amable y relativamente simple, presenta traducciones a varios idiomas. Una gran ventaja es que es multiplataforma y autónomo. Los gráficos de resultados se pueden armar según la conveniencia, y según el método de análisis empleado se puede obtener la distribución de C_p y velocidades sobre la superficie. Al igual que el caso de Miarex tiene el cálculo integrado de los perfiles aerodinámicos mediante Xfoil³, pero a diferencia de aquel, se encuentra totalmente programado de cero y no presenta grandes problemas. De hecho se le agregan capacidades sobre el Xfoil original.

Precisión: Los resultados expuestos muestran que dentro de la región de comportamiento lineal del CL, el compartimiento de este programa es muy satisfactorio, incluyendo la obtención de valores de resistencia total muy cercanos a los medidos experimentalmente. Los valores de pendiente de sustentación, y C_{L0} son lo bastante buenos en todos los casos con diferencias menores al 10%. Si bien permite ubicar la pérdida del ala, al analizar las alas 2 y 3, no converge para ángulos inferiores a la misma (ver Figura 5 y Figura 6). Y para el caso del

² Disponible en (<http://xflr5.sourceforge.net/xflr5.htm>)

³ Xfoil: software de análisis de perfiles por métodos de los paneles, desarrollado por Mark Drela y distribuido bajo una licencia GNU GPL.(<http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/>)

ala 4, yerra la pérdida por más de un 15 %, por lo que esta función debe ser criteriosamente usada.

3.3 Athena Vortice Lattice, AVL⁴

Es un código desarrollado por Mark Drela y Harold Youngren en el MIT que se dispensa bajo licencia GNU GPL1. El software es un programa para el análisis aerodinámico y de mecánica del vuelo de un avión rígido con configuración arbitraria. Emplea un modelo extendido de red de vórtices para las superficies sustentadoras, junto con un modelo de cuerpos delgados para los fuselajes y barquillas. También pueden ser especificados estados de vuelo no lineales y permite el cálculo de modos de vibrar asociados a la aeronave. El análisis de dinámica del vuelo combina una linearización completa del modelo aerodinámico a partir de un estado estático junto con las propiedades másicas especificadas.

Facilidad de uso: Este programa posee una interfaz de línea de comandos, y emplea un código propio para obtener la salida gráfica. Presenta un manual de uso y ejemplos de casos tipo. La técnica de entrada de datos es bastante engorrosa, pero permite el empleo mediante archivos batch. Y permite el guardado de resultados en texto plano, la presentación de los mismos está limitada por la anticuada interfaz gráfica que posee.

Precisión: para el caso del ala 1 el programa funciona satisfactoriamente, con la limitación en el cálculo de la resistencia, ya que solo calcula la inducida por la sustentación (ver Figura 1 y Figura 2). Mientras para el caso del ala 4, los resultados son realmente malos (ver Figura 3).

3.4 Tornado VLM v134.⁵

Es un método de red de vórtices implementado para Matlab u Octave. El código está previsto para aerodinámica lineal, diseño de aplicaciones de alas, en el diseño conceptual de aeronaves o en la educación. Es por ello usado en varias universidades y corporaciones alrededor del mundo. Se encuentra aún en fase de desarrollo y se pueden agregar funcionalidades.

Facilidad de uso: el código puede ser corrido en una interfaz de texto o en modo batch. No incluye una interfaz gráfica propia, sino que depende del entorno usado para correrlo, y los archivos de la configuración a analizar se deben cargar por línea de comandos. La gran ventaja por sobre los otros códigos es que debido a que se interpreta al ejecutarse, permite modificaciones del mismo rápidamente.

Precisión: Obtiene buenos resultados en los casos comparados, teniendo en cuenta la limitación de que al trabajar con red de vórtices solo “ve” la parte inducida de la resistencia aerodinámica. Asimismo, junto con el código Xflr5 son los mejores a la hora de obtener resultados. Incluso permite cálculos modales y de entrada en pérdida, aunque aún en fase beta.

4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son lo suficientemente precisos para los casos en análisis, y teniendo en cuenta los usos generales de códigos comparados. La capacidad prevista por los autores de algunos de los programas es bastante mayor a la analizada en el presente trabajo.

⁴ Disponible en: (<http://web.mit.edu/drela/Public/web/avl/>)

⁵ Disponible en: (<http://www.redhammer.se/tornado/>)

Por ejemplo; los códigos AVL y Xflr5 permiten realizar análisis dinámicos y modales de las alas.

Con relación a la facilidad de uso y presentación de los resultados, varía mucho de un código a otro y puede significar, a modo de ver del autor, un criterio de selección para los usos didácticos y educativos de los mismos, a modo de comparación final se presenta la Tabla 1.

A modo de conclusión general se propone como la mejor recomendación de uso el software Xflr5, ya que es el más sobresaliente en términos de facilidad de uso, integración del cálculo, y obtiene mejores resultados que los demás. Por su parte el Tornado VLM se recomienda en casos que se desee modificar el código programa de manera usual o donde se tenga por objetivo trabajar con la programación del mismo. Asimismo se recomienda excluir al código MiareX como opción a emplear, debido a la poca estabilidad que presenta su funcionamiento. Mientras que con respecto al AVL, además de que no en todos los casos produce resultados razonables, está anticuado con respecto a los otros programas comparados. Aunque se encuentra referenciado en numerosos trabajos.

REFERENCIAS

- [1] James C. Sivells. Experimental and calculated characteristics of three wings of naca 64-210 and 65-210 airfoil sections with and without 2deg washout. Technical Report 1422, NACA, Agosto 1947.
- [2] Robert H. Neely, Thomas V. Bollech, Gertrude C. Westrick, Robert Graham. Experimental and calculated characteristics of several NACA 44-series wings with aspect ratio of 8, 10 and 12 and taper ratios of 2.5 and 3.5. Technical Note 1270, NACA, Mayo 1947.
- [3] M. J. Queijo. Theoretical span load distributions and rolling moments for sideslipping wings of arbitrary plan form in incompressible flow. Technical Report 1269, NACA.
- [4] André Deperrois. Guidelines for Xflr5. Analysis of airfoils and wings operating at low Reynolds numbers. Diciembre 2008.

	Xflr5	AVL	Miarex	Tornado VLM
tipo	Programa autoejecutable	Programa autoejecutable	Código de matlab	Código de matlab/octave
Sistema operativo	Windows, Mac, Linux	Windows, Linux c/wine	Windows	Windows, Mac, linux
Licencia	GNU GPL	GNU GPL	Free	Free
Métodos de análisis	VLM LLT Paneles	VLM	LLT	VLM
Interfaz	Gráfica	texto	texto	Texto
Lenguajes de programación	C++, Qt	Fortran 77	.m	.m
Facilidad de uso	***	*	**	**
Calidad de resultados	***	*	**	***
Análisis de perfiles integrado	si	no	si	no
Visualización de resultados	***	*	**	***

Tabla 1: Resumen comparativo de los códigos analizados

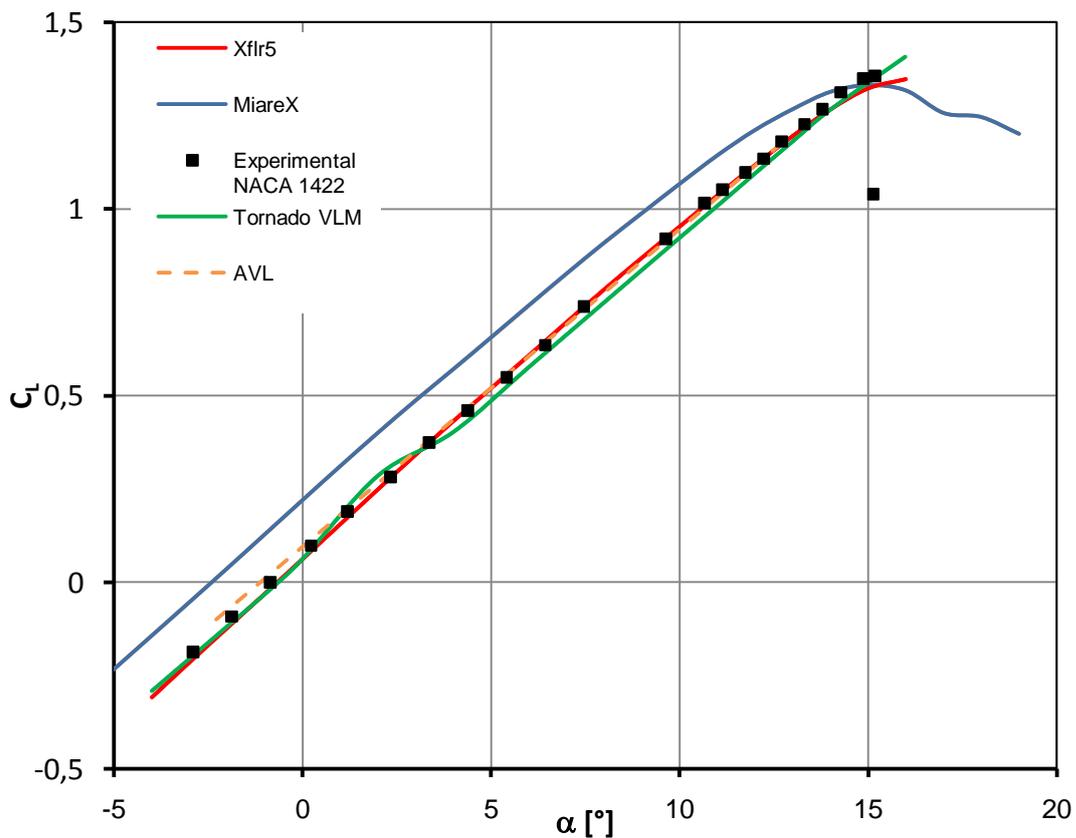


Figura 1: Comparación CL vs alfa. Ala 1.

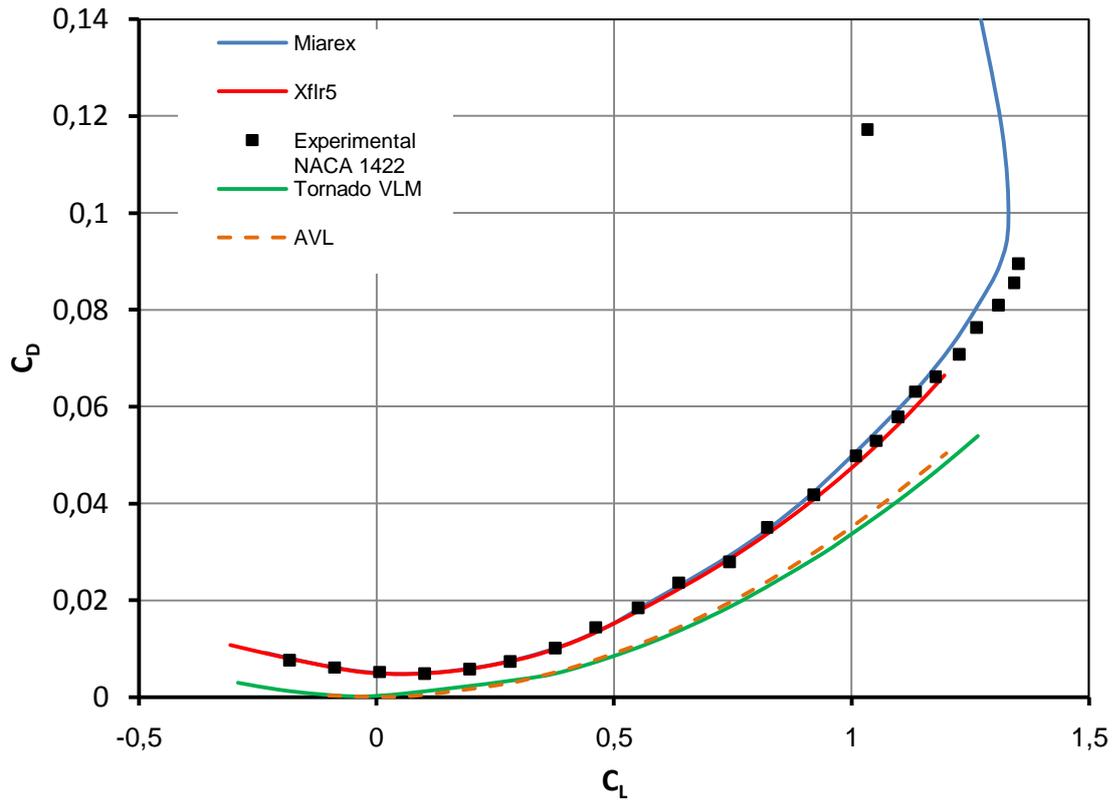


Figura 2: Comparación CD vs CL. Ala 1.

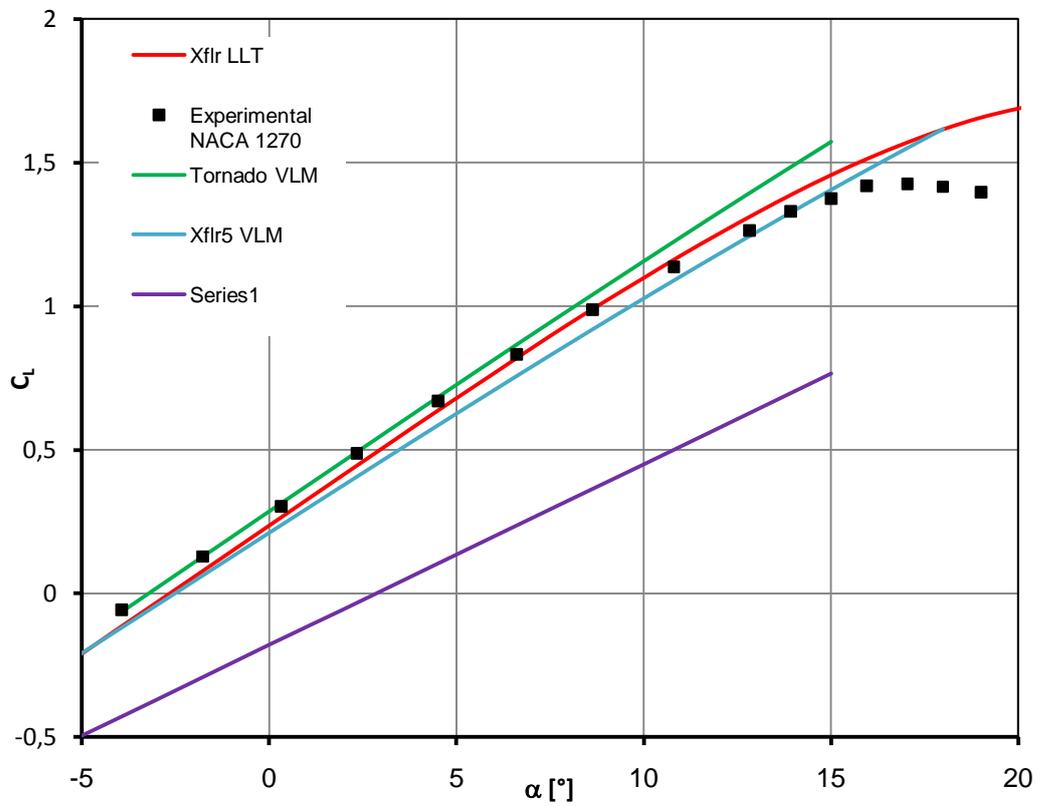


Figura 3: Comparación CL vs alfa. Ala 4.

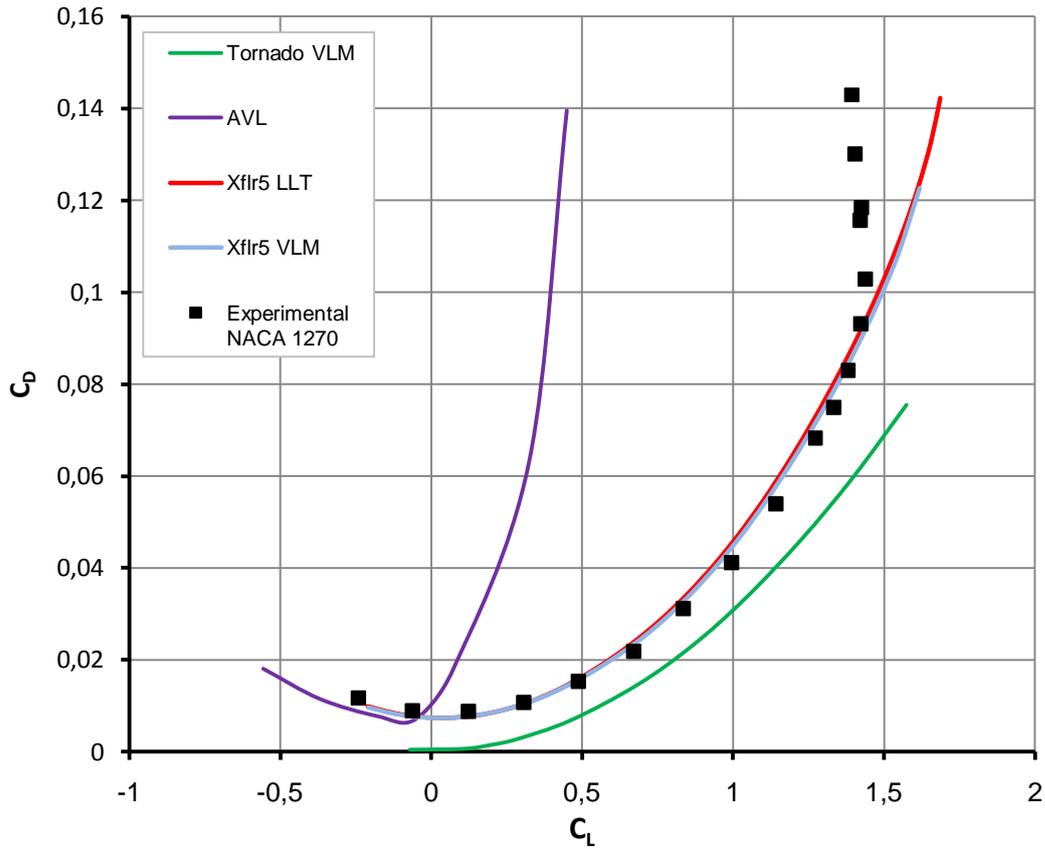


Figura 4: Comparación CD vs CL. Ala 4.

	Ala 1	Ala 2	Ala 3	Ala 4
Report	TN 1422	TN 1422	TN 1422	TN 1270
b [m]	4,572	4,572	4,572	4,572
c_r [m]	0,7257	0,7257	0,7257	0,653
c_t [m]	0,29	0,29	0,29	0,455
MAC [m]	0,539	0,539	0,539	0,559
α_G	-2°	-2°	0°	$-3,5^\circ$
Perfil (raíz/puntera)	N 64210	N 65210	N 65210	N 4420/N4412
$Re_{(MAC)}$	4.400.000	4.400.000	4.400.000	3.490.000
S_w [m ²]	2,32	2,32	2,32	2,533
$\Lambda_{0,25}$	0	0	0	0

Tabla 2: Características de alas comparadas.

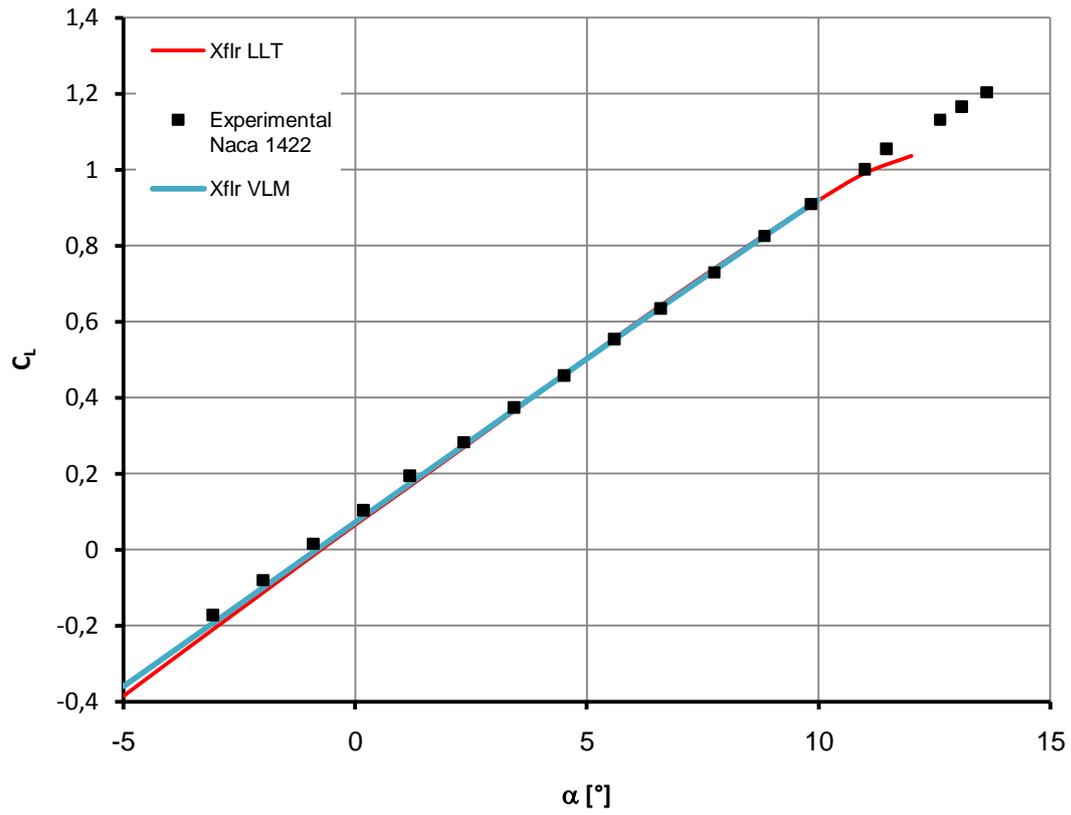


Figura 5: Comparación CL vs alfa. Ala 2.

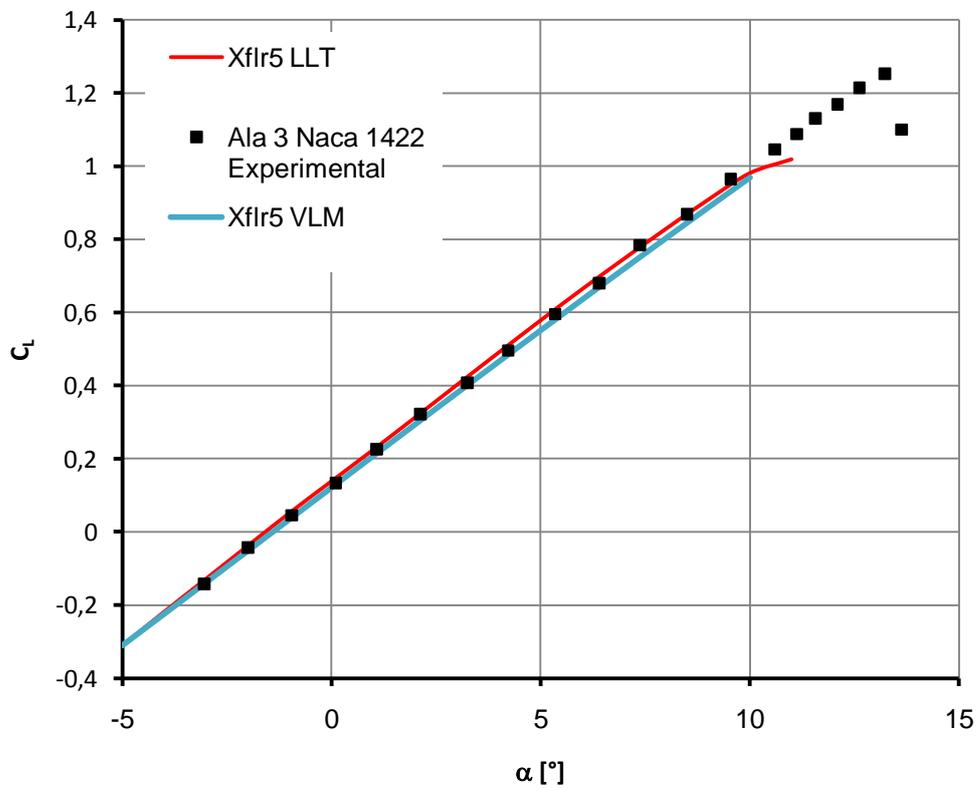


Figura 6: Comparación CL vs. alfa. Ala 3.