

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PERFILES AERODINÁMICOS SERIE SZ – 2000.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela
Por los Brs. De Azevedo P., Helder M.
Rojas C., Maiker
para optar al título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PERFILES AERODINÁMICOS SERIE SZ – 2000.

TUTORES ACADÉMICOS: Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea.
Prof. Ing. César Ferrer.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela
Por los Brs. De Azevedo P., Helder M.
Rojas C., Maiker
para optar al título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2004

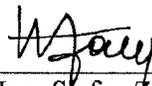
Caracas, 15 de Enero del 2004

ACTA

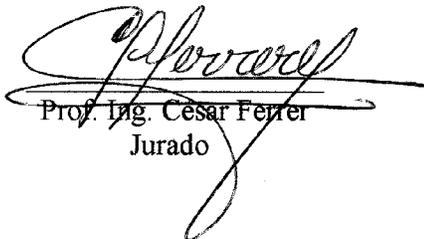
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres: De Azevedo P., Helder M. y Rojas C., Maiker titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PERFILES
AERODINÁMICOS SERIE SZ – 2000”**

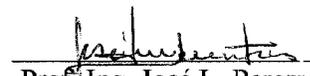
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ella signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.



Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea
Tutor Académico



Prof. Ing. César Ferrer
Jurado



Prof. Ing. José L. Perera
Jurado

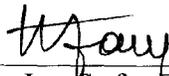
VEREDICTO

Los suscritos miembros del jurado examinador designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres: **De Azevedo P., Helder M. C.I. 14.690.097** y **Rojas C., Maiker C.I. 14.314.071** titulado:

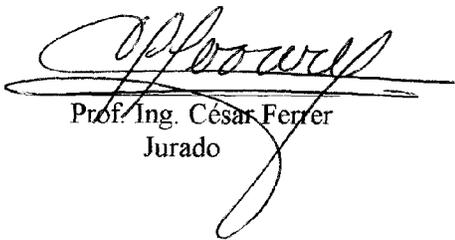
“DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PERFILES AERODINÁMICOS SERIE SZ – 2000”

Decidimos conferirle una **MENCIÓN HONORÍFICA** como premio al esfuerzo realizado y como estímulo a la actividad creativa demostrada en el transcurso de la elaboración de esta tesis de grado. El trabajo constituye un aporte importante e inédito a la generación y evaluación de perfiles aerodinámicos. El mismo se elaboró siguiendo una metodología rigurosa.

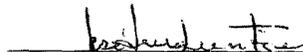
En fe de lo anteriormente expuesto se levanta la presente Acta en Caracas, a los quince días del mes de enero del dos mil cuatro, dejándose constancia de que, de acuerdo a la normativa vigente, actuó como coordinador del jurado examinador el Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea.



Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea
Tutor Académico



Prof. Ing. César Ferrer
Jurado



Prof. Ing. José L. Perera
Jurado

**De Azevedo P., Helder M.
Rojas C., Maiker**

DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PERFILES AERODINÁMICOS SERIE SZ – 2000.

**Tutores Académicos: Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea. Prof. Ing. César Ferrer. Tesis. 581 págs.
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2004.**

Palabras Claves: Perfiles Aerodinámicos. Método Paramétrico Modificado. Curvas Polares.
Modelos Matemáticos.

RESUMEN

En este trabajo especial se realiza en primer término la generación de dos nuevas series de perfiles aerodinámicos (SZ – 2000 y SZ – 2100) mediante la aplicación del Método Paramétrico Modificado ideado por el Prof. Stefan Zarea. Una vez definida la geometría de cada nuevo perfil se procede a realizar el cálculo de las propiedades aerodinámicas con el software Visual Foil 4.1® que reporta, para diversos regímenes de flujo (sugeridos por el Prof. Tutor Stefan Zarea), el valor de los coeficientes aerodinámicos y otras propiedades usando como variable independiente el ángulo de ataque (α). Después se trazaron las curvas características de cada nuevo perfil con el software Grapher 1.30®, para todos los perfiles que se obtuvieron anteriormente. Luego se calculó con una rutina programada en Mathcad 11® los valores para cada perfil de: Parámetros Geométricos, Coeficientes y Error Global del Polinomio utilizado para modelar el Extradós y los Coeficientes con el Error Global del Polinomio utilizado para modelar el Intradós. En la segunda parte del trabajo especial, se realizó el manejo algebraico de cada una de las funciones del potencial complejo de los modelos matemáticos propuestos por el profesor Dr. Ing. Stefan Zarea denominados SZ-I, SZ-II y SZ-III, mediante el uso del software Scientific Workplace 3.0®, de donde se obtuvieron las relaciones necesarias que modelan el flujo (líneas de corriente) en el plano complejo, el coeficiente de presión, el perfil de velocidades y las fuerzas aerodinámicas; es importante señalar que los modelos han sido diseñados colocando adecuadamente singularidades con el propósito de eliminar la paradoja de d'Alembert, de esta manera se puede realizar el cálculo teórico de la fuerza de arrastre, además de la fuerza de sustentación, sobre un obstáculo cilíndrico. El análisis numérico se realizó elaborando rutinas de cálculo con el software Mathcad® y sus resultados se visualizan con el uso de los paquetes Surfer 6.04® y Grapher 1.30®.

DEDICATORIA

A mis padres: María Dolores y Manuel y a mi hermano César, por su constante amor, apoyo y comprensión.

A Karina por su cariño y paciencia.

A mis verdaderos amigos por su apoyo.

A mis profesores y maestros.

Y a todas aquellas personas que tienen como meta el camino de la superación ante todo.

Helder Manuel De Azevedo Pereira

A mi madre, ya que sin su ejemplo de esfuerzo y tenacidad no habría llegado a esta etapa de mis estudios.

A todo el resto de mi familia, porque con ellos aprendí valores insustituibles de amor y confianza.

Maiker Rojas Castro

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Tutor Prof. Dr. Ing. Stefan Zarea quien nos propuso el tema de estudio, tres de sus modelos matemáticos, la bibliografía sobre las investigaciones que ha realizado en nuestra escuela y el programa Visual Foil 4.1 ® que adquirió especialmente para este fin. Además nos hemos beneficiado de su acertada guía y metódica dedicación con la cual supo obtener de nosotros resultados que pocas veces en el desenvolvimiento de la carrera hemos logrado y que con su ejemplo de esfuerzo, constancia e incansable aplicación al trabajo nos inspiró para llegar a culminar exitosamente este trabajo especial.

Al profesor César Ferrer, cotutor de este trabajo que nos facilitó los programas de Mathcad 11 ®, el Grapher 1.30 ® y la enseñanza para usarlo además de su permanente apoyo y seguimiento para avanzar en la configuración definitiva de muchos de los resultados obtenidos.

Al profesor José Luis Perera ya que nos ofreció su apoyo y estímulo para la realización de tareas específicas.

Al Ing. Rafael Balderrama quién desinteresadamente nos ayudó ofreciéndonos el código Scientific Workplace 3.0 ® que nos facilitó la realización de numerosos cálculos requeridos en este trabajo.

A Maria Teresa Rodríguez (Tere) por toda su colaboración y paciencia.

Al Cuerpo de Vigilantes de la Facultad de Ingeniería que nos permitieron el acceso a la Escuela de Ingeniería Mecánica durante los fines de semana y las vacaciones de verano y diciembre.

NOMENCLATURA

C_L : Coeficiente de Sustentación

C_D : Coeficiente de Arrastre

C_M : Coeficiente de Momento

$C_{Lmáx}$: Coeficiente de Sustentación máxima

$C_{D Lmáx}$: Coeficiente de Arrastre para Sustentación máxima

C_{mo} : Coeficiente de Momento para el ángulo de Sustentación nula

$C_{Dmín}$: Coeficiente de Arrastre mínimo

$C_{L Dmín}$: Coeficiente de Sustentación para Arrastre mínimo

$C_p, c.p.$: Centro de Presión

c : Cuerda del perfil

I_x : Momento de Inercia respecto al eje x

I_y : Momento de Inercia respecto al eje y

I_{xy} : Producto de Inercia respecto a los ejes cartesianos

$e_{máx}$: Espesor máximo

$f_{máx}$: Curvatura máxima

J_o : Momento Polar de Inercia

Re : Número de Reynolds

X_C : Abscisa del Centroides del perfil

$X_{e_{máx}}$: Abscisa del espesor máximo del perfil

$X_{f_{máx}}$: Abscisa de la curvatura máxima del perfil

Y_C : Ordenada del Centroides del perfil

$Y_{e_{máx}}$: Ordenada del espesor máximo del perfil

$Y_{f_{máx}}$: Ordenada de la curvatura máxima del perfil

α : Ángulo de ataque

α_M : Ángulo de ataque para sustentación máxima

α_o : Ángulo de ataque para sustentación nula

α_D : Ángulo de ataque para arrastre mínimo

C_L/C_D : Fineza aerodinámica

m : Fineza aerodinámica para Sustentación máxima
 M : Fineza aerodinámica máxima
 M : Ángulo de ataque para la fineza aerodinámica máxima
 A_n : Coeficiente enésimo del polinomio interpolante (del extradós o intradós)
 ϵ : Error global de los polinomios interpolantes
 ρ : Densidad del fluido
 F : Fuerza hidrodinámica
 F_D : Fuerza de Arrastre
 F_L : Fuerza de Sustentación
 V_R : Componente Radial de la Velocidad
 V : Componente Tangencial de la Velocidad
 $f(z)$: Función de variable compleja z
 Γ_1, Γ_2 : Circulación
 Q, q : Intensidad de la fuente o sumidero
 a : Radio del cilindro
 R : Modulo del vector de posición de un número complejo
 θ : Ángulo de posición de un vector o número complejo
 α, β : Ángulos de posición definidos en la figura 6.2.2
 R_a, R_b : Modulos de los vectores de posición definidos en la figura 6.2.2
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \phi, \theta, \eta$: Ángulos de posición definidos en la figura 6.3.3
 R_a, R_b, R_c, R_d : Modulos de los vectores de posición definidos en la figura 6.3.2
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \phi, \theta, \eta$: Ángulos de posición definidos en la figura 6.4.2
 R_1, R_2, R_3, R_4 : Modulos de los vectores de posición definidos en la figura 6.4.3
 R_1, R_2, R_3, R_4 : Modulos de los vectores de posición definidos en la figura 6.4.4
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Ángulos de posición definidos en la figura 6.4.5
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Ángulos de posición definidos en la figura 6.5.6
 V_o : Velocidad de la corriente no perturbada

INDICE GENERAL

PORTADA	I
RESUMEN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
NOMENCLATURA.	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO	3
1.1. Planteamiento del tema.	3
1.2. Importancia del tema.	4
1.3. Objetivos.	5
1.4. Metodología de trabajo.	6
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS	9
2.1 Antecedentes.	9
2.2 Estudios previos.	10
CAPÍTULO 3: TRAZADO DE PERFILES	12
3.1 Método Paramétrico Modificado.	12
3.2 Perfiles Base (Familia FX).	13
3.3 Coordenadas de los perfiles de la serie SZ – 2000.	21
3.4 Coordenadas de los perfiles de la serie SZ – 2100.	23
CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	24
4.1 Expresiones para el cálculo de los parámetros geométricos.	24
4.2 Parámetros geométricos de los perfiles SZ – 2000.	31

4.3	Coeficientes y errores de los polinomios interpolantes de los perfiles SZ – 2000.	35
4.4	Parámetros geométricos de los perfiles SZ – 2100.	36
4.5	Coeficientes y errores de los polinomios interpolantes de los perfiles SZ – 2100.	40
4.6	Parámetros geométricos de los Perfiles Base (Familia FX).	41
4.7	Coeficientes y errores de los polinomios interpolantes de los Perfiles Base (Familia FX).	44
	CAPÍTULO 5: CURVAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES AERODINÁMICAS	45
5.1	Curvas Características de los perfiles de la serie SZ – 2000.	45
5.2	Curvas Características de los perfiles de la serie SZ – 2100.	68
5.3	Curvas Características de los Perfiles Base (Familia FX).	82
5.4	Propiedades Aerodinámicas de los perfiles de la serie SZ – 2000 (para $Re = 1 E6$).	98
5.5	Propiedades Aerodinámicas de los perfiles de la serie SZ – 2100 (para $Re = 1 E6$).	105
5.6	Propiedades Aerodinámicas de los Perfiles Base (Familia FX, para $Re = 1 E6$).	111
	CAPÍTULO 6: EXPRESIONES DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y CÁLCULO DE LAS FUERZAS HIDRODINÁMICAS	115
6.1	Modelo Matemático Clásico.	115
6.2	Modelo Matemático SZ-I.	119
6.3	Modelo Matemático SZ-II	126
6.4	Modelo Matemático SZ-III.	133
	CONCLUSIONES	148
	RECOMENDACIONES	149
	BIBLIOGRAFÍA	150
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
	ANEXO 1	154

ANEXO 2	157
ANEXO 3	181
ANEXO 4	205
ANEXO 5	209
ANEXO 6	225
ANEXO 7	241
ANEXO 8	252
ANEXO 9	332
ANEXO 10	419
ANEXO 11	470
ANEXO 12	513

INTRODUCCIÓN

La gran variedad de aplicaciones y dispositivos para la conversión de energía creados por la técnica moderna exigen de una mayor rapidez y versatilidad en el estudio de los elementos que configurarán los dispositivos para estas nuevas aplicaciones. Entre éstos se pueden clasificar a los perfiles aerodinámicos ya que son parte integrante de los elementos móviles que se fabrican para realizar la conversión de energía mecánica y/o térmica. Existen métodos clásicos para generar nuevos perfiles que fueron desarrollados en su totalidad durante el siglo pasado y que hoy día se pueden aplicar usando las herramientas computacionales disponibles, estos métodos son, entre otros: Método de la Transformación Conforme, Método de Inversión Compleja, Método Paramétrico Convencional, etc. También se pueden evaluar perfiles clásicos experimentalmente (en túneles de viento) y realizando modificaciones a la geometría de éstos durante la experimentación, obtener nuevos perfiles modificados con el perfil clásico como base. Ambas formas de generación y evaluación de perfiles aerodinámicos son laboriosas y requieren del adiestramiento de personal altamente capacitado lo cual involucra una inversión importante de tiempo y recursos que las condiciones económicas actuales no permiten realizar. Es que se han desarrollado nuevos métodos de trazado de perfiles aerodinámicos. En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la U.C.V. el Prof. Stefan Zarea ha realizado extensa investigación aplicada orientada hacia la formulación de métodos novedosos para trazar y evaluar, experimental y computacionalmente, nuevos perfiles aerodinámicos; uno de estos es el *Método Paramétrico Modificado* (MPM), en el cual, combinando el extradós de un perfil conocido con el intradós de otro perfil de una misma clase o familia, se trazan nuevos perfiles con características aerodinámicas y geométricas distintas a las de los perfiles base seleccionados para su generación. Con el uso eficiente de las herramientas informáticas de que dispone cualquier institución académica o de investigación se puede aplicar de manera sistemática este método, generando nuevas series de perfiles para su posterior evaluación computacional y/o experimental.

El cálculo de las propiedades aerodinámicas de cada uno de estos nuevos perfiles se puede realizar con los softwares especializados mencionados anteriormente o aplicar nuevos modelos matemáticos basados en la descripción cinemática de flujos potenciales en el plano complejo. Este informe de trabajo especial de grado está dividido en 6 capítulos.

En el primer capítulo se realiza una breve reseña de lo que significa abordar este problema, su descripción e importancia, así como los objetivos que se plantean cumplir en este trabajo especial y la forma metodológica de lograrlo.

En el segundo capítulo se describe la evolución en los estudios más importantes realizados para la generación y evaluación de perfiles aerodinámicos, también se realiza una enumeración sucinta de los estudios previos realizados en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela y que sirvieron de referencia para configurar la metodología de estudio que sería aplicada en este trabajo especial.

El tercer capítulo está consagrado a la descripción del Método Paramétrico Modificado y a presentar los resultados de su aplicación con la rutina programada en Mathcad 11®, lo cual permitió trazar las dos series de perfiles cuyas coordenadas se transcribieron en tablas que se encuentran al final de este capítulo.

El cuarto capítulo tiene por objeto la deducción de las expresiones que permitieron calcular los parámetros geométricos de los perfiles generados y presentados en el capítulo anterior. Asimismo se reportan los resultados que arroja el programa elaborado en Mathcad 11® configurando una tabla comparativa para los perfiles de las distintas series y los perfiles base utilizados (perfiles FX).

El objetivo del quinto capítulo es presentar las curvas características de los perfiles de las dos series generadas mediante el MPM y presentar también una tabla comparativa para un valor de referencia del régimen de flujo ($Re = 1 \times 10^6$). Con ello se establece un criterio uniforme que nos permita evaluar el desempeño de un perfil con el software Visual Foil 4.1®. También se incluye un análisis de los resultados obtenidos al determinar las curvas características aerodinámicas de los mismos perfiles trazados.

En el capítulo 6 se realizan los desarrollos requeridos por los tres nuevos modelos matemáticos propuestos por el Prof. S. Zarea que permiten el cálculo de la fuerza de sustentación y además de la fuerza de arrastre eliminando de esta manera la paradoja de d'Alembert. De igual forma, en este capítulo se derivan las expresiones que permiten cuantificar la distribución de presiones (Coeficiente de Presión) y la Velocidad Tangencial (V_θ) alrededor de un cilindro utilizando el flujo potencial que crean las ecuaciones del potencial complejo para los tres modelos propuestos. Mediante estas últimas expresiones es posible obtener, aplicando la definición de Velocidad Inducida para las singularidades, las relaciones entre las distintas singularidades inmersas en el flujo aguas arriba y aguas abajo según sea el caso.

CAPÍTULO 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DEL TEMA.

1.1 Planteamiento del problema.

Los perfiles aerodinámicos son elementos fundamentales para la configuración de los dispositivos utilizados en la conversión de la energía mecánica y/o térmica (rodetes de: turbinas hidráulicas o de vapor, propelas, turboventiladores, alas de avión, agitadores axiales, etc.), es por ello que en la actualidad se necesita de métodos que agilicen la generación, prueba y optimización de nuevos perfiles para su aplicación en la industria. Ya que la generación de nuevos perfiles por los métodos conocidos (Transformación Conforme, Método Paramétrico Convencional, etc.) conlleva el adiestramiento de personal altamente calificado con una importante inversión de tiempo y recursos, el Prof. Stefan Zarea ha ideado el Método Paramétrico Modificado (MPM), el cual consiste en tomar el extradós de un perfil existente y combinarlo con el intradós de otro perfil de la misma familia u otra clase distinta. La aplicación sistemática de este método permite la obtención de nuevos perfiles con características (tanto geométricas como aerodinámicas) distintas a las de los perfiles tomados como base para el extradós e intradós. La determinación de las curvas características se puede realizar mediante métodos computacionales y/o experimentales.

Para la aplicación de métodos de evaluación computacionales se utilizan, por lo general, softwares especializados que calculan diversas propiedades aplicando modelos matemáticos para simular el flujo alrededor del perfil, rugosidad y otras condiciones. Es posible aplicar modelos matemáticos de mayor sencillez que los utilizados actualmente para la decodificación de estos softwares. Los modelos de flujo potencial desarrollados en la literatura de la especialidad, permiten configurar el espectro hidrodinámico para el flujo alrededor de un cilindro y, mediante la aplicación de teoremas matemáticos (de Blasius, del Residuo) se calculan las expresiones para las componentes de la fuerza aerodinámica (Sustentación y Arrastre) variando la incidencia del flujo (α). En base a los modelos clásicos y los modelos que incluyen singularidades exteriores al cilindro (vórtices, sumideros, fuentes), el Prof. S. Zarea ha propuesto tres modelos matemáticos que modifican las expresiones de la fuerza aerodinámica para diversos parámetros de las ecuaciones, eliminando así la Paradoja de D'Alembert. Esto permite obtener rangos de aplicación para los modelos que arrojarían valores de los coeficientes aerodinámicos en el

flujo alrededor de un cilindro. Con la aplicación de un proceso numérico para la transformación del flujo con un cilindro ubicado en el origen, se puede obtener el espectro hidrodinámico de un perfil conocido (o generado mediante el MPM) y sus correspondientes coeficientes aerodinámicos para diversas incidencias del flujo alrededor del perfil.

1.2 Importancia del tema.

En el proceso de generación y prueba de perfiles aerodinámicos se deben trazar las curvas características de estos para diversos regímenes de flujo a la vez que se varía la incidencia del flujo circulante alrededor del perfil. En este trabajo especial se utilizará, para trazar las curvas características de los perfiles aerodinámicos de las series SZ – 2000 y SZ – 2100, el código Visual Foil 4.1® que fue puesto a nuestra disposición por el Prof. S. Zarea.

Las curvas características trazadas con el código VisualFoil® 4.1 de P. Hanley se basan en el modelo matemático de Baldwin-Lomax para flujo turbulento y superficie lisa o rugosa de los perfiles. La convalidación de este software se ha realizado en trabajos anteriores (Gutiérrez, 2002) en donde se ha concluido que la desviación de los resultados de éste difieren en no menos de un 3% en promedio con los resultados experimentales (Abbot, I. y Doenhoff A., 1950; Riegels F., 1976).

Los modelos matemáticos que serán evaluados se refieren a un flujo plano de un fluido ideal con distintas características cinemáticas. La variación de estas características cinemáticas (perfil de velocidades corriente arriba del obstáculo, presencia y distribución de singularidades en el flujo, etc.) permiten eliminar la paradoja de D'Alembert y calcular teóricamente los coeficientes de sustentación y de arrastre (en consecuencia la fuerza aerodinámica) y trazar las curvas características teóricas de un perfil, que podrían diferir poco de las curvas computacionales. En consecuencia será posible definir un modelo matemático que permita variar ciertos parámetros del flujo y obtener las curvas características teóricas aproximadas de un determinado perfil aerodinámico, utilizando un programa de computación propio que sería elaborado para tal fin. De esta manera será posible predecir el comportamiento del perfil en regímenes distintos del régimen de

diseño y elaborar sugerencias para el diseñador y el usuario del equipo que utilizaría el perfil considerado.

La investigación propuesta tiene, en consecuencia, tanto interés teórico como aplicabilidad práctica. El interés teórico consiste en la posibilidad de realizar el estudio analítico del flujo utilizando modelos matemáticos relativamente sencillos que simplifican la investigación y además permiten evaluar y cuantificar la influencia de la estructura cinemática del flujo sobre el comportamiento dinámico del perfil.

El interés práctico de esta investigación deriva de la posibilidad que ofrecen los nuevos perfiles, evaluables computacionalmente, para satisfacer los requerimientos específicos de los diseñadores de aviones, turbomáquinas axiales, agitadores axiales de flujo, etc.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo Principal:

El objetivo principal del presente trabajo especial consiste en trazar las curvas características de los perfiles aerodinámicos serie SZ – 2000 y SZ – 2100 utilizando el código Visual Foil 4.1® y determinar las expresiones de las fuerzas de sustentación y arrastre de tres modelos matemáticos.

1.3.2 Objetivos Específicos y Alcances:

El cumplimiento de este objetivo está asociado con los objetivos específicos que se presentan a continuación:

- Trazado de varios perfiles con el Método Paramétrico Modificado.
- Adquirir destreza en el manejo de los programas de computación: Visual Foil 4.1®, Mathcad 11®, Grapher 1.30® y Surfer 6.0®.

- Detallar el procedimiento de cálculo de los parámetros cinemáticos con los modelos matemáticos SZ – I, SZ – II y SZ – III.
- Desarrollar las fórmulas de cálculo de las fuerzas y coeficientes aerodinámicos correspondientes a los modelos SZ – I, SZ – II y SZ – III.
- Trazar las curvas características de los perfiles serie SZ – 2000 y SZ – 2100 utilizando el código Visual Foil 4.1®.
- Elaborar los programas de cálculo de los coeficientes aerodinámicos y de la fuerza aerodinámica.
- Interpretar los resultados de la comparación de las curvas características obtenidas con el código Visual Foil 4.1®.

1.4 Metodología de trabajo

Para cumplir con los objetivos planteados en el anterior subcapítulo se aplica la metodología que se describe a continuación.

A sugerencia del Prof. Tutor Stefan Zarea se seleccionaron los perfiles de la familia FX para utilizarlos como base en la aplicación del Método Paramétrico Modificado. Se programó una rutina de cálculo con el software Mathcad 11®, la cual permite la generación de nuevos perfiles manipulando la data correspondiente a las coordenadas de los perfiles base contenidos en la librería de Visual Foil 4.1®. Con este programa se generaron dos series completas de 100 perfiles cada una (SZ – 2000 y SZ – 2100). Una vez organizada toda esta información se utilizó el código computacional Visual Foil 4.1® y el programa Grapher 1.3® para obtener la data y trazar las siguientes gráficas:

- Dibujo del Perfil identificando la posición de los puntos de: Estancamiento, Transición en el Extradós, Transición en el Intradós, Separación en el Extradós y

Separación en el Intradós; incluyendo la denominación del perfil para cada una de las series.

- Curvas del Coeficientes de Presión ($-C_p$ vs. X) para dos o tres ángulos distintos de ataque y $Re = 1 \times 10^6$.
- Curvas Polares (C_L vs. C_D), para siete números de Reynolds (2×10^5 a 9×10^6).
- Curvas de la Fineza Aerodinámica (C_L/C_D vs. α).
- Gráfico conjunto de las Curvas de C_L vs. α , C_D vs. α y C_m vs. α .

Utilizando nuevamente el software de cómputo Mathcad 11®, se codificó un programa para calcular todos los parámetros geométricos de importancia: curvatura máxima ($f_{m\acute{a}x}$), abscisa de la curvatura máxima ($Xf_{m\acute{a}x}$), espesor máximo ($e_{m\acute{a}x}$), abscisa del espesor máximo ($Xe_{m\acute{a}x}$), Área, Coordenadas del Centroide (X_c , Y_c), Momento de Inercia respecto a los ejes coordenados (I_x , I_y), Momento polar de Inercia (J_o) y Producto de Inercia (I_{xy}). Este programa permite importar la data correspondiente a las coordenadas de cada perfil obtenidas con Visual Foil 4.1®, aplica un método de interpolación polinómica para el Extradós e Intradós (polinomios de grado 10 para cada caso) e integra las expresiones desarrolladas para cada uno de estos parámetros. Finalmente se exportan los datos con los resultados para cada perfil. Con estos valores se realizaron tablas comparativas para las dos series de nuevos perfiles SZ y para la familia de perfiles base (perfiles FX).

El análisis de los modelos matemáticos SZ – I, SZ – II y SZ - III comienza con la descripción y presentación de las fórmulas que definen el potencial complejo se realizó utilizando el software Scientific Work Place 3.0®. Se establecieron las expresiones de las funciones de corriente, de las componentes de la velocidad y de las expresiones de las fuerzas aerodinámicas aplicando el teorema de Blasius y el teorema del residuo para la función corriente (Milne - Thomson, 1968). Asimismo se dedujeron las expresiones de la Velocidad Inducida de las singularidades en el flujo, el Coeficiente de Presión (C_p) y la Velocidad tangencial (V_θ). Utilizando el programa Mathcad 11® se programaron las ecuaciones para obtener la data correspondiente a cada una de las mallas que permitieron trazar el espectro hidrodinámico en Surfer 6.0®. Igualmente se programaron las ecuaciones de la Velocidad Inducida y el Coeficiente de Presión para determinar los

rangos de aplicación de los parámetros cinemáticos que definen las cualidades del flujo para cada potencial complejo. Una vez que se hallan los rangos de aplicación se realizó un proceso numérico para la transformación conforme del flujo alrededor de un cilindro a un flujo potencial alrededor de cada uno de los perfiles generados con el MPM. Luego se aplicaron las expresiones de la fuerza aerodinámica y, sustituyendo los valores de los parámetros cinemáticos se calcularon los coeficientes de: Arrastre, Sustentación y Momento.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS.

2.1 Antecedentes.

La primera etapa en el trazado de perfiles aerodinámicos ha sido estrictamente empírica. Al principio de siglo (Joukowski, Kuethe, A., 1976, Milne, Thomson, 1968) se inició el trazado de perfiles utilizando transformaciones conformes. Luego se han aplicado métodos analíticos y computacionales muy diversos que permiten determinar la distribución de velocidades y de presión sobre el intradós y el extradós del perfil estudiado.

Otra vía de estudio consiste en la medición de los parámetros aerodinámicos en un túnel de viento, el cálculo de los valores de los coeficientes aerodinámicos y trazado de las curvas características (Abbot, I., Doenhoff, A., 1950, Riegels, F., 1961, Rebuffet, 1968). Los modelos matemáticos basados en el uso del modelo de fluido perfecto permiten determinar con suficiente precisión el coeficiente de sustentación y momento. Para el coeficiente de arrastre, los resultados no son satisfactorios (Truckenbrodt, E., 1959, Thwaites, B., 1969, Fuchs, R., 1930, Jacob, C., 1950). Por esta razón se requieren estudios y comprobaciones experimentales. El estudio combinado de un modelo de capa limite sobre perfiles permite la obtención de curvas características que son confirmadas por los resultados experimentales (Rebuffet, 1968, Spence, D., 1954, Hanley, 1989).

En el caso de los perfiles trazados u optimizados por vía experimental se han desarrollado métodos específicos para el cálculo analítico de los coeficientes aerodinámicos, conocidos como métodos para resolver problemas directos (Carafoli, 1982). En el caso de que el contorno del perfil se obtenga por vía analítica o computacional el procedimiento se conoce como método para resolver problemas inversos o indirectos. Este método es el más desarrollado y ha sido concretado en numerosas publicaciones: artículos en revistas, ponencias en congresos científicos y libros. De los autores de libros más conocidos que presentan métodos indirectos para estudios de los perfiles considerando el fluido ideal, se citan los siguientes: Abbot (1950), Riegels (1961), Milne – Thomson (1968). Métodos analíticos y/o numéricos para el estudio de la capa limite sobre perfiles se encuentran en los libros clásicos de: Schlichting, Evans, etc. Existe una amplia bibliografía referente a la capa limite sobre

perfiles aerodinámicos (Itiro, 1977, Williams, S., 1977, Séller, H., 1978, Reshortko, 1975, Cimbala, 1990, Williams, K., 1990, Bokser, 1994).

La elaboración de programas de computación considerando el flujo turbulento representa la herramienta más eficiente para la evaluación de perfiles aerodinámicos y trazados de las curvas características es decir, para resolver problemas directos (Hanley, P., 1989, Jameson, H., 1993, Fertis, 1994, Van Dam, 1999, Ganes, 1994, Davidson, 1995). La optimización aerodinámica de los perfiles se logra estudiando la influencia de los parámetros que definen su geometría: borde de ataque, esqueleto, extradós, intradós y borde de fuga. Normalmente se evalúa la influencia de las modificaciones de cada uno de estos cinco parámetros por separado; la variación simultánea conduciría a un problema matemático difícil de resolver. Además se requeriría el estudio del comportamiento aerodinámico para varios ángulos de incidencia y en regímenes no permanentes. Los programas computacionales que se citan en la literatura se refieren a regímenes no permanentes para los cuales se comprueba el comportamiento de un perfil optimizado para flujos permanentes.

2.2 Estudios previos.

Los estudios previos realizados para diversas instituciones y publicaciones de interés científico y/o académico se han utilizado como referencia para estructurar el contenido y aplicar la metodología que resolvería los problemas planteados en este trabajo especial.

El enfoque que se utilizará deriva de los métodos desarrollados por el Prof. Stefan Zarea, que tiene como línea de investigación en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela, la generación de nuevos perfiles aerodinámicos y el estudio dinámico de los mismos. Entre los estudios realizados se incluyen numerosas tesis de pregrado en donde se estudian distintas expresiones de potenciales complejos (Alarcón, Mariano A. y Pérez V., Froilán R.; 1995), la generación de perfiles mediante el método de inversión compleja de curvas generatrices abiertas y/o cerradas (Albornoz M., J. H., 1985; Pelaez U., F. A., 1985), la evaluación experimental de perfiles (Castro C., Gustavo y Falcón G., Juan; 1989), la determinación de curvas características de perfiles Zarea Modificados (Martins, F. A. y Montoya L., J. L., 1982), la generación de nuevos perfiles (Rodríguez, I., 1983), etc. Asimismo se incluyen estudios de segundo nivel

(Gutiérrez, 2002) y trabajos de ascenso del personal docente (Perera T., José L. 1995) en donde se han convalidado los resultados de softwares de evaluación computacional (Visual Foil 4.1®) y se han estudiado las expresiones clásicas de transformación conforme (Joukowski, Joukowski modificada, Carafoli, Kàrmán – Trefftz), para generar perfiles por vía analítica. Los resultados se han obtenido con la dirección y tutoría del Prof. Stefan Zarea. También la metodología asignada para este trabajo especial ha sido básicamente desarrollada por los profesores: Stefan Zarea y César Ferrer (2000) en trabajos presentados en la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (ASOVAC) y Las Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería (JIFI, 2000, 2002).

CAPÍTULO 3: TRAZADO DE PERFILES.

3.1 Método Paramétrico Modificado:

En el presente capítulo se realizará un resumen de los pasos necesarios para generar los perfiles aerodinámicos. El trazado de éstos se realiza comúnmente presentando los pares de coordenadas X e Y para un número suficiente de puntos, tales que permitan trazar con precisión la curva tanto del extradós como del intradós. Estos datos se organizan y presentan por lo general en catálogos especializados elaborados por laboratorios de investigación aerodinámica [Riegels, 1961]; en dichos catálogos se realiza un compendio de los métodos que se siguieron para generar y trazar los perfiles por cualquiera de los que existen para ello (Transformación Conforme, Inversión Compleja, etc.), una vez obtenido el perfil o la serie de perfiles (denotados con un código que identifica propiedades aerodinámicas o geométricas del perfil y el lugar donde fue estudiado), se realiza la transcripción de las coordenadas de los puntos en tablas que permiten a los diseñadores trazar o fabricar el perfil según sea el caso.

Para este trabajo especial se realizó la generación y trazado de 200 nuevos perfiles de las series SZ, conocidos así por las iniciales de quien ideó el método para crearlos, el Prof. Stefan Zarea. Este método, denominado *Método Paramétrico Modificado* [Zarea, 1970, 2002], y que de ahora en adelante llamaremos MPM, consiste en tomar el extradós de un perfil conocido y preferiblemente probado (computacional o experimentalmente) y combinarlo con el intradós de otro perfil de una misma serie o familia de perfiles o bien, con otra clase de perfiles distintos. Esto nos permitió trazar dos nuevas series de perfiles: SZ – 2000 y SZ – 2100 que están compuestas por los 200 perfiles mencionados arriba.

Los nuevos perfiles obtenidos por este método poseen características (tanto geométricas como aerodinámicas), distintas a las de los perfiles que se usaron como base para aplicar el método, lo cual implicó realizar un análisis completo de cada perfil mediante la caracterización geométrica y aerodinámica de cada uno de ellos aplicando una metodología de trabajo y aprovechando al máximo las potencialidades de las herramientas computacionales e informáticas utilizadas. En la figura 3.1.1 se presenta un esquema de aplicación del método para el caso del perfil SZ – 2000.

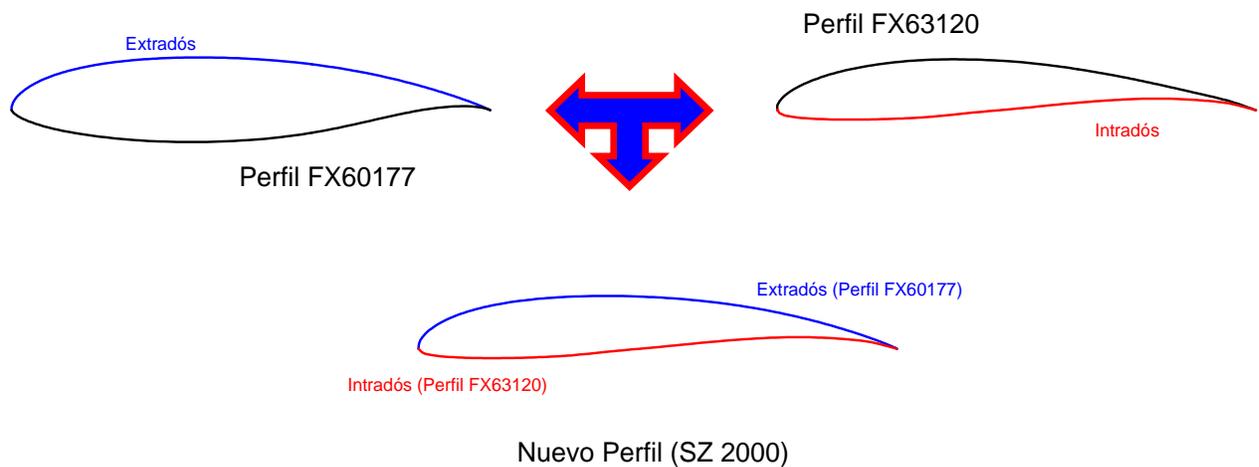


Figura 3.1 Esquema de la generación del perfil SZ 2000 por el Método Paramétrico Modificado.

3.2 Perfiles Base:

A sugerencia del Prof. tutor Stefan Zarea, los perfiles que se utilizaron para trazar estas dos nuevas series son los de la clase o familia FX que serán denominados, en este trabajo, como Perfiles Base. De éstos se utilizaron los 65 perfiles contenidos en la librería de datos que posee el software utilizado para el cálculo y caracterización aerodinámica de todos y cada uno de los nuevos perfiles: Visual Foil 4.1®. Asimismo, con esta herramienta se analizaron los perfiles FX, obteniendo todas las gráficas de las relaciones aerodinámicas más notables y realizando un resumen de éstas en una tabla de propiedades que se presenta en el capítulo 5.

Para aplicar el MPM fue necesario realizar un programa que agilizara la generación de estos nuevos perfiles y así poder completar las series. El software utilizado para este propósito fue Mathcad 11®, en el cual se escribe la codificación sobre una hoja activa de cálculo. Este software también nos permite importar los datos que se encuentran en la librería de Visual Foil indicada anteriormente, así como exportar el resultado hacia un directorio especificado por el usuario, lo cual nos permitió trabajar de manera organizada asignándole un código a cada perfil generado según la serie que se estaba configurando. La codificación de la rutina programada para aplicar el MPM se encuentra en el anexo A – 1. Para usar este programa se debe crear primero un archivo llamado USADOS.dat (que almacenará todas las combinaciones realizadas) en el cual se debe escribir una línea de texto cualquiera; de igual forma, antes de comenzar a ejecutar el

programa se debe escoger en Mathcad, en el menú de la barra de herramientas la sección 'Math' luego, la opción de 'Automatic Calculation' y desactivarla, esto evitará que se genere un nuevo perfil al realizar cualquier cambio en la rutina del programa. A continuación se deben realizar los siguientes pasos:

- Se escribe en el primer campo que aparece a la izquierda, donde dice Nuevo_Perfil (y después del símbolo de asignación de Mathcad :=), el nombre del perfil que se va a generar.
- En el campo que se encuentra al lado del anterior que dice Ext:= se escribe el nombre del perfil base que se va a utilizar para el Extradós (los nombres de los perfiles base utilizados son los que estos poseen en la librería de Visual Foil).
- Se escribe asimismo el nombre del perfil base que se va a utilizar para el Intradós en el campo siguiente (Int:=).
- Una vez que se especificaron los nombres de los perfiles que se utilizaran como base, al final de la línea siguiente se coloca el puntero sobre el símbolo que representa un pequeño disquete y se pulsa el botón derecho del ratón. De inmediato aparecerá un diálogo en donde debe elegirse la opción 'Choose File...' y aparecerá una ventana donde debe especificarse la ubicación del archivo USADOS.dat que se creó anteriormente.
- En la última línea de esta primera hoja aparece otro pequeño disquete. Colocando el puntero sobre este símbolo se pulsa el botón derecho del ratón y de entre las opciones que aparecen se escoge nuevamente 'Choose File...' y se especifica la misma ubicación que tiene el archivo USADOS.dat al que se hizo referencia en el paso anterior, esto permitirá almacenar todas las combinaciones ejecutadas con el programa.
- Una vez hecho esto, al comienzo de la primera línea de la hoja siguiente, aparece otro pequeño disquete en donde debe realizarse la misma operación descrita anteriormente y esta vez especificar la ubicación (en la librería de Visual Foil) del perfil base para el extradós que se ha escrito en la página anterior.

- En la misma línea, a la derecha, se realiza la misma operación para indicar la ubicación del archivo con el nombre del perfil que se utilizará como base para el Intradós.
- Más abajo a la derecha, en el primer símbolo con forma de disquete que aparece se coloca el puntero y se elige nuevamente la opción ‘Choose File...’ para escoger, en la ventana que aparece inmediatamente, la ubicación del archivo y darle el mismo nombre utilizado anteriormente para denominar el perfil. Es bueno aclarar que el archivo creado con las coordenadas del nuevo perfil debe abrirse antes de evaluarlo en Visual Foil, y borrar los ceros que aparecen al final de la primera, segunda y última línea del archivo, así como también al final de la línea que se encuentra después de las coordenadas del extradós (las primeras dos columnas de pares de coordenadas).
- En las últimas dos líneas de códigos aparecen nuevamente dos pequeños disquetes en donde nuevamente deben especificarse la dirección de esos archivos que se van a generar. El penúltimo es un archivo que contendrá uno de los dos siguientes mensajes: 1)“En principio el perfil X funciona correctamente, aún así verifique su funcionamiento en Visual Foil 4.1” o, 2)“En el perfil X, se cruzan el Intradós y el Extradós”, estando en el lugar de ‘X’ el nombre del perfil que se ha especificado anteriormente. Esto quiere decir que se creará un archivo en donde se indica (si el intradós y el extradós de los perfiles base tienen el mismo número de coordenadas) si el intradós se cruza con el extradós, **en cualquier otro caso** se recomienda verificar su funcionamiento en Visual Foil 4.1.
- El último símbolo representa un archivo que se creará en formato de Excel ®, donde también se almacenarán las coordenadas de los perfiles. Después de especificar la dirección de este archivo, se guardarán las coordenadas en una de las siguientes disposiciones: a) si el intradós y el extradós poseen el mismo número de coordenadas estas se almacenarán en cuatro columnas, las dos primeras contentivas de las coordenadas X e Y del Extradós y las dos últimas con las coordenadas del Intradós; b) si no tienen el mismo número de coordenadas, se guardarán en dos columnas primero las

coordenadas del Extradós e inmediatamente debajo los valores de las coordenadas del intradós del nuevo perfil.

- Una vez que se realizan todos los pasos anteriores se ubica el puntero del ratón sobre la palabra 'Math' en la barra de herramientas y entre las opciones que aparecen se escoge 'Calculate Worksheet' acción esta última que activará la hoja, permitiendo que esta realice todos los procedimientos necesarios para aplicar el método y guardar los archivos con las coordenadas del nuevo perfil. Cuando el programa termina de ejecutarse se debe observar el mensaje que aparece en el último campo de la primera hoja que dice 'Resultado:='. Lo que se indica después de esta palabra es si la combinación escrita arriba ha sido utilizada ya que en esta primera hoja se revisan todas las combinaciones que se hayan ejecutado anteriormente y que el programa ha almacenado en el archivo USADOS.dat. De haberse utilizado anteriormente una misma combinación el programa **lo indica sólo mediante este mensaje**, de manera tal que deben borrarse manualmente todos los archivos asociados al perfil repetido.

Se recomienda que los archivos que se exportarán en los tres últimos pasos indicados en este pequeño instructivo se almacenen en una misma carpeta de datos es decir, que se guarden en el mismo directorio y colocarle a éste el nombre del perfil que se está creando.

Al aplicar el MPM los perfiles que se obtienen se pueden clasificar en alguno de los siguientes casos:

- Perfiles con propiedades aerodinámicas acordes con lo esperado: eso quiere decir que se cuenta con un rango amplio de valores del ángulo de ataque (α), que es la variable independiente para la cual el programa ha evaluado todos los demás parámetros (C_L , C_D , C_m , c. p., etc.).
- Perfiles que poseen propiedades aerodinámicas modestas: estos presentan valores inferiores de los coeficientes aerodinámicos para los distintos regímenes de flujo estudiados.

- Perfiles que poseen una geometría particular: es el caso de perfiles que, por la forma del extradós, el intradós o ambos; el programa evalúa para pocos valores del ángulo de ataque impidiendo la determinación de su comportamiento y el trazado e interpretación de las curvas. También se incluyen aquí aquellos perfiles para los cuales el programa no evalúa o arroja valores incoherentes para ciertos parámetros indispensables para configurar la tabla de propiedades aerodinámicas o, simplemente no evalúa ninguno de los parámetros en algunos regímenes de flujo.
- Perfiles utilizados como base son incompatibles: es decir, que el extradós utilizado para trazar el nuevo perfil se cruza con el intradós del otro perfil base antes de llegar al borde de fuga, lo cual impide obtener valores coherentes e impide también la construcción del perfil para su aplicación práctica.

En este estudio los perfiles que se presentaron en la primera y segunda de estas circunstancias fueron analizados y se determinaron todos los parámetros, para éstos se adoptó la nomenclatura SZ – 2000 y SZ – 2100, lo que significa que un perfil, p. e. el SZ – 2000, se encuentra de primero en la serie SZ – 2000 y consecutivamente con todos los demás que se trazaron más tarde. Los perfiles que se colocaron en la segunda clasificación se encuentran en su totalidad en la serie de perfiles SZ – 2000 sin que esto quiera decir que todos los perfiles de esta serie tengan esas características. En cambio, los perfiles que se trazaron y se clasificaron en el tercer caso fueron reclasificados y denominados como perfiles apartados, y se presentan en la tabla antes mencionada con la nomenclatura A00 en donde la A lo identifica como perfil apartado y el dígito que sigue quiere decir el orden en que fue obtenido. Finalmente la denominación E simboliza aquellos perfiles que, confirmándose su inutilidad por presentarse el último de los casos mencionados, fueron excluidos del estudio. Al final de este subcapítulo se presentan en la tabla 3.1.1 todas las combinaciones probadas y el resultado que arrojaron una vez trazado el perfil.

El hecho de haber trazado dos series completas de 100 perfiles cada una se debe a que, durante el estudio, los perfiles cuyo extradós fue utilizado como base para trazar la nueva serie SZ – 2000 mostraron generar perfiles cuyas características aerodinámicas eran modestas, es decir, presentan un comportamiento análogo al descrito en la segunda de las posibilidades mencionadas, sin embargo, estos perfiles se incluyeron en el análisis porque

el software Visual Foil 4.1® evaluaba satisfactoriamente todos los parámetros aerodinámicos en un rango de valores aceptable para poder caracterizarlos. En este punto se escogieron perfiles cuyo extradós fuese más curvo es decir, se escogieron perfiles base con mayor espesor y curvatura máximas para de esta forma evitar lo que ocurría en el último de los casos mencionados anteriormente. Una vez que se obtuvo la primera serie y tomando esta última precaución (aún sin trazar las curvas características de la serie SZ – 2000) se generaron 100 perfiles más en previsión de que ocurriese una alta incidencia de perfiles que debieran eliminarse. Estos últimos resultaron poseer, en su totalidad, características mucho mejores en comparación con los perfiles modestos que se encuentran en la serie SZ – 2000 y por ello fueron identificados con la nomenclatura SZ – 2100, indicando así que se obtuvieron con posterioridad a los perfiles de la otra serie.

Tabla 3.1.1. Combinaciones de los Perfiles Base utilizados.

Extradós	Intradós	Resultado	Extradós	Intradós	Resultado
FXS21158	FX61168	E	FX60177	FX63145	SZ2103
FXS02196	FX60177	E	FX60177	FX63147	E
FX61163	FX62K131	E	FX60177	FX63158	SZ2105
FX61184	FX61140	SZ2039	FX60177	FX6617A2	SZ2106
FX61168	FX63143	SZ2040	FX60177	FX6617AI	SZ2107
FX60157	FX66S161	SZ2041	FX60177	FX66182	SZ2108
FX62K131	FX63147	E	FX60177	FX66196V	SZ2109
FXS21158	FX61163	E	FX60177	FX66A175	SZ2110
FX63158	FXS21158	SZ2044	FX60177	FX66S161	SZ2111
FX61163	FX63158	SZ2045	FX60177	FX66S171	SZ2112
FX63147	FX60157	E	FX60177	FX66S196	SZ2113
FX66S161	FX60100	SZ2047	FX60177	FX67K150	SZ2114
FX61140	FX61184	SZ2049	FX60177	FX67K170	SZ2115
FX63143	FXS02196	SZ2069	FX60177	FX69H083	SZ2116
FX63145	FX61147	SZ2064	FX60177	FX69H098	SZ2117
FX63145	FX38153	SZ2066	FX60177	FX71089A	SZ2118
FX63145	FX72150A	SZ2053	FX60177	FX71120	SZ2119
FX63145	FX60126	SZ2059	FX60177	FX711520	SZ2120
FX63145	FX63158	SZ2060	FX60177	FX711525	SZ2104
FXS02196	FXLV152	SZ2068	FX60177	FX71L150	E
FX63143	FX66196V	SZ2054	FX60177	FX72150A	SZ2122
FX63143	FX61140	E	FX60177	FX72150B	SZ2123
FX6617A2	FXS02196	E	FX60177	FX74CL51	E
FX63145	FX66A175	SZ2052	FX60177	FX74MODS	SZ2125
FX63145	FX6617A2	SZ2055	FX60177	FX77W153	SZ2126
FXLV152	FXS02196	E	FX60177	FX77W258	SZ2127

Tabla 3.1.1. Combinaciones de los Perfiles Base utilizados (Continuación).

FXLV152	FX66196V	A13	FX60177	FX77W343	A14
FX63145	FXS21158	SZ2065	FX60177	FX79K144	SZ2129
FXS21158	FX38153	SZ2062	FX60177	FXL142K	SZ2130
FXS21158	FXLV152	SZ2063	FX60177	FXLV152	SZ2131
FXS02196	FX61147	E	FX60177	FXM2	SZ2132
FX63143	FX72150B	E	FX60177	FXS02196	SZ2133
FXS21158	FX61147	E	FX60177	FXS03182	SZ2134
FX63143	FX72150A	E	FX60177	FXS21158	SZ2135
FXLV152	FX61168	E	FX38153	FX049915	SZ2124
FXLV152	FX60126	E	FX38153	FX05188	SZ2136
FXS02196	FX61168	E	FX38153	FX05191	SZ2137
FX38153	FXS21158	E	FX38153	FX057816	SZ2138
FX60100	FX61163	E	FX38153	FX05H126	SZ2139
FX63143	FX61168	E	FX38153	FX082512	SZ2140
FX63145	FX77W153	A9	FX38153	FX08S176	SZ2141
FX082512	FX049915	A4	FX38153	FX2	E
FX082512	FX05188	SZ2001	FX38153	FX3	E
FX082512	FX05191	SZ2002	FX38153	FX60100	SZ2144
FX082512	FX057816	SZ2003	FX38153	FX601001	SZ2145
FX082512	FX05H126	SZ2004	FX38153	FX60100S	SZ2146
FX082512	FX08S176	SZ2005	FX38153	FX60126	SZ2147
FX082512	FX2	SZ2006	FX38153	FX601261	SZ2148
FX082512	FX3	A10	FX38153	FX60157	E
FX082512	FX38153	SZ2008	FX38153	FX60160	SZ2150
FX082512	FX60100	SZ2009	FX38153	FX60177	E
FX082512	FX601001	SZ2010	FX38153	FX61140	SZ2152
FX082512	FX60100S	SZ2011	FX38153	FX61147	SZ2153
FX082512	FX60126	SZ2012	FX38153	FX61163	E
FX082512	FX601261	SZ2013	FX38153	FX61168	SZ2155
FX082512	FX60157	SZ2014	FX38153	FX61184	SZ2156
FX082512	FX60160	SZ2015	FX38153	FX62K131	E
FX082512	FX60177	A5	FX38153	FX62K153	E
FX082512	FX61140	SZ2016	FX38153	FX63100	SZ2159
FX082512	FX61147	SZ2017	FX38153	FX63110	SZ2160
FX082512	FX61163	SZ2018	FX38153	FX63120	SZ2161
FX082512	FX61168	SZ2019	FX38153	FX63137	E
FX082512	FX61184	SZ2020	FX38153	FX63137S	E
FX082512	FX62K131	E	FX38153	FX63143	SZ2164
FX082512	FX62K153	SZ2021	FX38153	FX63145	SZ2165
FX082512	FX63100	SZ2022	FX38153	FX63147	E
FX082512	FX63110	SZ2023	FX38153	FX63158	SZ2167
FX082512	FX63120	SZ2024	FX38153	FX6617A2	SZ2168
FX082512	FX63137	SZ2025	FX38153	FX6617AI	SZ2169
FX082512	FX63137S	SZ2026	FX38153	FX66182	A15
FX082512	FX63143	SZ2027	FX38153	FX66196V	A16
FX082512	FX63145	SZ2028	FX38153	FX66A175	SZ2172
FX082512	FX63147	E	FX38153	FX66S161	SZ2173
FX082512	FX63158	SZ2030	FX38153	FX66S171	SZ2174
FX082512	FX6617A2	SZ2031	FX38153	FX67K150	SZ2176
FX082512	FX6617AI	SZ2032	FX38153	FX67K170	SZ2177
FX082512	FX66182	SZ2033	FX38153	FX69H083	SZ2178
FX082512	FX66196V	SZ2034	FX38153	FX69H098	SZ2179
FX082512	FX66A175	SZ2035	FX38153	FX71089A	SZ2180

Tabla 3.1.1. Combinaciones de los Perfiles Base utilizados (Continuación).

FX082512	FX66S161	SZ2036	FX38153	FX71120	SZ2181
FX082512	FX66S171	SZ2037	FX38153	FX711520	SZ2182
FX082512	FX66S196	SZ2038	FX38153	FX711525	SZ2183
FX082512	FX67K150	SZ2042	FX38153	FX71L150	E
FX082512	FX67K170	SZ2043	FX38153	FX72150A	SZ2185
FX082512	FX69H083	SZ2046	FX38153	FX72150B	E
FX082512	FX69H098	SZ2048	FX38153	FX74CL51	E
FX082512	FX71089A	SZ2050	FX38153	FX74MODS	E
FX082512	FX71120	SZ2056	FX38153	FX77W153	SZ2189
FX082512	FX711520	SZ2057	FX38153	FX77W258	SZ2190
FX082512	FX711525	SZ2058	FX38153	FX77W343	E
FX082512	FX71L150	E	FX38153	FX79K144	SZ2192
FX082512	FX72150A	SZ2067	FX38153	FXL142K	SZ2193
FX082512	FX72150B	SZ2070	FX38153	FXLV152	SZ2194
FX082512	FX74CL51	E	FX38153	FXM2	SZ2195
FX082512	FX74MODS	E	FX38153	FXS02196	SZ2196
FX082512	FX77W153	SZ2071	FX38153	FXS03182	SZ2197
FX082512	FX79K144	SZ2072	FX38153	FXS21158	SZ2121
FX082512	FXL142K	SZ2073	FX05191	FX049915	SZ2142
FX082512	FXLV152	SZ2074	FX05191	FX05188	SZ2143
FX082512	FXM2	A6	FX05191	FX057816	SZ2149
FX082512	FXS02196	SZ2075	FX05191	FX05H126	SZ2151
FX082512	FXS03182	SZ2076	FX05191	FX082512	SZ2154
FX082512	FXS21158	SZ2077	FX05191	FX08S176	SZ2157
FX60177	FX049915	A7	FX05191	FX2	SZ2158
FX60177	FX05188	SZ2078	FX05191	FX3	A12
FX60177	FX05191	SZ2079	FX05191	FX38153	E
FX60177	FX057816	A8	FX05191	FX60100	SZ2166
FX60177	FX05H126	SZ2080	FX05191	FX601001	SZ2175
FX60177	FX082512	SZ2081	FX05191	FX60100S	SZ2184
FX60177	FX08S176	SZ2082	FX05191	FX60126	SZ2186
FX60177	FX2	SZ2083	FX05191	FX601261	SZ2187
FX60177	FX3	A11	FX05191	FX60157	SZ2188
FX60177	FX38153	SZ2085	FX05191	FX60160	SZ2191
FX60177	FX60100	SZ2086	FX05191	FX60177	E
FX60177	FX601001	SZ2087	FX05191	FX61140	SZ2199
FX60177	FX60100S	SZ2088	FX05191	FX61147	SZ2007
FX60177	FX60126	SZ2089	FX05191	FX61163	SZ2084
FX60177	FX601261	SZ2090	FX05191	FX61168	SZ2061
FX60177	FX60157	SZ2091	FX05191	FX61184	SZ2051
FX60177	FX60160	SZ2092	FX05191	FX62K131	E
FX60177	FX61140	SZ2093	FX05191	FX62K153	E
FX60177	FX61147	SZ2094	FX05191	FX63100	SZ2128
FX60177	FX61163	SZ2095	FX05191	FX63110	SZ2162
FX60177	FX61168	SZ2096	FX05191	FX63120	SZ2170
FX60177	FX61184	SZ2097	FX05191	FX63137	E
FX60177	FX62K131	E	FX05191	FX63137S	E
FX60177	FX62K153	SZ2098	FX05191	FX63143	SZ2171
FX60177	FX63100	SZ2099	FX05191	FX63145	SZ2029
FX60177	FX63120	SZ2000	FX05191	FX63147	E
FX60177	FX63137	SZ2100	FX05191	FX63158	SZ2163
FX60177	FX63137S	SZ2101	FX05191	FX6617A2	SZ2198
FX60177	FX63143	SZ2102			

3.3 Coordenadas de los Perfiles SZ – 2000:

Los perfiles de la serie SZ – 2000 se han trazado según lo descrito en el anterior subcapítulo y utilizando las coordenadas de los perfiles base en el orden que se refleja en la tabla 3.1.1.

A fin de uniformizar la presentación y unificar el número de puntos para el trazado de los perfiles, a sugerencia del Prof. S. Zarea se han escogido cincuenta valores para las abscisas, que se conservaron para todos los perfiles, y se han determinado los valores de las ordenadas del extradós y del intradós respectivamente utilizando el programa Visual Foil 4.1®.

Los valores de las coordenadas de los primeros cuatro perfiles de la serie SZ – 2000 se presentan a partir de la tabla 3.3.1 que se extiende toda una página, así resultan 25 páginas para toda la serie; en el caso de la serie SZ – 2100 resultan otras 25 páginas. Con el propósito de facilitar el seguimiento del texto del informe de este trabajo especial, a continuación se presentan solamente dos páginas para ilustrar la manera como están ordenadas las coordenadas de los perfiles de cada una de las series SZ – 2000 y SZ – 2100, las restantes 48 páginas con las coordenadas se incluyeron en los anexos A – 2 y A – 3.

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS.

4.1 Expresiones para el cálculo de los parámetros geométricos:

En este subcapítulo se desarrollan las expresiones para calcular los parámetros geométricos (área, coordenadas del centroide, el espesor máximo, la abscisa del espesor máximo, la flecha máxima del esqueleto y la abscisa correspondiente y los momentos de inercia) de cada perfil. Para obtener los valores de estos parámetros se utilizaron las fórmulas de definición de estas magnitudes. Luego se programó en Mathcad 11® una rutina de cálculo en donde se aplicaron las ecuaciones que se deducen a continuación.

Para analizar de manera genérica el problema planteado primero se consideraron dos curvas cualesquiera en el plano cartesiano: $F(x)$ y $G(x)$, en donde se trazaba un elemento diferencial de forma rectangular con base igual a dx y altura acotada entre las dos curvas consideradas (ver figura 4.1.1).

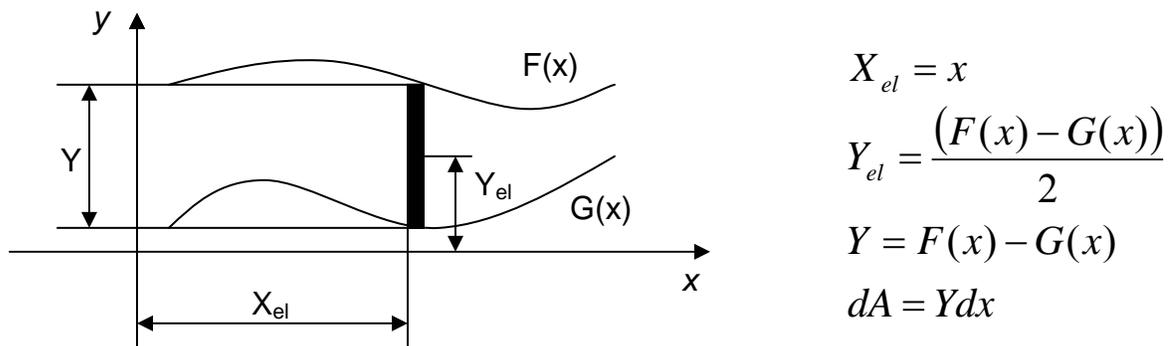


Figura 4.1.1. Descripción del Elemento diferencial utilizado para deducir las expresiones del área y del centroide.

Una vez planteada la forma de los elementos diferenciales se desarrollan las expresiones para el cálculo de las variables geométricas de interés.

El área se calcula integrando las funciones analíticas que acotan la región de interés en los límites adecuados en el eje X,

$$dA = Ydx$$
$$A = \int_b^a (F(x) - G(x)) \cdot dx$$

En el caso de los centroides,

$$X_c \cdot A = X_{el} \cdot dA = x \cdot Y \cdot dx$$

$$X_c = \frac{1}{A} \cdot \int_b^a x \cdot (F(x) - G(x)) \cdot dx$$

$$Y_c \cdot A = Y_{el} \cdot dA = \frac{(F(x) - G(x))}{2} \cdot Y \cdot dx = \frac{(F(x) - G(x))^2}{2} \cdot dx$$

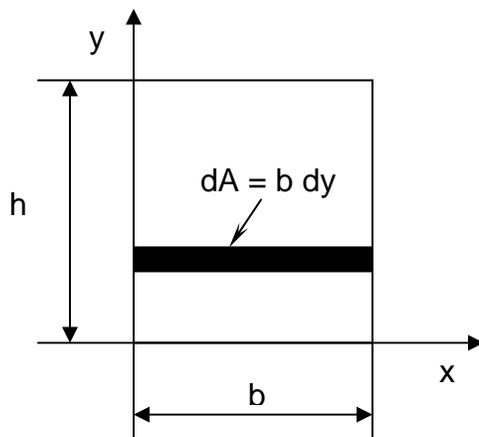
$$Y_c = \frac{1}{A} \cdot \int_b^a (F(x) - G(x))^2 \cdot dx$$

Sustituyendo las expresiones del área se obtienen las expresiones del centroide:

$$X_c = \frac{\int_b^a x \cdot (F(x) - G(x)) \cdot dx}{A}$$

$$Y_c = \frac{\int_b^a (F(x) - G(x))^2 \cdot dx}{2 \cdot A}$$

En el caso de los momentos de inercia se realiza el análisis correspondiente considerando una figura rectangular (que es la forma que poseen los elementos diferenciales), dividiendo el rectángulo en elementos paralelos al eje x, se obtiene



$$dA = b \cdot dy$$

$$dI_x = b \cdot y^2 \cdot dy$$

$$I_x = \int_b^a b \cdot y^2 \cdot dy = \frac{b \cdot h^3}{3}$$

Figura 4.1.2. Elemento diferencial para el cálculo del momento de inercia de un rectángulo.

La fórmula que se acaba de derivar se puede utilizar para determinar el momento de Inercia dI_x con respecto al eje x de una tira diferencial rectangular que es paralela al eje y , tal como la tira mostrada en la figura 4.1.1 del área genérica. Tomando $b = dx$ y $h = Y$ en la fórmula anterior se escribe,

$$dI_x = \frac{Y^3}{3} \cdot dx$$

Por otra parte, se tiene que

$$dI_y = x^2 \cdot dA = x^2 \cdot Y \cdot dx$$

Por lo tanto se puede utilizar el mismo elemento diferencial para calcular los momentos de inercia I_x e I_y de un área como la que se ha considerado. Siendo así y sustituyendo las expresiones correspondientes a las dimensiones de la altura del elemento diferencial considerado en el intervalo adecuado se tiene,

$$dI_x = \frac{Y^3}{3} \cdot dx = \frac{(F(x) - G(x))^3}{3} \cdot dx$$

$$dI_y = x^2 \cdot dA = x^2 \cdot Y \cdot dx = x^2 \cdot (F(x) - G(x)) \cdot dx$$

Integrando, resultan las expresiones de los momentos de inercia

$$I_x = \int_b^a \frac{(F(x) - G(x))^3}{3} \cdot dx$$

$$I_y = \int_b^a x^2 \cdot (F(x) - G(x)) \cdot dx$$

En el caso del momento polar de inercia se tiene,

$$J_o = I_x + I_y$$

Para el producto de Inercia la expresión genérica es la siguiente:

$$I_{xy} = \int xy \cdot dA$$

Si se aplica esta fórmula al elemento diferencial resulta,

$$I_{xy} = \int xy \cdot dA + \int X_c \cdot x \cdot dA + \int Y_c \cdot y \cdot dA + \int X_c \cdot Y_c \cdot dA$$

Al sustituir las coordenadas correspondientes al elemento diferencial se obtiene,

$$I_{xy} = \int xy \cdot dA + \int X_c \cdot x \cdot dA + \int Y_c \cdot y \cdot dA + \int X_c \cdot Y_c \cdot dA$$

$$I_{xy} = \int xy \cdot dA + \int x^2 \cdot dA + \int \frac{Y \cdot (F(x) - G(x))}{2} \cdot dA + \int \frac{x \cdot (F(x) - G(x))}{2} \cdot dA$$

$$I_{xy} = \int xy \cdot dA + \int x^2 \cdot dA + \int \frac{(F(x) - G(x))^2}{4} \cdot dA + \int \frac{x \cdot (F(x) - G(x))}{2} \cdot dA$$

La primera integral en la última expresión es el producto de inercia $I_{X_c Y_c}$ con respecto a los ejes centroidales, en nuestro caso al ser el elemento diferencial de forma rectangular este término es cero por ser los ejes centroidales también ejes de simetría; la segunda y la tercera integrales se vuelven cero, ya que son los primeros momentos del área con respecto a los ejes centroidales; y la última integral es el área A por las coordenadas del centroide del elemento estudiado. De modo que la ecuación anterior se reduce a

$$I_{xy} = \int \frac{x \cdot (F(x) - G(x))}{2} \cdot (F(x) - G(x)) \cdot dx$$

$$I_{xy} = \int_b^a \frac{x \cdot (F(x) - G(x))^2}{2} \cdot dx$$

Aplicando las expresiones que se han obtenido del análisis anterior para el cálculo del Área, Coordenadas del Centroide (X_c , Y_c), Momento de Inercia respecto a los ejes coordenados (I_x , I_y), Momento polar de Inercia (J_o) y Producto de Inercia (I_{xy}) se programó la rutina de cálculo. Este programa elaborado en Mathcad 11® reproduce todos estos cálculos y también obtiene los valores de: la curvatura máxima ($f_{m\acute{a}x}$), abscisa de la curvatura máxima ($Xf_{m\acute{a}x}$), espesor máximo ($e_{m\acute{a}x}$) y abscisa del espesor máximo ($Xe_{m\acute{a}x}$); para cualquier perfil cuyas coordenadas estén almacenadas en un formato compatible al que requiere Visual Foil 4.1 para analizarlos. Asimismo, debido a que las coordenadas de todos los perfiles están normalizadas para valores adimensionales (el valor de la cuerda es igual a la unidad), los límites de las todas las integrales en las ecuaciones deducidas anteriormente son: $a = 0$ y $b = 1$. Los pasos que se deben seguir para aplicar el programa a un perfil son los siguientes:

- Después de verificar que el extradós y el intradós del perfil no se cruzan y que Visual Foil 4.1® lo evalúa adecuadamente se procede a abrir nuevamente el archivo de coordenadas del perfil con este programa.
- Luego se elige la sección ‘Options’ en la barra de herramientas y, de entre las opciones que se despliegan inmediatamente se escoge ‘No. Points about Airfoil’, entonces aparecerá una ventana donde se puede escoger el número de puntos que sobre el perfil utilizará Visual Foil para realizar todos sus cálculos. Por defecto el programa utiliza siempre 100 puntos pero para efectos sólo del cálculo de la geometría del perfil se escogerá el máximo que se ofrece en esta ventana: 340.
- Es posible que en la pantalla se muestre el perfil sin dibujarlo completamente, esto se debe a que el programa puede tener problemas en sus cálculos internos que le impiden trazar todo el perfil en la rejilla que se muestra. Aún así se coloca el puntero sobre el símbolo que representa un

disquete a la derecha de la pantalla y que debajo indica 'Save Data', esta opción nos permite guardar con el formato de Visual Foil todas las coordenadas del perfil que se está estudiando a través de una ventana que aparece después de pulsar el botón derecho del ratón con el puntero sobre la posición indicada.

- Una vez que se especifica la ubicación del archivo y se guarda con el nombre de su preferencia, se puede cerrar el programa Visual Foil y abrir el programa en Mathcad 11® que contiene la rutina programada. En esta, la primera línea a la derecha tiene un símbolo que representa un disquete y que es semejante a los que se utilizaron en el programa que se realizó para aplicar el MPM en el capítulo 3. Ubicando el puntero del ratón sobre este símbolo se pulsa el botón derecho del mismo y aparecerán varias opciones. Nuevamente se escogerá 'Choose File...' y de inmediato aparecerá una ventana en donde se podrá ubicar el archivo que se creó con Visual Foil y que contiene las coordenadas del perfil estudiado.
- Ahora en la última línea de este programa se encuentran tres símbolos semejantes al disquete que se encuentra al principio de la decodificación del programa. El primero de ellos, creará un archivo donde se encuentran los datos de los siguientes parámetros: Curvatura máxima ($f_{\text{máx}}$), Abscisa del punto de curvatura máxima ($Xf_{\text{máx}}$), Espesor máximo ($e_{\text{máx}}$), Abscisa del punto donde se encuentra el espesor máximo ($Xe_{\text{máx}}$), Área del perfil (Area), Abscisa del Centroides de perfil (Xc), Ordenada del Centroides del perfil (Yc), Inercia del perfil respecto al eje X (I_x), inercia del perfil respecto al eje Y (I_y), Momento Polar de Inercia (J_o) y el Producto de Inercia (I_{xy}). Todos estos valores se encontrarán en la primera fila de ese archivo de Excel® cuyo nombre será: Características Geométricas.xls con la ubicación que especifique el usuario siguiendo un proceso análogo al del paso anterior.
- Los dos símbolos siguientes corresponden a los archivos que se crearán para almacenar los valores de los coeficientes del polinomio que reproducen al Extradós e Intradós respectivamente. El formato de estos archivos también será el de una hoja de Excel® en cuya primera columna se presentarán los valores de los 10 coeficientes del polinomio utilizado en

las primeras 10 filas, en la siguiente (fila 11) se encuentra el error global (en tanto por ciento) que existe entre los valores de las ordenadas del archivo de Visual Foil y las ordenadas que calcula el programa con el polinomio interpolante.

- Una vez que se realizan estos pasos se coloca el puntero del ratón sobre la palabra 'Math' en la barra de herramientas de Mathcad y se pulsa el botón derecho sobre la opción 'Calculate Worksheet' lo cual activa el proceso de cálculo generando y guardando los archivos en las ubicaciones correspondientes. Asimismo en la codificación del programa se observa una gráfica al principio de la segunda hoja en donde se muestran las curvas de las coordenadas que se importan de Visual Foil (en rojo para el extradós y en magenta para el intradós) y las curvas de las funciones polinómicas que reproducen el extradós e intradós (en negro para las ambas curvas), también se muestra (en azul) la línea de curvatura media del perfil trazada con los datos de las funciones polinómicas.

El número de coeficientes escogido fue de 10 para todos los perfiles estudiados ya que éstos permitían obtener aproximaciones polinómicas con un error menor al 10% en promedio (error que es mucho menor según la geometría del perfil estudiado). Estos cálculos se resumieron en tablas comparativas que se mostrarán en el siguiente subcapítulo.

4.2 Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2000:

Con todos los datos almacenados en los archivos que se generaron anteriormente para cada perfil, se realizaron tablas comparativas copiando desde Excel® todos los valores obtenidos con el programa proceso éste que se cumple para cada una de las series y para la familia de Perfiles Base (Perfiles FX). A continuación se presentan las tablas con los valores de los parámetros geométricos para todos los perfiles de la serie SZ-2000 y como información adicional se presenta en la última columna de esta tabla el valor del número de Reynolds mínimo para el cual, con un ángulo de ataque de 0°, Visual Foil 4.1® presenta una de las siguientes tres alarmas: LS: Lo (Laminar Separation: Low, es decir separación de capa laminar en el intradós), LS: Up (Laminar Separation: Up, es decir separación de capa laminar en el extradós) y Airfoil Stalled (desprendimiento del flujo). La presentación de estas alarmas está asociada a las desviaciones que presenta el programa en los cálculos, lo cual provoca que los valores obtenidos estén subestimados, por lo tanto es una referencia de hasta qué punto el programa evalúa un perfil sin este tipo de inconvenientes.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma V Foil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2000	FX60177	FX63120	5.651	0.569	12.433	0.273	0.0791	0.3997	0.0489	0.0003	0.0166	0.0169	0.0014	LS:Lo (735)
SZ2001	FX082512	FX05188	2.144	0.813	14.66	0.423	0.0982	0.4379	0.0593	0.0005	0.0237	0.0242	0.0024	LS:Lo (385)
SZ2002	FX082512	FX05191	1.858	0.843	14.806	0.426	0.1005	0.4442	0.0602	0.0005	0.0249	0.0255	0.0026	LS:Lo (385)
SZ2003	FX082512	FX057816	2.532	0.469	10.886	0.496	0.0792	0.4612	0.0455	0.0002	0.0212	0.0214	0.0016	LS:Lo (366)
SZ2004	FX082512	FX05H126	3.068	0.499	9.8101	0.476	0.0725	0.4711	0.0406	0.0002	0.0203	0.0205	0.0014	LS:Lo (269)
SZ2005	FX082512	FX08S176	2.353	0.477	11.233	0.485	0.0798	0.4655	0.046	0.0002	0.0216	0.0219	0.0017	LS:Lo (341)
SZ2006	FX082512	FX2	1.966	0.814	15.475	0.449	0.1027	0.443	0.062	0.0006	0.0253	0.0259	0.0027	LS:Lo (513)
SZ2007	FX05191	FX61147	4.128	0.552	16.097	0.389	0.103	0.4247	0.0647	0.0006	0.0234	0.024	0.0027	LS:Lo (436)
SZ2008	FX082512	FX38153	1.705	0.856	13.738	0.473	0.0946	0.4576	0.0561	0.0004	0.0247	0.0251	0.0024	LS:Lo (404)
SZ2009	FX082512	FX60100	4.010	0.614	9.5738	0.291	0.0628	0.4238	0.0374	0.0001	0.0147	0.0148	0.0009	LS:Lo (585)
SZ2010	FX082512	FX601001	4.08	0.62	9.7657	0.303	0.063	0.4214	0.0377	0.0001	0.0145	0.0147	0.0009	LS:Lo (634)
SZ2011	FX082512	FX60100S	3.992	0.612	9.5714	0.289	0.0629	0.424	0.0374	0.0001	0.0147	0.0148	0.0009	LS:Lo (579)
SZ2012	FX082512	FX60126	3.658	0.653	10.883	0.288	0.0706	0.4191	0.0424	0.0002	0.0161	0.0163	0.0011	LS:Lo (630)
SZ2013	FX082512	FX601261	3.818	0.637	10.497	0.284	0.0678	0.4176	0.0408	0.0002	0.0154	0.0156	0.0011	LS:Lo (629)
SZ2014	FX082512	FX60157	2.337	0.799	13.315	0.438	0.0896	0.4411	0.0541	0.0004	0.0219	0.0223	0.0021	LS:Lo (421)
SZ2015	FX082512	FX60160	2.667	0.746	12.605	0.393	0.0852	0.4374	0.0507	0.0003	0.0207	0.0211	0.0018	LS:Lo (447)
SZ2016	FX082512	FX61140	2.865	0.773	12.237	0.414	0.0807	0.434	0.0493	0.0003	0.0192	0.0194	0.0017	LS:Lo (453)
SZ2017	FX082512	FX61147	2.961	0.763	11.876	0.41	0.0785	0.4345	0.0478	0.0003	0.0187	0.019	0.0016	LS:Lo (451)
SZ2018	FX082512	FX31163	2.535	0.779	13.369	0.421	0.0881	0.4375	0.0536	0.0004	0.0212	0.0216	0.002	LS:Lo (446)
SZ2019	FX082512	FX61168	2.651	0.775	13.136	0.415	0.0863	0.4354	0.0527	0.0003	0.0206	0.021	0.0019	LS:Lo (442)
SZ2020	FX082512	FX61184	2.607	0.769	14.102	0.399	0.0912	0.4304	0.056	0.0004	0.0214	0.0218	0.0021	LS:Lo (532)
SZ2021	FX082512	FX62K153	3.052	0.766	11.617	0.427	0.0763	0.4332	0.0468	0.0002	0.018	0.0183	0.0015	LS:Lo (478)
SZ2022	FX082512	FX63100	4.298	0.621	8.6211	0.286	0.0564	0.4177	0.034	9E-05	0.0128	0.0129	0.0007	LS:Lo (472)
SZ2023	FX082512	FX63110	4.142	0.641	9.1621	0.285	0.0596	0.4158	0.0361	0.0001	0.0134	0.0135	0.0008	LS:Lo (459)
SZ2024	FX082512	FX63120	4.428	0.638	8.9382	0.28	0.056	0.4052	0.0348	1E-04	0.012	0.0121	0.0007	LS:Lo (778)
SZ2025	FX082512	FX63137	4.558	0.657	9.2094	0.282	0.056	0.3936	0.0357	0.0001	0.0113	0.0114	0.0007	LS:Lo (542)
SZ2026	FX082512	FX63137S	4.530	0.654	9.1972	0.279	0.056	0.3936	0.0357	0.0001	0.0113	0.0114	0.0007	LS:Lo (600)
SZ2027	FX082512	FX63143	2.052	0.541	11.918	0.459	0.0855	0.4619	0.0493	0.0003	0.0229	0.0232	0.0019	LS:Lo (305)
SZ2028	FX082512	FX63145	3.460	0.697	10.76	0.333	0.0705	0.4256	0.0429	0.0002	0.0163	0.0165	0.0012	LS:Lo (489)
SZ2029	FX05191	FX63145	4.955	0.57	14.978	0.356	0.0949	0.4173	0.0598	0.0004	0.0210	0.0214	0.0022	LS:Lo (468)
SZ2030	FX082512	FX63158	3.071	0.771	11.891	0.427	0.0776	0.4318	0.0479	0.0003	0.0182	0.0185	0.0015	LS:Lo (489)
SZ2031	FX082512	FX6617A2	2.533	0.721	12.975	0.397	0.0873	0.4407	0.0517	0.0003	0.0216	0.0219	0.0019	LS:Lo (487)
SZ2032	FX082512	FX6617AI	2.403	0.732	13.358	0.372	0.0906	0.4389	0.0535	0.0004	0.0223	0.0226	0.002	LS:Lo (460)

Tabla 4.2.1. Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2000 al SZ-2032.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFOil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2033	FX082512	FX66182	2.534	0.721	12.974	0.395	0.0872	0.4402	0.0517	0.0003	0.0215	0.0218	0.0019	LS:Lo (496)
SZ2034	FX082512	FX66196V	2.482	0.73	13.528	0.361	0.0894	0.4351	0.0535	0.0004	0.0216	0.0219	0.002	LS:Lo (605)
SZ2035	FX082512	FX66A175	3.080	0.662	12.198	0.331	0.0798	0.4334	0.0474	0.0003	0.0192	0.0195	0.0015	LS:Lo (661)
SZ2036	FX082512	FX66S161	2.945	0.663	11.842	0.323	0.0797	0.4362	0.0469	0.0003	0.0194	0.0197	0.0015	LS:Lo (543)
SZ2037	FX082512	FX66S171	2.816	0.678	12.368	0.323	0.0827	0.4349	0.0488	0.0003	0.0201	0.0204	0.0016	LS:Lo (535)
SZ2038	FX082512	FX66S196	2.352	0.739	13.809	0.397	0.0917	0.438	0.0548	0.0004	0.0223	0.0227	0.0021	LS:Lo (588)
SZ2039	FX61184	FX61140	3.751	0.442	16.407	0.36	0.1029	0.4103	0.0659	0.0006	0.022	0.0226	0.0026	LS:Lo (433)
SZ2040	FX61168	FX63143	3.6531	0.36	15.428	0.346	0.1036	0.432	0.0619	0.0006	0.0247	0.0253	0.0026	LS:Up (382)
SZ2041	FX60157	FX66S161	3.536	0.619	14.881	0.309	0.0986	0.4223	0.059	0.0005	0.0228	0.0233	0.0023	LS:Lo (511)
SZ2042	FX082512	FX67K150	2.7335	0.529	10.548	0.455	0.0747	0.4591	0.0433	0.0002	0.0198	0.02	0.0014	LS:Lo (355)
SZ2043	FX082512	FX67K170	2.3543	0.544	11.33	0.455	0.0803	0.4586	0.0465	0.0002	0.0213	0.0215	0.0017	LS:Lo (342)
SZ2044	FX63158	FXS21158	3.9749	0.525	16.059	0.311	0.0972	0.4041	0.0612	0.0005	0.0206	0.0212	0.0022	LS:Lo (643)
SZ2045	FX61163	FX63158	3.2968	0.354	14.838	0.343	0.0902	0.3997	0.0592	0.0005	0.0183	0.0188	0.002	LS:Lo (461)
SZ2046	FX082512	FX69H083	3.0797	0.477	9.7875	0.487	0.0723	0.4767	0.0405	0.0002	0.0206	0.0208	0.0014	LS:Lo (286)
SZ2047	FX66S161	FX60100	5.1638	0.426	13.909	0.296	0.0795	0.3835	0.0531	0.0003	0.0152	0.0155	0.0015	LS:Lo (516)
SZ2048	FX082512	FX69H098	2.4803	0.515	11.023	0.463	0.0815	0.4693	0.0458	0.0002	0.0226	0.0229	0.0017	LS:Lo (273)
SZ2049	FX61140	FX61184	2.0845	0.754	15.824	0.326	0.0963	0.4026	0.0621	0.0005	0.02	0.0205	0.0022	LS:Lo (504)
SZ2050	FX082512	FX71089A	2.1449	0.614	11.903	0.325	0.0883	0.4524	0.0499	0.0003	0.0232	0.0235	0.0019	LS:Lo (283)
SZ2051	FX05191	FX61184	3.6097	0.671	18.329	0.388	0.1157	0.4225	0.0729	0.0009	0.026	0.0269	0.0034	LS:Lo (515)
SZ2052	FX63145	FX66A175	3.4432	0.512	15.933	0.299	0.0956	0.3968	0.0606	0.0005	0.0197	0.0202	0.0021	LS:Lo (612)
SZ2053	FX63145	FX72150A	5.8475	0.442	11.562	0.259	0.0621	0.3448	0.0444	0.0002	0.0099	0.01	0.0008	LS:Lo (525)
SZ2054	FX63143	FX66196V	2.1428	0.354	16.172	0.318	0.0969	0.3992	0.0624	0.0005	0.0199	0.0204	0.0022	LS:Lo (552)
SZ2055	FX63145	FX6617A2	2.948	0.301	16.512	0.312	0.103	0.4052	0.0644	0.0006	0.022	0.0226	0.0025	LS:Lo (464)
SZ2056	FX082512	FX71120	1.6437	0.679	13.425	0.314	0.0986	0.4478	0.0559	0.0004	0.0254	0.0259	0.0023	LS:Lo (288)
SZ2057	FX082512	FX711520	1.7752	0.772	15.094	0.389	0.1038	0.4417	0.061	0.0006	0.0258	0.0263	0.0027	LS:Lo (451)
SZ2058	FX082512	FX711525	1.641	0.774	15.098	0.395	0.1047	0.4443	0.0613	0.0006	0.0263	0.0269	0.0027	LS:Lo (448)
SZ2059	FX63145	FX60126	4.1932	0.46	14.763	0.271	0.0864	0.3813	0.0563	0.0004	0.0166	0.017	0.0016	LS:Lo (577)
SZ2060	FX63145	FX63158	3.5452	0.299	15.321	0.314	0.0934	0.3947	0.0609	0.0005	0.0187	0.0192	0.0021	LS:Lo (458)
SZ2061	FX05191	FX61168	3.6478	0.651	17.346	0.394	0.1107	0.4262	0.0695	0.0008	0.0253	0.026	0.0032	LS:Lo (428)
SZ2062	FXS21158	FX38153	2.9423	0.285	16.923	0.337	0.1061	0.418	0.067	0.0007	0.0235	0.0241	0.0028	LS:Up (557)
SZ2063	FXS21158	FXLV152	1.8656	0.312	18.976	0.32	0.1169	0.4108	0.0733	0.0009	0.0254	0.0263	0.0032	LS:Up (591)
SZ2064	FX63145	FX61147	3.5044	0.303	15.398	0.311	0.0944	0.3973	0.0607	0.0005	0.0192	0.0197	0.0021	LS:Lo (423)
SZ2065	FX63143	FXS21158	3.5611	0.511	15.688	0.298	0.0931	0.3928	0.0597	0.0005	0.0188	0.0193	0.002	LS:Lo (625)

Tabla 4.2.2. Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2033 al SZ-2065.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma Vfoil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2066	FX082512	FX63137S	2.9142	0.255	16.762	0.339	0.1104	0.4226	0.0676	0.0007	0.0252	0.0259	0.003	LS:Up (421)
SZ2067	FX082512	FX72150A	5.2333	0.626	7.6422	0.271	0.0463	0.39	0.0291	6E-05	0.0094	0.0094	0.0005	LS:Lo (600)
SZ2068	FXS02196	FXLV152	2.9044	0.4	20.943	0.355	0.1333	0.4191	0.0825	0.0013	0.0299	0.0312	0.0043	LS:Up (510)
SZ2069	FX63143	FXS02196	2.0668	0.595	16.451	0.319	0.0975	0.3966	0.0635	0.0006	0.0197	0.0203	0.0023	LS:Lo (571)
SZ2070	FX082512	FX72150B	5.8797	0.613	6.4991	0.258	0.0368	0.3645	0.0245	3E-05	0.0066	0.0067	0.0003	LS:Lo (577)
SZ2071	FX082512	FX77W153	2.5344	0.502	10.879	0.475	0.0818	0.4666	0.0455	0.0002	0.0226	0.0229	0.0017	LS:Up (241)
SZ2072	FX082512	FX79K144	1.8053	0.497	12.331	0.48	0.0886	0.4618	0.051	0.0003	0.0238	0.0241	0.002	LS:Lo (323)
SZ2073	FX082512	FXL142K	1.7219	0.73	14.643	0.351	0.1015	0.4435	0.059	0.0005	0.0255	0.026	0.0025	LS:Lo (456)
SZ2074	FX082512	FXLV152	1.5309	0.767	15.29	0.395	0.1054	0.4456	0.0617	0.0006	0.0266	0.0272	0.0028	LS:Lo (447)
SZ2075	FX082512	FXS02196	2.5299	0.741	13.807	0.36	0.0901	0.4321	0.0544	0.0004	0.0214	0.0218	0.002	LS:Lo (624)
SZ2076	FX082512	FXS03182	2.1728	0.784	14.239	0.431	0.0943	0.4419	0.0568	0.0004	0.0232	0.0236	0.0023	LS:Lo (502)
SZ2077	FX082512	FXS1158	3.2371	0.669	11.943	0.328	0.0773	0.4297	0.0463	0.0002	0.0183	0.0186	0.0014	LS:Lo (677)
SZ2078	FX60177	FX05188	2.807	0.764	17.877	0.36	0.1212	0.4281	0.0731	0.0009	0.0284	0.0293	0.0036	LS:Lo (419)
SZ2079	FX60177	FX05191	2.4332	0.782	18.004	0.369	0.1236	0.4334	0.0739	0.001	0.0296	0.0305	0.0038	LS:Lo (418)
SZ2080	FX60177	FX05H126	4.5683	0.405	12.853	0.366	0.0956	0.4506	0.054	0.0004	0.0249	0.0253	0.0022	LS:Lo (257)
SZ2081	FX60177	FX082512	5.3159	0.598	15.45	0.252	0.0915	0.3888	0.0579	0.0004	0.0184	0.0188	0.0018	LS:Lo (918)
SZ2082	FX60177	FX08S176	3.9491	0.341	14.195	0.444	0.1029	0.4477	0.0595	0.0005	0.0263	0.0268	0.0026	LS:Lo (331)
SZ2083	FX60177	FX2	2.6097	0.776	18.554	0.413	0.1258	0.4326	0.0757	0.001	0.0299	0.031	0.0039	LS:Lo (504)
SZ2084	FX05191	FX61163	3.5142	0.652	17.569	0.399	0.1125	0.4279	0.0704	0.0008	0.0259	0.0267	0.0033	LS:Lo (432)
SZ2085	FX60177	FX38153	2.7077	0.275	16.749	0.427	0.1177	0.4436	0.0696	0.0008	0.0293	0.0301	0.0035	LS:Lo (397)
SZ2086	FX60177	FX60100	5.2686	0.56	13.056	0.281	0.0859	0.4137	0.0515	0.0003	0.0193	0.0196	0.0017	LS:Lo (558)
SZ2087	FX60177	FX601001	5.3191	0.571	13.229	0.291	0.0861	0.4119	0.0518	0.0003	0.0192	0.0195	0.0017	LS:Lo (604)
SZ2088	FX60177	FX60100S	5.2574	0.556	13.057	0.279	0.086	0.4139	0.0516	0.0003	0.0193	0.0196	0.0017	LS:Lo (551)
SZ2089	FX60177	FX60126	4.8392	0.589	14.368	0.279	0.0937	0.411	0.0565	0.0004	0.0208	0.0212	0.002	LS:Lo (605)
SZ2090	FX60177	FX601261	5.0304	0.578	13.987	0.276	0.0909	0.4096	0.0549	0.0004	0.02	0.0204	0.0019	LS:Lo (603)
SZ2091	FX60177	FX60157	3.0493	0.746	16.484	0.368	0.1127	0.4299	0.0678	0.0007	0.0265	0.0273	0.0031	LS:Lo (412)
SZ2092	FX60177	FX60160	3.5651	0.685	15.941	0.328	0.1083	0.4265	0.0646	0.0006	0.0254	0.026	0.0028	LS:Lo (434)
SZ2093	FX60177	FX61140	3.6682	0.715	15.486	0.352	0.1038	0.4234	0.0632	0.0006	0.0238	0.0244	0.0026	LS:Lo (442)
SZ2094	FX60177	FX61147	3.7989	0.702	15.143	0.347	0.1016	0.4235	0.0617	0.0006	0.0233	0.0239	0.0025	LS:Lo (440)
SZ2095	FX60177	FX61163	3.3131	0.728	16.573	0.369	0.1112	0.4269	0.0674	0.0007	0.0258	0.0266	0.003	LS:Lo (437)
SZ2096	FX60177	FX61168	3.4395	0.725	16.366	0.36	0.1094	0.4251	0.0665	0.0007	0.0252	0.0259	0.0029	LS:Lo (433)
SZ2097	FX60177	FX61184	3.4176	0.721	17.36	0.359	0.1143	0.4215	0.0699	0.0008	0.026	0.0268	0.0032	LS:Lo (521)
SZ2098	FX60177	FX62K153	3.8806	0.706	14.823	0.36	0.0994	0.4223	0.0606	0.0005	0.0227	0.0232	0.0024	LS:Lo (466)
SZ2099	FX60177	FX63100	5.5593	0.55	12.11	0.276	0.0795	0.4086	0.0482	0.0003	0.0174	0.0176	0.0014	LS:Lo (449)

Tabla 4.2.3. Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2066 al SZ-2099.

4.3 Coeficientes y Errores Globales de los polinomios interpolantes para los perfiles SZ – 2000.

A continuación se muestran las dos primeras tablas contentivas de los coeficientes de los primeros seis perfiles de la serie SZ – 2000, el resto de estas tablas (que se extenderían por 16 páginas más) se muestran en el Anexo A – X. Para mayor comodidad se ha preferido presentar sólo las dos primeras tablas y así apreciar la manera como está organizada esta data en el anexo especificado anteriormente.

Tabla 4.3.1. Coeficientes (A_n) y error global (ϵ_g) de los polinomios de los perfiles SZ2000, SZ2001 y SZ2002.

	SZ2000		SZ2001		SZ2002	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0.006117807	-5.93755E-05	0.000324355	-0.000166627	0.000324355	0.000324355
A_1	1.868050548	-0.775515501	1.226510989	-1.294109978	1.226510989	1.226510989
A_2	-24.4862555	13.31090589	-18.36546111	18.65291827	-18.36546111	-18.36546111
A_3	205.6239213	-120.5206336	173.1125889	-161.6194696	173.1125889	173.1125889
A_4	-1042.089041	627.8358867	-942.131401	813.7264663	-942.131401	-942.131401
A_5	3279.640621	-1987.293522	3114.212049	-2511.370821	3114.212049	3114.212049
A_6	-6569.197151	3961.574644	-6476.579031	4918.855057	-6476.579031	-6476.579031
A_7	8379.073193	-5001.786356	8520.762337	-6139.439067	8520.762337	8520.762337
A_8	-6587.341982	3879.919295	-6881.160482	4732.816459	-6881.160482	-6881.160482
A_9	2908.800042	-1686.897518	3112.866974	-2054.355588	3112.866974	3112.866974
A_{10}	-551.8977868	314.6327584	-603.9447968	384.0291033	-603.9447968	-603.9447968
$\epsilon_g(\%)$	2.077016581	4.017570894	3.184785996	0.231697914	3.184785996	3.184785996

Tabla 4.3.2. Coeficientes (A_n) y error global (ϵ_g) de los polinomios de los perfiles SZ2003, SZ2004 y SZ2005.

	SZ2003		SZ2004		SZ2005	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0.000324355	-1.25625E-05	0.000324355	-0.000123711	0.000324355	-9.08761E-05
A_1	1.226510989	-0.973329468	1.226510989	-0.793951089	1.226510989	-0.813883948
A_2	-18.36546111	17.11343882	-18.36546111	14.47970358	-18.36546111	13.96693338
A_3	173.1125889	-158.6936875	173.1125889	-133.6148436	173.1125889	-130.7790239
A_4	-942.131401	832.5010652	-942.131401	702.0579088	-942.131401	703.152918
A_5	3114.212049	-2645.145872	3114.212049	-2256.362304	3114.212049	-2312.429288
A_6	-6476.579031	5289.548891	-6476.579031	4591.184488	-6476.579031	4805.319035
A_7	8520.762337	-6706.145991	8520.762337	-5934.334179	8520.762337	-6327.630953
A_8	-6881.160482	5235.675689	-6881.160482	4719.94036	-6881.160482	5114.318276
A_9	3112.866974	-2297.67423	3112.866974	-2105.753435	3112.866974	-2312.686769
A_{10}	-603.9447968	433.7944826	-603.9447968	403.1964588	-603.9447968	447.5834069
$\epsilon_g(\%)$	3.184785996	7.703274312	3.184785996	0.927685489	3.184785996	0.314462958

4.4 Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2100:

El cálculo de los parámetros geométricos de esta serie de perfiles se realizó con la misma rutina programada de Mathcad 11®, de manera tal que todos los parámetros que se obtienen de éstos cálculos se guardan y muestran en forma análoga a la descrita en los subcapítulos anteriores, sólo que esta vez se calcularon todos los parámetros geométricos de los perfiles de la serie SZ – 2100. A continuación se muestran las tablas que resumen todos los valores de los parámetros geométricos para la serie de perfiles SZ – 2100.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFOil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2100	FX60177	FX63137	5.722	0.596	12.703	0.274	0.0791	0.3915	0.0499	0.0003	0.0159	0.0162	0.0014	LS: Lo (587)
SZ2101	FX60177	FX63137S	5.709	0.588	12.694	0.272	0.079	0.3914	0.0499	0.0003	0.0159	0.0162	0.0014	LS: Lo (573)
SZ2102	FX60177	FX63143	3.489	0.437	15.035	0.366	0.1086	0.4458	0.0628	0.0006	0.0275	0.0281	0.0029	LS: Lo (298)
SZ2103	FX60177	FX63145	4.543	0.613	14.181	0.308	0.0935	0.4159	0.0569	0.0004	0.0209	0.0214	0.0021	LS: Lo (473)
SZ2104	FX60177	FX711525	2.452	0.714	18.419	0.334	0.1278	0.4338	0.0751	0.001	0.0309	0.0319	0.0039	LS: Lo (439)
SZ2105	FX60177	FX63158	3.871	0.722	15.093	0.361	0.1006	0.4214	0.0617	0.0005	0.0228	0.0234	0.0025	LS: Lo (467)
SZ2106	FX60177	FX6617A2	3.519	0.658	16.256	0.347	0.1104	0.4293	0.0655	0.0007	0.0262	0.0269	0.0029	LS: Lo (474)
SZ2107	FX60177	FX6617AI	3.353	0.667	16.71	0.328	0.1136	0.4282	0.0674	0.0007	0.0269	0.0276	0.0031	LS: Lo (451)
SZ2108	FX60177	FX66182	3.519	0.66	16.259	0.347	0.1103	0.4289	0.0655	0.0007	0.0261	0.0268	0.0029	LS: Lo (484)
SZ2109	FX60177	FX66196V	3.459	0.655	16.879	0.335	0.1125	0.4251	0.0674	0.0007	0.0262	0.0269	0.003	LS: Lo (590)
SZ2110	FX60177	FX66A175	4.228	0.606	15.611	0.315	0.1029	0.4228	0.0613	0.0006	0.0239	0.0244	0.0025	LS: Lo (639)
SZ2111	FX60177	FX66S161	4.112	0.591	15.273	0.306	0.1027	0.4249	0.0608	0.0005	0.0241	0.0246	0.0025	LS: Lo (525)
SZ2112	FX60177	FX66S171	3.945	0.604	15.799	0.307	0.1058	0.4243	0.0628	0.0006	0.0247	0.0253	0.0026	LS: Lo (519)
SZ2113	FX60177	FX66S196	3.281	0.677	17.073	0.357	0.1148	0.4276	0.0687	0.0008	0.027	0.0277	0.0032	LS: Lo (574)
SZ2114	FX60177	FX67K150	4.173	0.447	13.689	0.362	0.0978	0.4419	0.0569	0.0004	0.0244	0.0249	0.0023	LS: Lo (343)
SZ2115	FX60177	FX67K170	3.781	0.446	14.457	0.369	0.1034	0.4424	0.0601	0.0005	0.0259	0.0264	0.0026	LS: Lo (332)
SZ2116	FX60177	FX69H083	4.619	0.38	12.763	0.427	0.0954	0.4548	0.0538	0.0004	0.0252	0.0256	0.0022	LS: Lo (291)
SZ2117	FX60177	FX69H098	3.941	0.437	14.177	0.339	0.1046	0.451	0.0593	0.0005	0.0273	0.0278	0.0027	LS: Lo (265)
SZ2118	FX60177	FX71089A	3.501	0.47	15.343	0.3	0.1114	0.4387	0.0637	0.0006	0.0278	0.0284	0.0029	LS: Lo (274)
SZ2119	FX60177	FX71120	2.843	0.527	16.875	0.297	0.1217	0.4361	0.0698	0.0008	0.0301	0.0309	0.0035	LS: Lo (300)
SZ2120	FX60177	FX711520	2.588	0.715	18.42	0.334	0.1269	0.4316	0.0748	0.001	0.0304	0.0314	0.0039	LS: Lo (441)
SZ2121	FX38153	FXS21158	3.985	0.65	13.896	0.324	0.0912	0.4253	0.0546	0.0004	0.0213	0.0217	0.002	LS:Lo (649)
SZ2122	FX60177	FX72150A	6.452	0.581	11.147	0.265	0.0694	0.3887	0.0433	0.0002	0.014	0.0142	0.001	LS: Lo (557)
SZ2123	FX60177	FX72150B	7.124	0.571	10.016	0.253	0.0599	0.3729	0.0386	0.0001	0.0112	0.0114	0.0008	LS: Lo (530)
SZ2124	FX38153	FX049915	4.126	0.446	11.172	0.45	0.0838	0.4585	0.0472	0.0003	0.0224	0.0227	0.0018	LS: Lo (3103)
SZ2125	FX60177	FX74MODS	7.605	0.509	8.4705	0.239	0.0507	0.3672	0.033	8E-05	0.0092	0.0093	0.0005	LS: Lo (7005)
SZ2126	FX60177	FX77W153	4.026	0.423	14.054	0.312	0.1049	0.4489	0.0591	0.0005	0.0272	0.0278	0.0026	LS: Up (250)
SZ2127	FX60177	FX77W258	2.126	0.756	19.846	0.414	0.1378	0.4333	0.0813	0.0013	0.0332	0.0345	0.0046	LS: Lo (413)
SZ2128	FX05191	FX63100	6.038	0.521	12.716	0.326	0.0808	0.4104	0.0509	0.0003	0.0174	0.0177	0.0016	LS:Lo (445)
SZ2129	FX60177	FX79K144	3.346	0.366	15.323	0.429	0.1117	0.4462	0.0645	0.0007	0.0284	0.029	0.0031	LS: Lo (315)
SZ2130	FX60177	FXL142K	2.712	0.647	18.024	0.323	0.1245	0.4329	0.0729	0.0009	0.0301	0.0311	0.0037	LS: Lo (446)
SZ2131	FX60177	FXLV152	2.398	0.687	18.577	0.347	0.1285	0.4349	0.0755	0.001	0.0312	0.0323	0.004	LS: Lo (438)
SZ2132	FX60177	FXM2	6.128	0.431	10.07	0.282	0.0725	0.4323	0.0416	0.0002	0.0177	0.0178	0.0012	LS: Lo (6675)

Tabla 4.4.1. Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2100 al SZ-2132.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFOil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2133	FX60177	FXS02196	3.462	0.673	17.16	0.335	0.1132	0.4227	0.0684	0.0008	0.026	0.0268	0.0031	LS: Lo (609)
SZ2134	FX60177	FXS03182	2.947	0.725	17.385	0.393	0.1173	0.4309	0.0706	0.0008	0.0278	0.0286	0.0034	LS: Lo (492)
SZ2135	FX60177	FXS21158	4.365	0.613	15.361	0.313	0.1004	0.4197	0.0603	0.0005	0.0229	0.0235	0.0023	LS: Lo (654)
SZ2136	FX38153	FX05188	2.668	0.7781	16.516	0.391	0.1121	0.4333	0.0676	0.0007	0.0267	0.0274	0.0031	LS: Lo (375)
SZ2137	FX38153	FX05191	2.314	0.799	16.656	0.396	0.1144	0.4389	0.0684	0.0008	0.0279	0.0286	0.0033	LS: Lo (375)
SZ2138	FX38153	FX057816	3.417	0.437	12.6	0.468	0.0931	0.4521	0.0537	0.0004	0.0242	0.0245	0.0022	LS: Lo (3920)
SZ2139	FX38153	FX05H126	3.930	0.452	11.563	0.445	0.0865	0.4597	0.0487	0.0003	0.0233	0.0236	0.0019	LS: Lo (262)
SZ2140	FX38153	FX082512	4.9123	0.643	13.901	0.253	0.0824	0.3915	0.052	0.0003	0.0167	0.017	0.0015	LS: Lo (903)
SZ2141	FX38153	FX08S176	3.259	0.39	12.96	0.466	0.0937	0.4559	0.0542	0.0004	0.0246	0.025	0.0023	LS: Lo (332)
SZ2142	FX05191	FX049915	5.2926	0.425	13.505	0.423	0.0943	0.4502	0.0551	0.0004	0.0241	0.0245	0.0023	LS:Lo (5044)
SZ2143	FX05191	FX05188	2.8883	0.688	18.862	0.397	0.1226	0.429	0.0761	0.001	0.0284	0.0294	0.0039	LS:Lo (375)
SZ2144	FX38153	FX60100	4.7911	0.6	11.541	0.29	0.0768	0.4196	0.0458	0.0002	0.0176	0.0178	0.0014	LS: Lo (553)
SZ2145	FX38153	FX601001	4.8575	0.607	11.731	0.302	0.0769	0.4176	0.0461	0.0002	0.0175	0.0177	0.0014	LS: Lo (599)
SZ2146	FX38153	FX60100S	4.7743	0.597	11.539	0.288	0.0769	0.4197	0.0458	0.0002	0.0176	0.0179	0.0014	LS: Lo (547)
SZ2147	FX38153	FX60126	4.417	0.634	12.851	0.287	0.0845	0.416	0.0508	0.0003	0.0191	0.0194	0.0016	LS: Lo (599)
SZ2148	FX38153	FX601261	4.5869	0.621	12.465	0.283	0.0818	0.4147	0.0491	0.0003	0.0184	0.0187	0.0015	LS: Lo (597)
SZ2149	FX05191	FX057816	4.5866	0.424	14.917	0.426	0.1037	0.4452	0.0617	0.0006	0.0259	0.0264	0.0028	LS:Lo (3790)
SZ2150	FX38153	FX60160	3.3215	0.72	14.519	0.355	0.0991	0.4322	0.059	0.0005	0.0237	0.0242	0.0024	LS: Lo (431)
SZ2151	FX05191	FX05H126	5.0959	0.425	13.898	0.424	0.097	0.4515	0.0566	0.0004	0.025	0.0254	0.0024	LS:Up (312)
SZ2152	FX38153	FX61140	3.4718	0.746	14.111	0.382	0.0946	0.4291	0.0576	0.0004	0.0221	0.0226	0.0022	LS: Lo (439)
SZ2153	FX38153	FX61147	3.5855	0.737	13.758	0.377	0.0925	0.4293	0.0561	0.0004	0.0217	0.0221	0.0021	LS: Lo (434)
SZ2154	FX05191	FX082512	5.7384	0.569	15.79	0.273	0.0929	0.3907	0.0603	0.0005	0.0184	0.0189	0.002	LS:Lo (900)
SZ2155	FX38153	FX61168	3.2524	0.749	15.003	0.388	0.1002	0.4306	0.0609	0.0005	0.0236	0.0241	0.0025	LS: Lo (428)
SZ2156	FX38153	FX61184	3.2218	0.743	15.989	0.38	0.1052	0.4264	0.0643	0.0006	0.0243	0.0249	0.0027	LS: Lo (515)
SZ2157	FX05191	FX08S176	4.4347	0.399	15.259	0.443	0.1042	0.4486	0.0622	0.0006	0.0263	0.0268	0.0028	LS:Lo (331)
SZ2158	FX05191	FX2	2.6128	0.723	19.605	0.422	0.1271	0.4335	0.0787	0.0011	0.0299	0.0311	0.0042	LS:Lo (497)
SZ2159	FX38153	FX63100	5.0765	0.602	10.589	0.285	0.0703	0.4143	0.0424	0.0002	0.0157	0.0159	0.0011	LS: Lo (445)
SZ2160	FX38153	FX63110	4.9097	0.621	11.13	0.285	0.0736	0.4129	0.0445	0.0002	0.0163	0.0165	0.0012	LS: Lo (434)
SZ2161	FX38153	FX63120	5.1971	0.619	10.907	0.28	0.07	0.4043	0.0431	0.0002	0.0149	0.0151	0.0011	LS: Lo (727)
SZ2162	FX05191	FX63110	5.8286	0.532	13.244	0.323	0.0841	0.4094	0.0529	0.0003	0.018	0.0184	0.0017	LS:Lo (432)
SZ2163	FX05191	FX63158	4.1048	0.618	16.085	0.4	0.102	0.4226	0.0648	0.0006	0.0228	0.0235	0.0027	LS:Lo (471)
SZ2164	FX38153	FX63143	2.8802	0.497	13.709	0.422	0.0994	0.4533	0.0575	0.0005	0.0259	0.0263	0.0025	LS: Lo (298)
SZ2165	FX38153	FX63145	4.1823	0.67	12.715	0.325	0.0844	0.4215	0.0512	0.0003	0.0193	0.0196	0.0017	LS: Lo (469)

Tabla 4.4.2 Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2133 al SZ-2165.

Perfil	Extradós	Intradós	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFOil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
SZ2166	FX05191	FX60100	5.7346	0.536	13.675	0.325	0.0873	0.4153	0.0541	0.0004	0.0193	0.0197	0.0018	LS:Lo (551)
SZ2167	FX38153	FX63158	3.6796	0.747	13.739	0.396	0.0915	0.4271	0.0561	0.0004	0.0211	0.0216	0.0021	LS: Lo (474)
SZ2168	FX38153	FX6617A2	3.2259	0.696	14.869	0.373	0.1013	0.4352	0.0599	0.0005	0.0245	0.025	0.0025	LS: Lo (470)
SZ2169	FX38153	FX6617AI	3.0791	0.706	15.286	0.351	0.1045	0.4338	0.0618	0.0006	0.0252	0.0258	0.0026	LS: Lo (448)
SZ2170	FX05191	FX63120	6.1086	0.54	12.993	0.314	0.0805	0.4016	0.0516	0.0003	0.0166	0.0169	0.0016	LS:Lo (724)
SZ2171	FX05191	FX63143	4.0232	0.44	16.056	0.413	0.1099	0.4467	0.0656	0.0007	0.0275	0.0282	0.0031	LS:Lo (302)
SZ2172	FX38153	FX66A175	3.8313	0.644	14.153	0.326	0.0937	0.4285	0.0557	0.0004	0.0222	0.0226	0.0021	LS: Lo (633)
SZ2173	FX38153	FX66S161	3.698	0.64	13.801	0.319	0.0936	0.4309	0.0552	0.0004	0.0224	0.0228	0.0021	LS: Lo (520)
SZ2174	FX38153	FX66S171	3.5566	0.653	14.327	0.319	0.0967	0.43	0.0572	0.0004	0.023	0.0235	0.0022	LS: Lo (514)
SZ2175	FX05191	FX601001	5.7697	0.55	13.905	0.33	0.0874	0.4135	0.0544	0.0004	0.0192	0.0196	0.0018	LS:Lo (597)
SZ2176	FX38153	FX67K150	3.5671	0.494	12.35	0.413	0.0886	0.4499	0.0515	0.0003	0.0227	0.0231	0.002	LS: Lo (343)
SZ2177	FX38153	FX67K170	3.1793	0.504	13.129	0.418	0.0943	0.45	0.0547	0.0004	0.0242	0.0246	0.0022	LS: Lo (332)
SZ2178	FX38153	FX69H083	3.9624	0.428	11.513	0.462	0.0862	0.4644	0.0485	0.0003	0.0236	0.0239	0.0019	LS: Lo (281)
SZ2179	FX38153	FX69H098	3.3245	0.478	12.81	0.415	0.0954	0.4593	0.0539	0.0004	0.0256	0.026	0.0023	LS: Lo (255)
SZ2180	FX38153	FX71089A	2.9324	0.572	13.862	0.317	0.1023	0.4453	0.0582	0.0005	0.0261	0.0266	0.0025	LS: Lo (273)
SZ2181	FX38153	FX71120	2.3882	0.644	15.387	0.31	0.1125	0.442	0.0643	0.0007	0.0284	0.029	0.003	LS: Lo (298)
SZ2182	FX38153	FX711520	2.3877	0.742	17.007	0.358	0.1177	0.4368	0.0693	0.0008	0.0287	0.0295	0.0034	LS: Lo (437)
SZ2183	FX38153	FX711525	2.251	0.743	17.006	0.359	0.1186	0.4392	0.0696	0.0008	0.0292	0.0301	0.0034	LS: Lo (435)
SZ2184	FX05191	FX60100S	5.728	0.532	13.66	0.322	0.0874	0.4155	0.0541	0.0004	0.0193	0.0197	0.0018	LS:Lo (544)
SZ2185	FX38153	FX72150A	6.0067	0.615	9.6114	0.271	0.0602	0.3924	0.0374	0.0001	0.0123	0.0124	0.0008	LS: Lo (551)
SZ2186	FX05191	FX60126	5.2752	0.56	14.961	0.318	0.095	0.4125	0.0591	0.0005	0.0208	0.0213	0.0022	LS:Lo (597)
SZ2187	FX05191	FX601261	5.4754	0.553	14.562	0.315	0.0923	0.4112	0.0575	0.0004	0.0201	0.0205	0.002	LS:Lo (595)
SZ2188	FX05191	FX60157	3.3325	0.478	17.491	0.405	0.114	0.4309	0.0708	0.0008	0.0266	0.0274	0.0034	LS:Lo (407)
SZ2189	FX38153	FX77W153	3.3956	0.456	12.637	0.438	0.0957	0.4569	0.0537	0.0004	0.0256	0.026	0.0023	LS: Up (241)
SZ2190	FX38153	FX77W258	1.9765	0.773	18.564	0.434	0.1287	0.4382	0.0758	0.0011	0.0315	0.0326	0.0041	LS: Lo (411)
SZ2191	FX05191	FX60160	3.8658	0.618	16.843	0.379	0.1096	0.4276	0.0674	0.0007	0.0254	0.0261	0.003	LS:Lo (429)
SZ2192	FX38153	FX79K144	2.6818	0.424	14.07	0.457	0.1026	0.4535	0.0591	0.0005	0.0267	0.0272	0.0027	LS: Lo (315)
SZ2193	FX38153	FXL142K	2.4088	0.696	16.585	0.34	0.1154	0.4383	0.0673	0.0007	0.0284	0.0292	0.0032	LS: Lo (441)
SZ2194	FX38153	FXLV152	2.1624	0.728	17.188	0.371	0.1194	0.4403	0.07	0.0008	0.0295	0.0304	0.0035	LS: Lo (433)
SZ2195	FX38153	FXM2	5.5004	0.455	8.5598	0.296	0.0634	0.4421	0.0361	0.0001	0.016	0.0161	0.001	LS: Lo (7064)
SZ2196	FX38153	FXS02196	3.197	0.711	15.741	0.35	0.104	0.4278	0.0627	0.0006	0.0244	0.0249	0.0026	LS: Lo (602)
SZ2197	FX38153	FXS03182	2.7628	0.752	16.069	0.412	0.1082	0.4366	0.065	0.0007	0.0261	0.0268	0.0029	LS: Lo (487)
SZ2198	FX05191	FX6617A2	3.8563	0.614	17.208	0.385	0.1118	0.4304	0.0683	0.0007	0.0262	0.027	0.0031	LS: Lo (468)
SZ2199	FX05191	FX61140	3.9568	0.574	16.45	0.392	0.1051	0.4246	0.0662	0.0007	0.0238	0.0245	0.0028	LS:Lo (438)

Tabla 4.4.3. Parámetros Geométricos de los perfiles SZ-2166 al SZ-2199.

4.5 Coeficientes y Errores Globales de los polinomios interpolantes para los perfiles SZ – 2100:

Una vez que se almacenó la data correspondiente a los valores de los parámetros geométricos de cada perfil, también se guardaron los valores de los coeficientes de los polinomios interpolantes tal como se describe en el subcapítulo 4.1 y por tanto en forma análoga al subcapítulo 4.3 se muestran estos valores en las siguientes tablas mostrando las dos primeras y colocando el resto en el anexo A – x.

Tabla 4.5.1. Coeficientes (A_n) y error global (\mathcal{E}_g) de los polinomios de los perfiles SZ2100, SZ2101 y SZ2102.

	SZ2100		SZ2101		SZ2102	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0.006117807	-0.000104596	0.006117807	-0.000109162	0.006117807	-0.00010424
A_1	1.868050548	-0.866679046	1.868050548	-0.883265793	1.868050548	-0.832691534
A_2	-24.4862555	14.3594023	-24.4862555	14.88671123	-24.4862555	12.38397805
A_3	205.6239213	-126.2497222	205.6239213	-132.5643444	205.6239213	-110.3566596
A_4	-1042.089041	645.3607201	-1042.089041	683.335337	-1042.089041	572.8184904
A_5	3279.640621	-2022.516907	3279.640621	-2152.733953	3279.640621	-1815.687835
A_6	-6569.197151	4017.854922	-6569.197151	4290.666957	-6569.197151	3629.108994
A_7	8379.073193	-5076.331227	8379.073193	-5434.530648	8379.073193	-4589.995832
A_8	-6587.341982	3949.690158	-6587.341982	4238.823675	-6587.341982	3559.129525
A_9	2908.800042	-1724.367951	2908.800042	-1855.921694	2908.800042	-1542.101392
A_{10}	-551.8977868	323.0677089	-551.8977868	348.9216465	-551.8977868	285.5338265
$\mathcal{E}_g(\%)$	2.077016581	2.733665302	2.077016581	4.808113368	2.077016581	3.81367027

Tabla 4.5.2. Coeficientes (A_n) y error global (\mathcal{E}_g) de los polinomios de los perfiles SZ2103, SZ2104 y SZ2105.

	SZ2103		SZ2104		SZ2105	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0.006117807	-6.65081E-05	0.006117807	-0.000306534	0.006117807	-6.85982E-05
A_1	1.868050548	-0.661491645	1.868050548	-1.644008221	1.868050548	-0.657532354
A_2	-24.4862555	8.743238593	-24.4862555	25.07977435	-24.4862555	8.33266558
A_3	205.6239213	-75.4236425	205.6239213	-223.1369981	205.6239213	-70.76207842
A_4	-1042.089041	393.7180572	-1042.089041	1150.81805	-1042.089041	358.2193523
A_5	3279.640621	-1265.309858	3279.640621	-3625.043073	3279.640621	-1104.632668
A_6	-6569.197151	2569.293504	-6569.197151	7209.694146	-6569.197151	2128.861487
A_7	8379.073193	-3299.532515	8379.073193	-9088.412661	8379.073193	-2566.14922
A_8	-6587.341982	2594.090999	-6587.341982	7039.893447	-6587.341982	1874.510976
A_9	2908.800042	-1138.289795	2908.800042	-3057.072243	2908.800042	-757.234408
A_{10}	-551.8977868	213.3715757	-551.8977868	569.8242717	-551.8977868	129.5113614
$\mathcal{E}_g(\%)$	2.077016581	1.381341769	2.077016581	0.493885142	2.077016581	0.240796534

4.6 Parámetros Geométricos de los perfiles base (Perfiles FX):

En este informe de trabajo especial también se incluye el estudio de los perfiles que se usaron como base (Perfiles FX), para realizar una comparación entre las dos series obtenidas y estos perfiles lo cual, nos permitirá demostrar cuán distintos y en que medida difieren los parámetros calculados para todos los perfiles. Por ello se presentan los valores correspondientes a los parámetros geométricos para los perfiles FX, que se muestran en las tablas siguientes. En esta tabla se podrá apreciar que para aquellos perfiles simétricos ($Y_{EXT} = Y_{INT}$) el programa arroja resultados para el valor de la curvatura máxima ($f_{m\acute{a}x}$) muy pequeños y, para la posición del punto donde se encuentra esta propiedad ($Xf_{m\acute{a}x}$), arroja siempre el valor de cero, indicando con esto que el programa es válido inclusive para este tipo de perfiles que por las características del método aplicado no se encuentran entre los perfiles generados en las dos series.

Perfil	$f_{m\acute{a}x}$ (%c)	$Xf_{m\acute{a}x}$	$e_{m\acute{a}x}$ (%c)	$Xe_{m\acute{a}x}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFoil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
FX049915	5,8992	0,328	14,942	0,311	0,0906	0,4057	0,0565	0,0004	0,0194	0,0198	0,0019	LS: Lo (3635)
FX05188	2,6154	0,527	18,73	0,394	0,1203	0,4235	0,0754	0,001	0,0272	0,0282	0,0037	LS: Lo (412)
FX05191	2,6154	0,527	19,01	0,4	0,125	0,4342	0,0769	0,0011	0,0296	0,0306	0,004	LS: Lo (374)
FX057816	5,1929	0,402	16,142	0,393	0,1015	0,4147	0,064	0,0006	0,0222	0,0228	0,0026	LS: Lo (3109)
FX05H126	4,4172	0,365	12,585	0,351	0,0763	0,3988	0,0494	0,0003	0,0156	0,0159	0,0014	LS: Up (496)
FX082512	4,1665	0,664	11,94	0,253	0,0685	0,3894	0,0437	0,0002	0,0138	0,014	0,001	LS: Lo (953)
FX08S176	5,6853	0,356	17,566	0,379	0,1113	0,4239	0,0693	0,0008	0,0253	0,0261	0,0031	LS: Up (423)
FX2	3,7477	0,71	20,445	0,467	0,1358	0,448	0,0826	0,0013	0,0339	0,0352	0,0049	LS: Lo (515)
FX3	4,0723	0,733	20,062	0,494	0,1323	0,4501	0,0812	0,0012	0,0332	0,0344	0,0048	A. S. (516)
FX38153	2,1327	0,803	15,49	0,45	0,1085	0,4503	0,0643	0,0006	0,0276	0,0283	0,0031	LS: Lo (395)
FX60100	3,5724	0,565	10,081	0,269	0,0597	0,3807	0,0389	0,0001	0,0114	0,0115	0,0008	LS: Lo (510)
FX601001	3,5987	0,572	10,224	0,287	0,0595	0,3786	0,0393	0,0001	0,0112	0,0113	0,0008	LS: Lo (555)
FX60100S	3,5547	0,558	10,066	0,267	0,0597	0,3811	0,0389	0,0001	0,0114	0,0116	0,0008	LS: Lo (503)
FX60126	3,5708	0,566	12,706	0,269	0,0753	0,3808	0,049	0,0003	0,0144	0,0146	0,0013	LS: Lo (549)
FX601261	3,9799	0,545	12,716	0,269	0,0755	0,3824	0,0489	0,0003	0,0146	0,0148	0,0013	LS: Lo (568)
FX60157	2,7149	0,755	15,59	0,373	0,1054	0,4284	0,064	0,0006	0,0246	0,0252	0,0028	LS: Lo (407)
FX60160	3,0842	0,601	15,555	0,351	0,1002	0,4217	0,062	0,0006	0,0227	0,0232	0,0025	LS: Lo (420)
FX60177	2,7334	0,781	17,633	0,376	0,1197	0,4301	0,0724	0,0009	0,0281	0,029	0,0036	LS: Lo (450)
FX61140	2,4629	0,305	13,975	0,319	0,0857	0,4026	0,0553	0,0004	0,0178	0,0181	0,0018	LS: Up/Lo (427)
FX61147	3,18	0,326	14,752	0,32	0,0923	0,4081	0,0584	0,0005	0,0197	0,0201	0,002	LS: Lo (434)
FX61163	2,5625	0,34	16,309	0,349	0,1007	0,4081	0,0646	0,0006	0,0213	0,0219	0,0025	LS: Lo (423)
FX61168	2,9895	0,366	16,762	0,348	0,1044	0,4104	0,0664	0,0007	0,0224	0,0231	0,0027	LS: Lo (481)
FX61184	3,0698	0,625	18,289	0,364	0,1135	0,4095	0,0727	0,0009	0,0242	0,025	0,0032	LS: Lo (510)
FX62K131	3,9043	0,519	13,021	0,393	0,0844	0,4249	0,053	0,0003	0,0192	0,0195	0,0018	A. S. (59342)
FX62K153	4,0823	0,62	15,192	0,414	0,0985	0,4271	0,0614	0,0005	0,0226	0,0231	0,0025	LS: Lo (472)
FX63100	4,3635	0,531	10,026	0,274	0,0605	0,3831	0,0392	0,0001	0,0117	0,0118	0,0008	LS: Lo (422)
FX63110	4,3619	0,53	11,108	0,274	0,0671	0,3832	0,0435	0,0002	0,0129	0,0131	0,001	LS: Lo (411)
FX63120	5,2581	0,529	12,076	0,276	0,0726	0,3835	0,0471	0,0002	0,014	0,0142	0,0012	LS: Lo (693)
FX63137	5,9841	0,539	13,822	0,281	0,0831	0,3838	0,054	0,0004	0,016	0,0164	0,0016	LS: Lo (585)
FX63137S	5,9807	0,531	13,795	0,279	0,0831	0,3846	0,0539	0,0003	0,0161	0,0165	0,0016	LS: Lo (564)
FX63143	3,0767	0,321	14,295	0,321	0,0929	0,4223	0,0567	0,0004	0,0212	0,0217	0,0021	LS: Up (417)
FX63145	4,0001	0,368	14,522	0,291	0,0863	0,3865	0,0564	0,0004	0,0168	0,0172	0,0017	LS: Lo (453)
FX63147	3,1325	0,326	14,72	0,336	0,0966	0,4234	0,0593	0,0005	0,022	0,0225	0,0023	-

Tabla 4.6.1. Parámetros Geométricos de los perfiles FX049915 al FX63147.

Perfil	$f_{\text{máx}}$ (%c)	$Xf_{\text{máx}}$	$e_{\text{máx}}$ (%c)	$Xe_{\text{máx}}$	Area	X_c	Y_c	I_x	I_y	J_o	I_{xy}	Re_{min} para Alarma VFOil ($\times 10^3$), $\alpha = 0^\circ$
FX63158	3,7532	0,341	15,756	0,337	0,0975	0,4058	0,0625	0,0005	0,0205	0,021	0,0023	LS: Lo (469)
FX6617A2	3,8056	0,368	18,17	0,346	0,1103	0,4101	0,0702	0,0008	0,0237	0,0245	0,003	LS: Up (475)
FX6617AI	3,6795	0,375	18,786	0,337	0,1135	0,4094	0,0724	0,0009	0,0243	0,0252	0,0031	LS: Up (469)
FX66182	3,8045	0,369	18,173	0,346	0,1102	0,4097	0,0703	0,0008	0,0236	0,0244	0,0029	LS: Lo (503)
FX66196V	4,0148	0,45	19,485	0,356	0,1181	0,4121	0,0754	0,001	0,0255	0,0264	0,0034	LS: Lo (562)
FX66A175	4,1793	0,399	17,547	0,316	0,1013	0,3983	0,0659	0,0006	0,0208	0,0214	0,0024	LS: Lo (588)
FX66S161	3,9184	0,419	16,168	0,313	0,0963	0,4007	0,0619	0,0005	0,02	0,0205	0,0022	LS: Lo (489)
FX66S171	3,893	0,421	17,162	0,314	0,1022	0,4008	0,0657	0,0006	0,0212	0,0218	0,0025	LS: Lo (560)
FX66S196	3,7762	0,441	19,572	0,376	0,1198	0,4152	0,0763	0,001	0,0261	0,0272	0,0036	LS: Lo (544)
FX67K150	4,8327	0,449	14,934	0,419	0,0965	0,433	0,0601	0,0005	0,0226	0,0231	0,0024	LS: Up (366)
FX67K170	5,0636	0,451	16,95	0,425	0,1103	0,4337	0,0683	0,0007	0,026	0,0268	0,0032	LS: Up (366)
FX69H083	2,4455	0,339	8,385	0,334	0,058	0,4353	0,0342	1E-04	0,0141	0,0142	0,0008	LS: Up (321)
FX69H098	1,7338	0,224	9,9791	0,271	0,0689	0,4286	0,04	0,0002	0,0165	0,0167	0,0011	LS: Up (255)
FX71089A	0,216	0	9,1524	0,25	0,0608	0,3996	0,0363	0,0001	0,0131	0,0132	0,0008	LS: Up/Lo (233)
FX71120	0,2247	0	12,217	0,253	0,0814	0,4018	0,0486	0,0003	0,0176	0,0179	0,0014	LS: Up/Lo (266)
FX711520	0,278	0	14,989	0,314	0,0917	0,3931	0,0595	0,0005	0,0183	0,0188	0,002	LS: Up/Lo (391)
FX711525	0,2751	0	14,986	0,314	0,0936	0,4	0,0596	0,0005	0,0193	0,0198	0,0021	LS: Up/Lo (390)
FX71L150	0,278	0	14,989	0,314	0,0917	0,3931	0,0595	0,0005	0,0183	0,0188	0,002	LS: Up/Lo (391)
FX72150A	8,3299	0,478	14,988	0,33	0,0895	0,3949	0,0585	0,0004	0,0179	0,0184	0,0019	LS: Lo (528)
FX72150B	9,7116	0,479	14,99	0,33	0,0893	0,3934	0,0586	0,0004	0,0177	0,0182	0,0019	A. S. (542663)
FX74CL51	9,9236	0,371	14,135	0,29	0,0821	0,3803	0,0545	0,0004	0,0155	0,0158	0,0015	LS: Lo (9863)
FX74MODS	9,7322	0,407	13,207	0,27	0,076	0,3769	0,0505	0,0003	0,0142	0,0145	0,0013	LS: Lo (6734)
FX77W153	4,4539	0,278	15,413	0,265	0,0951	0,4029	0,0583	0,0005	0,0204	0,0209	0,002	LS: Up (719)
FX77W258	4,3511	0,278	26,206	0,295	0,1623	0,4034	0,1015	0,0024	0,0344	0,0368	0,0061	LS: Up (686)
FXW77343	4,6901	0,266	34,367	0,303	0,2217	0,4194	0,1332	0,0057	0,0508	0,0565	0,0113	LS: Lo (507)
FX79K144	2,8151	0,39	14,279	0,427	0,0973	0,4406	0,0588	0,0005	0,0238	0,0242	0,0024	LS: Lo (293)
FXL142K	0,1357	0	14,253	0,297	0,0871	0,3948	0,0554	0,0004	0,0177	0,0181	0,0017	LS: Up/Lo (399)
FXLV152	0,1322	0	15,254	0,329	0,095	0,4035	0,0603	0,0005	0,0199	0,0204	0,0021	LS: Lo (396)
FXM2	4,7445	0,306	8,3985	0,218	0,0508	0,3709	0,0321	8E-05	0,0096	0,0097	0,0005	LS: Lo (4749)
FXS02196	3,7396	0,47	19,514	0,347	0,118	0,4053	0,0759	0,001	0,0247	0,0257	0,0034	LS: Lo (566)
FXS03182	2,8549	0,559	18,185	0,42	0,1153	0,4275	0,0721	0,0009	0,0265	0,0273	0,0034	LS: Lo (479)
FXS21158	3,5018	0,381	15,82	0,305	0,0888	0,386	0,0594	0,0005	0,0171	0,0176	0,0018	LS: Lo (607)

Tabla 4.6.2. Parámetros Geométricos de los perfiles FX63158 al FXS21158.

4.7 Coeficientes y Errores Globales de los polinomios interpolantes para los Perfiles Base (Perfiles FX).

Debido a que para esta familia de perfiles también se aplicó el proceso de cálculo del programa elaborado en Mathcad, se presentan a continuación las tablas con los valores de los coeficientes de los polinomios interpolantes y sus correspondientes errores globales para los primeros seis perfiles, mostrando el resto en el anexo A – X.

Tabla 4.7.1. Coeficientes (A_n) y error global (ϵ_g) de los polinomios de los perfiles FX049915, FX05188 y SZ2002.

	FX049915		FX05188		FX05191	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0,0080658	-5,94261E-05	0,004805803	-0,000222696	0,004700407	-0,00020766
A_1	1,568818271	-0,798528414	1,497856274	-1,334767461	1,471972884	-1,302826242
A_2	-15,19847533	15,56242178	-18,1585738	19,86367489	-17,34480567	18,93143159
A_3	109,3303469	-148,221143	154,6492148	-176,6107504	143,9287526	-164,8239176
A_4	-488,9963882	792,1237408	-791,2196181	907,9442596	-721,2119088	832,6017287
A_5	1374,511958	-2567,715341	2495,710011	-2843,696916	2244,40513	-2576,187435
A_6	-2529,946373	5243,297816	-4994,231566	5615,489199	-4465,998953	5056,172645
A_7	3071,494614	-6781,729918	6354,158224	-7022,640432	5690,835978	-6321,470579
A_8	-2373,666052	5389,045262	-4979,862825	5394,964366	-4493,187831	4879,936309
A_9	1056,504701	-2400,227719	2192,575659	-2323,631294	2001,519427	-2120,660744
A_{10}	-205,6115521	458,6637711	-415,1231711	429,6535235	-384,4226006	396,8043919
$\epsilon_g(\%)$	4,01441849	4,55303185	0,550251601	4,036551664	5,08479626	3,897315206

Tabla 4.7.2. Coeficientes (A_n) y error global (ϵ_g) de los polinomios de los perfiles FX057816, FX05H126 y FX082512.

	FX057816		FX05H126		FX082512	
A_n	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós	Extradós	Intradós
A_0	0,006776368	-8,39213E-05	0,004189143	-0,000144508	0,002586384	-0,000134779
A_1	1,577465623	-0,982141325	1,433004471	-0,796346386	1,112902426	-1,305944449
A_2	-18,72337307	17,44353022	-17,17933259	14,56566833	-16,37367698	21,86273711
A_3	166,8161971	-162,8552749	146,7044321	-134,6481198	156,0663568	-211,4060662
A_4	-920,3957459	858,720688	-766,77566	708,2994526	-859,3749712	1155,342571
A_5	3162,772083	-2740,058477	2495,84051	-2278,163864	2868,175541	-3744,412674
A_6	-6884,165224	5499,377795	-5177,392426	4637,951869	-6012,601167	7523,530241
A_7	9445,521657	-6994,230562	6823,519721	-5996,920141	7963,809184	-9490,750852
A_8	-7892,498122	5475,427295	-5516,483934	4770,894095	-6468,962391	7322,24497
A_9	3661,753658	-2408,429842	2491,068015	-2128,84803	2941,456274	-3159,396155
A_{10}	-722,6659297	455,5875439	-480,738995	407,6656473	-573,3110239	584,2916695
$\epsilon_g(\%)$	3,797602253	2,226856172	15,09675307	2,910515837	1,900459359	7,998900908

CAPÍTULO 5: CURVAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES AERODINÁMICAS.

5.1 Curvas Características de los perfiles de la serie SZ-2000:

En este subcapítulo se muestra una selección de los perfiles notables para los cuales se trazaron las curvas características así como para las demás series. El resto de las curvas para completar la serie se muestra en el anexo A – 8.

Para generar los datos de los coeficientes aerodinámicos se deben seguir los siguientes pasos:

- Después de abrir el programa, aparecerá por defecto el dibujo del perfil NACA 0012 para un ángulo de ataque de 0° y un número de Reynolds de 1000000. Para abrir el archivo de coordenadas del perfil que queremos analizar se coloca el puntero sobre la barra de herramientas del programa donde aparece un pequeño dibujo del contorno de un perfil con la frase ‘Select an Airfoil’ y se desplegarán varias opciones, de estas se escogerá ‘General Airfoils’. Luego aparecerá una ventana en donde podremos explorar todos los directorios del PC que está utilizándose para buscar el archivo de datos que contiene las coordenadas del perfil.
- Una vez que se escoge el perfil que será estudiado aparecerá en la rejilla donde estaba el perfil 0012 el perfil que hemos seleccionado. Si el formato del archivo es incompatible o no tiene la estructura que requiere Visual Foil para leerlo sólo se apreciará una línea o el programa mostrará una ventana con un mensaje de error.
- Ya que hemos visualizado el perfil procedemos a evaluar los distintos parámetros en los regímenes de flujo que se requieren para nuestro estudio. Esto se regula mediante el número de Reynolds y los que se han evaluado en este trabajo especial para trazar las curvas características han sido los siguientes: 2×10^5 , 5×10^5 , 1×10^6 , 2×10^6 , 3×10^6 , 5×10^6 , 9×10^6 . Para cambiar este parámetro en el software se debe ubicar el puntero sobre la última de las líneas que se encuentran en el recuadro a la derecha de la pantalla y que se encabeza con la palabra ‘Inputs’ (entradas), en esa línea

se encuentra el valor actual del número de Reynolds y al presionar sobre 'Re' aparecerá una ventana en donde aparece un primer campo que permite modificar ese valor del número de Reynolds. Al escribir en valor del primer número de Reynolds que vamos a utilizar, se coloca el puntero sobre el recuadro inferior de esta ventana donde aparecen las siglas 'OK' y aparecerá la rejilla con nuestro perfil dibujado y las posiciones de los diferentes puntos (de estancamiento, transición y desprendimiento de capa límite) sobre el extradós e intradós.

- Ya en este punto el programa ha evaluado los coeficientes aerodinámicos para el número de Reynolds que se apuntó anteriormente y el valor del ángulo de ataque que se muestra en el recuadro de entradas ('Inputs'). Para trazar la curva polar del perfil se coloca el puntero sobre la barra de herramientas de Visual Foil donde está la palabra 'Compute' y se elige luego la opción 'Cl-Cd Polar' y aparecerá luego la curva polar para este perfil según la convención americana para trazar esta curva (Cl en las abscisas y Cd en las ordenadas). Si queremos que aparezcan las curvas polares para otros números de Reynolds se realiza nuevamente el paso anterior y se dibujarán simultáneamente sobre este mismo gráfico las curvas polares para los otros regímenes de flujo.
- Una vez que se evaluaron todos los números de Reynolds que, a sugerencia del Prof. Tutor Stefan Zarea se escogieron para este estudio, se procede a salvar la data correspondiente a todos los parámetros que el software calcula. Esto se realiza pulsando el botón principal del ratón con el puntero sobre el pequeño disquete que aparece dibujado en la parte superior izquierda de la pantalla (donde también aparece, debajo del disquete, la frase 'Save Data'). Aparecerá inmediatamente una ventana en donde podremos ubicar y nombrar el archivo que contendrá todos los valores que Visual Foil ha calculado para los distintos regímenes de flujo.
- Para tener una referencia de la distribución de presiones sobre el perfil también es necesario estudiar el comportamiento del coeficiente de presión (Cp) sobre el extradós e intradós de los perfiles generados. Esto se realiza con el software abriendo el archivo de coordenadas del perfil (los primeros

dos pasos de este proceso) y luego ubicando el puntero sobre la barra de herramientas en la palabra 'Compute'. Se presiona nuevamente el botón principal del ratón con el puntero esta vez sobre la frase 'Surface Cp' que aparece en el menú desplegado en la acción precedente. Aparecerá inmediatamente la gráfica con la curva de Cp para el extradós (en amarillo) y el intradós (en negro). Este par de curvas se refiere a la distribución de presiones sobre el contorno del perfil para el ángulo de ataque que se indica en el recuadro de 'entradas' a la derecha de la pantalla. Para evaluar estas dos curvas con otros ángulos de ataque se debe cambiar el valor de éste presionando el botón principal del ratón sobre la palabra '[Angle](#)' que aparece dentro de este recuadro. Aparecerá una pequeña ventana donde se podrá cambiar el ángulo de ataque a cualquier valor escribiéndolo en el campo que aparece a la derecha de esta ventana. Luego se coloca el puntero sobre las siglas 'OK' al extremo derecho de la ventana y el software **redibujará** las curvas para este nuevo ángulo de ataque.

- Los datos con los que Visual Foil traza esta curva se guardan realizando el mismo paso que hemos ejecutado anteriormente para almacenar los valores de los coeficientes aerodinámicos. Es importante aclarar que, a diferencia de lo que sucede al guardar los datos asociados a la curva polar, en el caso del coeficiente de presión sobre el perfil, se debe guardar la data **cada vez** que se cambie **el ángulo de ataque o el número de Reynolds** ya que el software sólo guardará los datos asociados a las curvas que **aparecen en pantalla**. Es importante señalar también que como referencia y, a sugerencia del Prof. tutor Stefan Zarea, en este trabajo se han trazado las curvas del coeficiente de presión para tres ángulos de ataque: 0°, 5° y el valor correspondiente a α_M (ángulo de ataque para sustentación máxima) con un número de Reynolds de 1×10^6 . En el caso de aquellos perfiles cuyo α_M se encontraba por debajo de 5°, se optó por trazar estas curvas sólo para este valor y 0°.
- Una vez hecho esto se procede a graficar las curvas características del perfil con el software Grapher 1.3®, el cual nos permitió trazarlas para lo

distintos regímenes de flujo además de incluir también las gráficas de $-C_p$ para los dos o tres ángulos de ataque indicados en el paso anterior.

Al ejecutar los pasos indicados en el procedimiento anterior y visualizar todas las gráficas y propiedades notables de los perfiles, se muestran a continuación aquellos que tenían características especiales (geométricas o aerodinámicas) para las dos series generadas y los perfiles estudiados de la familia FX.

Para esta serie se seleccionaron los parámetros más importantes de entre las propiedades geométricas y aerodinámicas para ordenar los perfiles según los valores que arrojaron para dichos parámetros. En el caso de las propiedades geométricas se tiene que:

La curvatura máxima ($f_{\text{máx}}$) oscila entre 1.5309 (para el perfil SZ2074) y 5.8797 (para el perfil SZ2070) en % de la cuerda (c).

La posición del punto donde es máxima la curvatura media ($Xf_{\text{máx}}$) varía entre 0.255 (para el perfil SZ2066) y 0.856 (para SZ2008).

El espesor máximo ($e_{\text{máx}}$) está entre 6.4991 (para el perfil SZ2070) y 20.943 (para el perfil SZ2068) expresando este valor en % de c .

El área (consecuencia del espesor máximo) muestra valores que van desde 0.0368 (para SZ2070) hasta 0.1333 (para el perfil SZ2068) observándose que los perfiles se encuentran casi en las mismas posiciones que en la tabla donde se ordenan según $e_{\text{máx}}$.

En cuanto a las propiedades aerodinámicas los rangos de variación de los parámetros seleccionados ($C_{L\text{máx}}$, α_M , ε_M , $C_{D\text{mín}}$) y los perfiles que presentaron los mayores y menores valores para éstos se resumen a continuación:

La sustentación máxima ($C_{L\text{máx}}$) fluctúa entre 0.5631 (para SZ2006) y 2.089 (para el perfil SZ2081).

El ángulo para el cual la sustentación es máxima (α_M) reporta valores desde 1° (para los perfiles SZ2006, SZ2001, SZ2002, SZ2010, SZ2020, SZ2022, SZ2023 y SZ2024) y 16° (para SZ2078, SZ2079 y SZ2092).

La fineza aerodinámica máxima (ε_M) presenta variación en el rango 61.698 (en el perfil SZ2074) – 149.168 (para SZ2025).

El valor del arrastre mínimo ($C_{D\text{mín}}$) se mueve entre 0.00509 (para SZ2005) y 0.00867 (en el caso del perfil SZ2068).

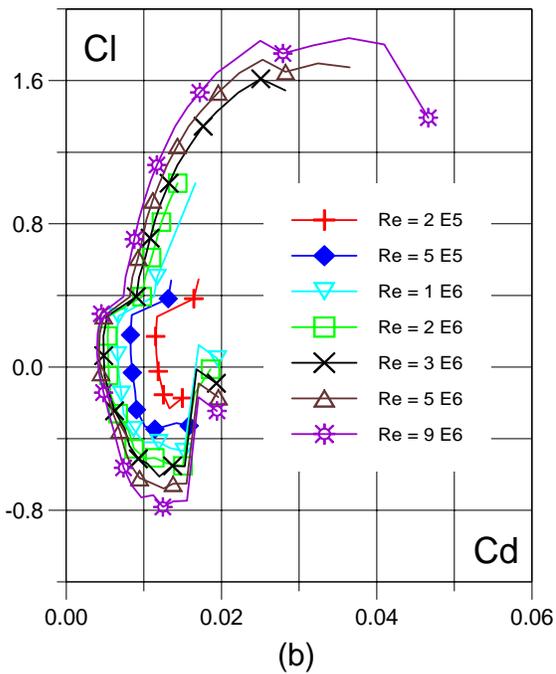
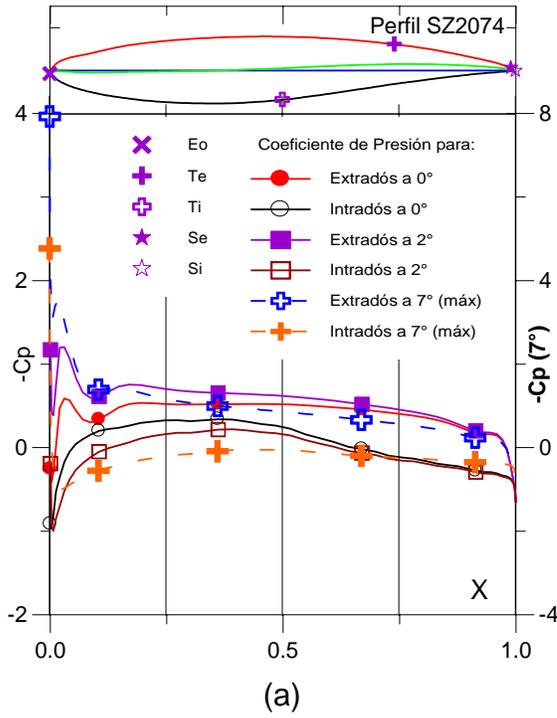


Fig. 5.1.149. (a) C_p (0° , 2° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2074.

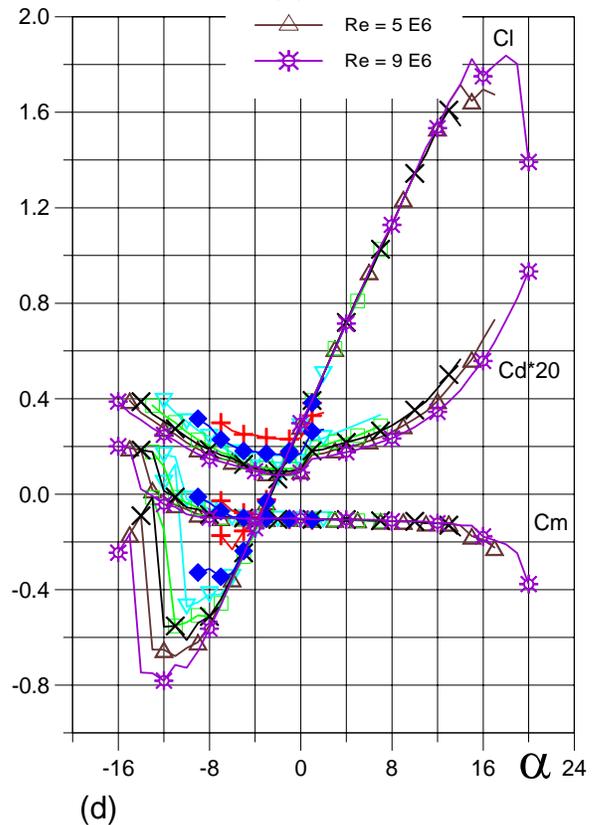
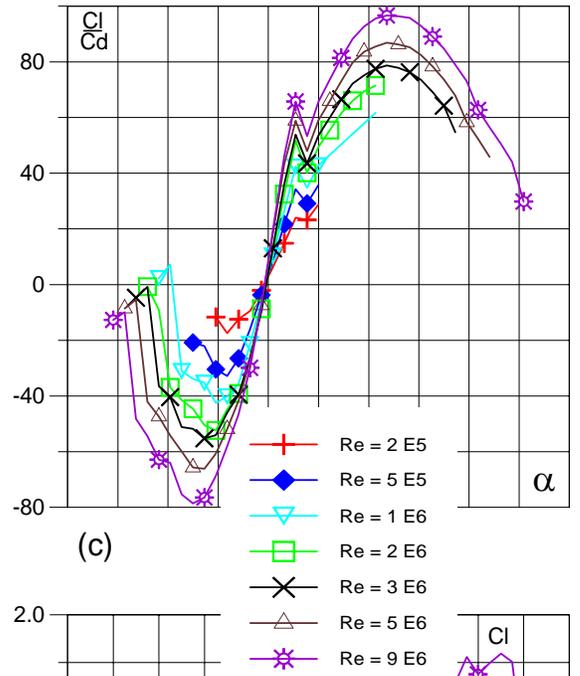


Fig. 5.1.150. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2074.

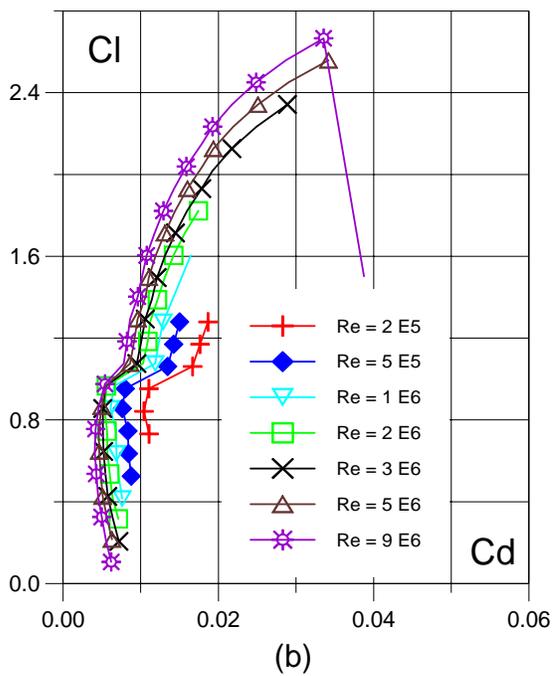
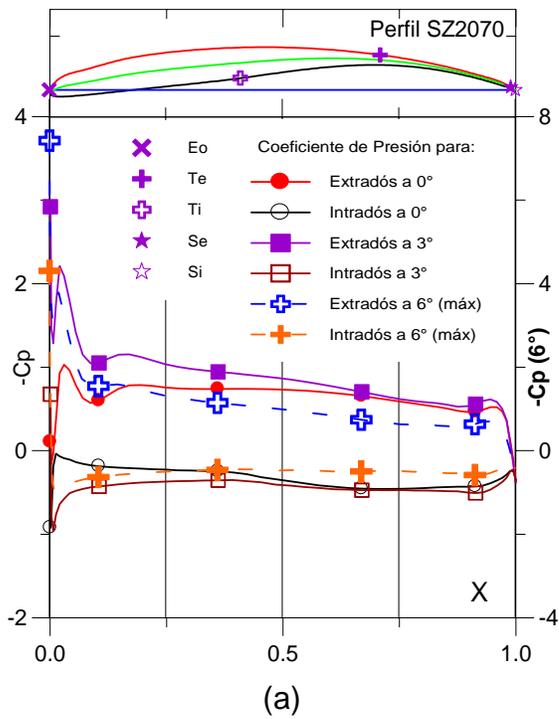


Fig. 5.1.141. (a) C_p (0°, 3° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2070.

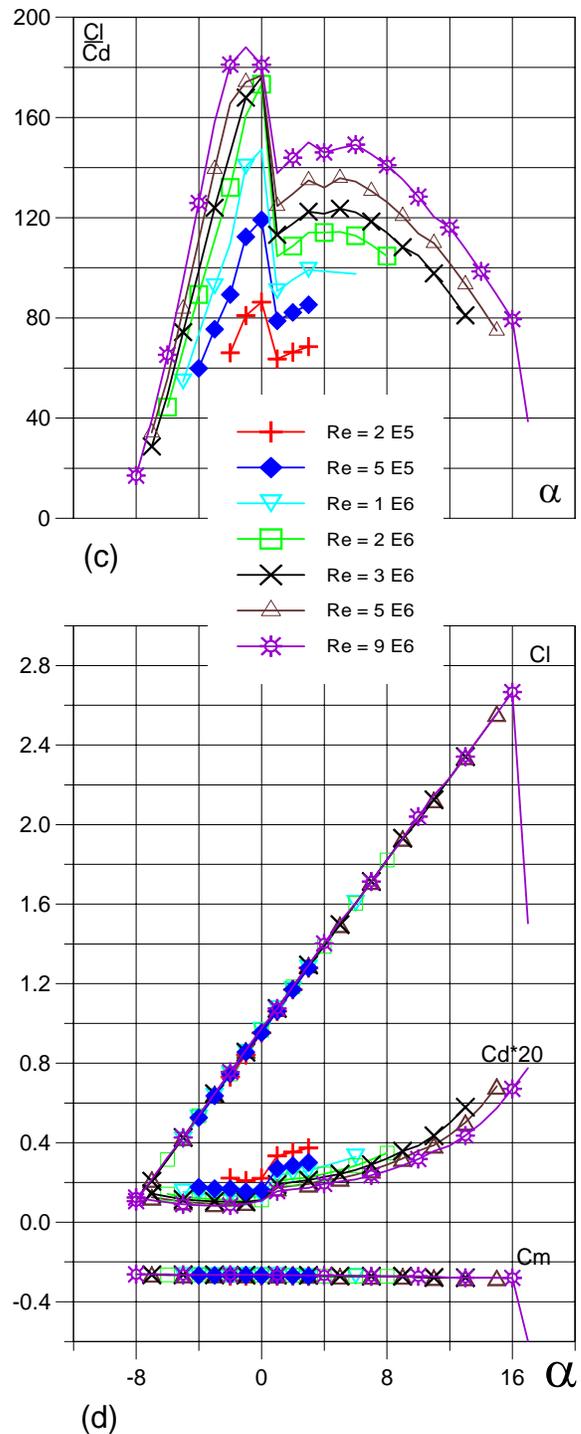


Fig. 5.1.142. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2070.

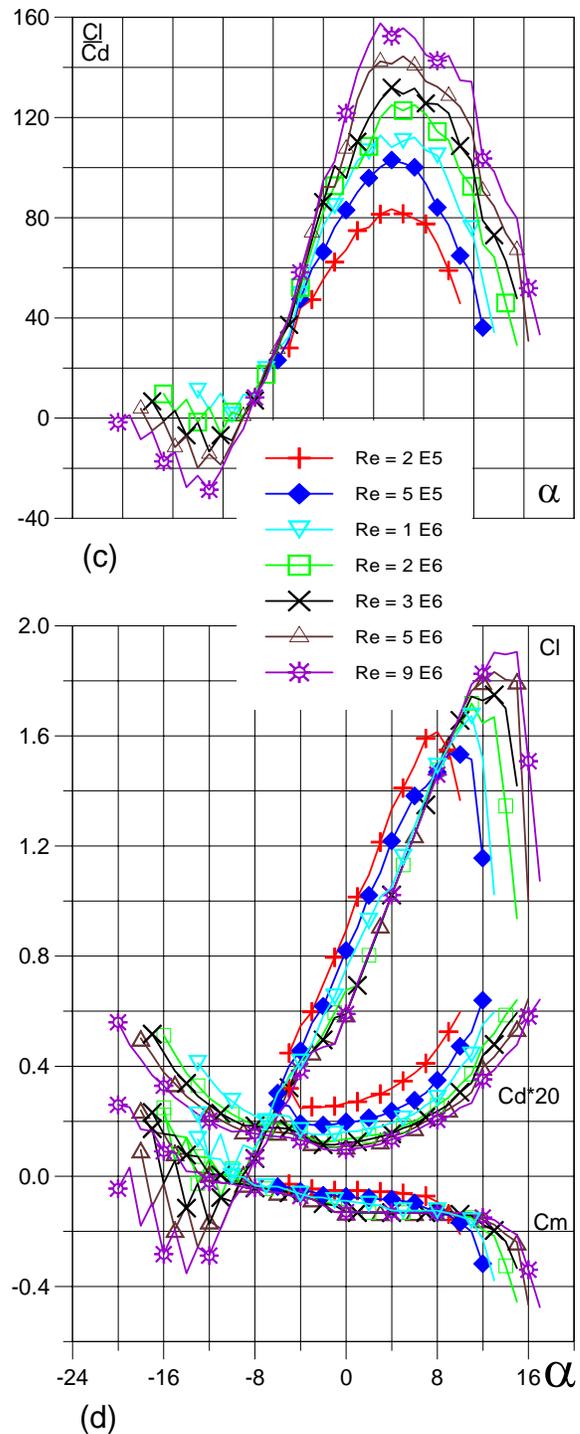
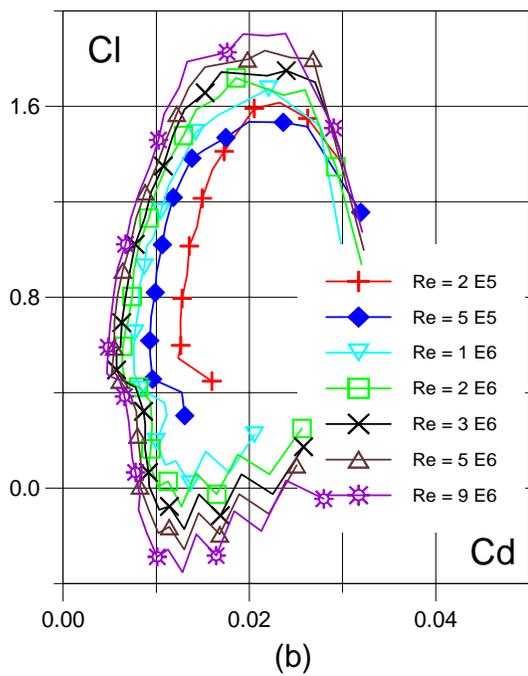
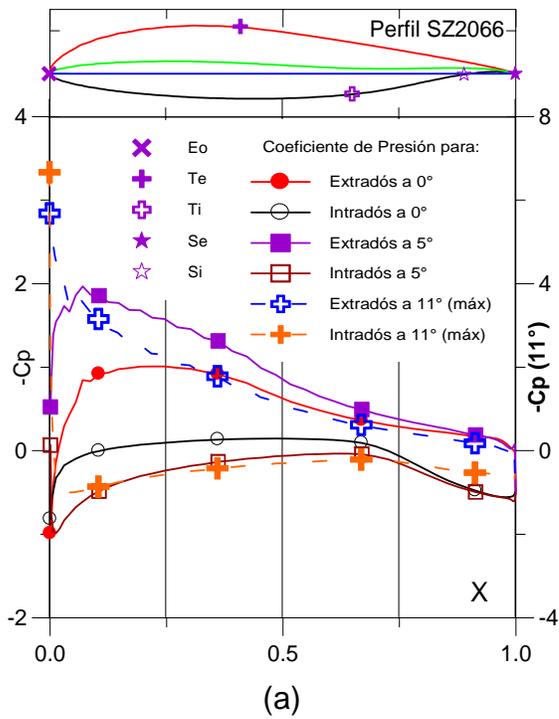
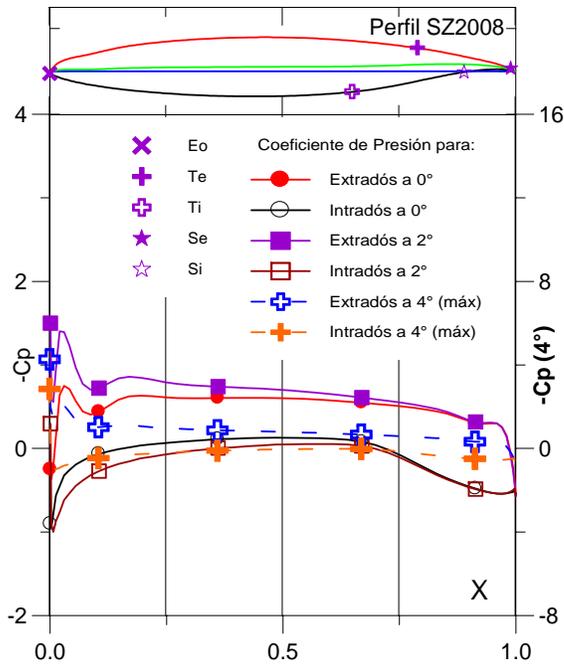
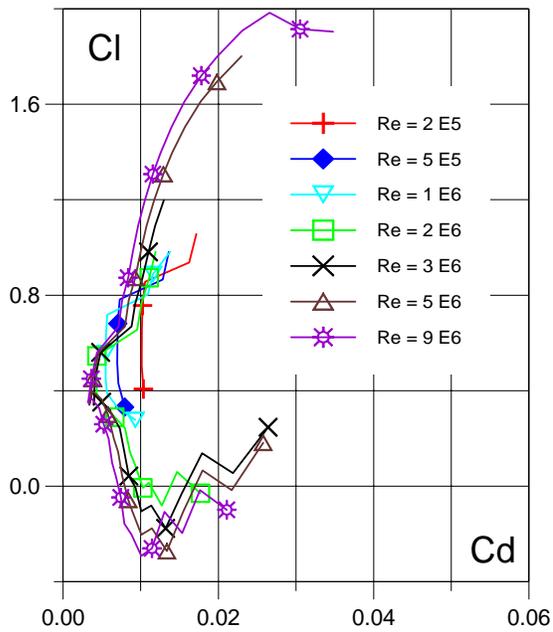


Fig. 5.1.133. (a) C_p (0°, 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2066.

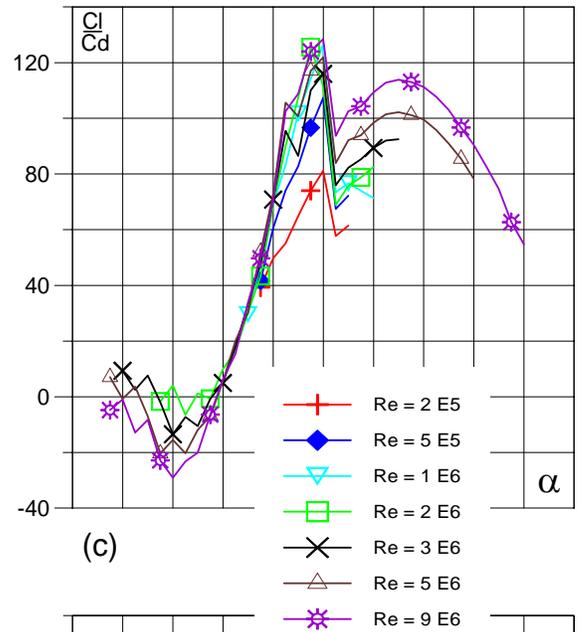
Fig. 5.1.134. (c) Curvas de C_l/C_d y (d) C_l , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2066.



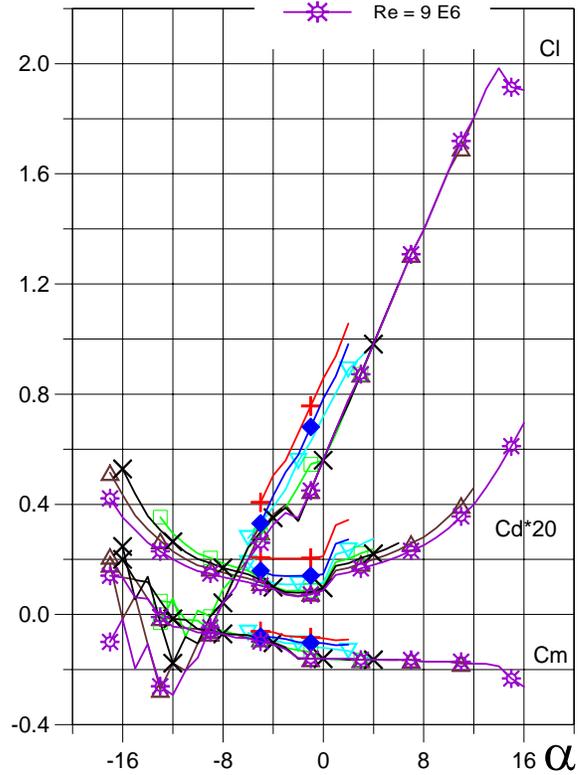
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5.1.17. (a) C_p (0° , 2° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2008.

Fig. 5.1.18. (c) Curvas de Cl/C_d y (d) Cl , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2008.

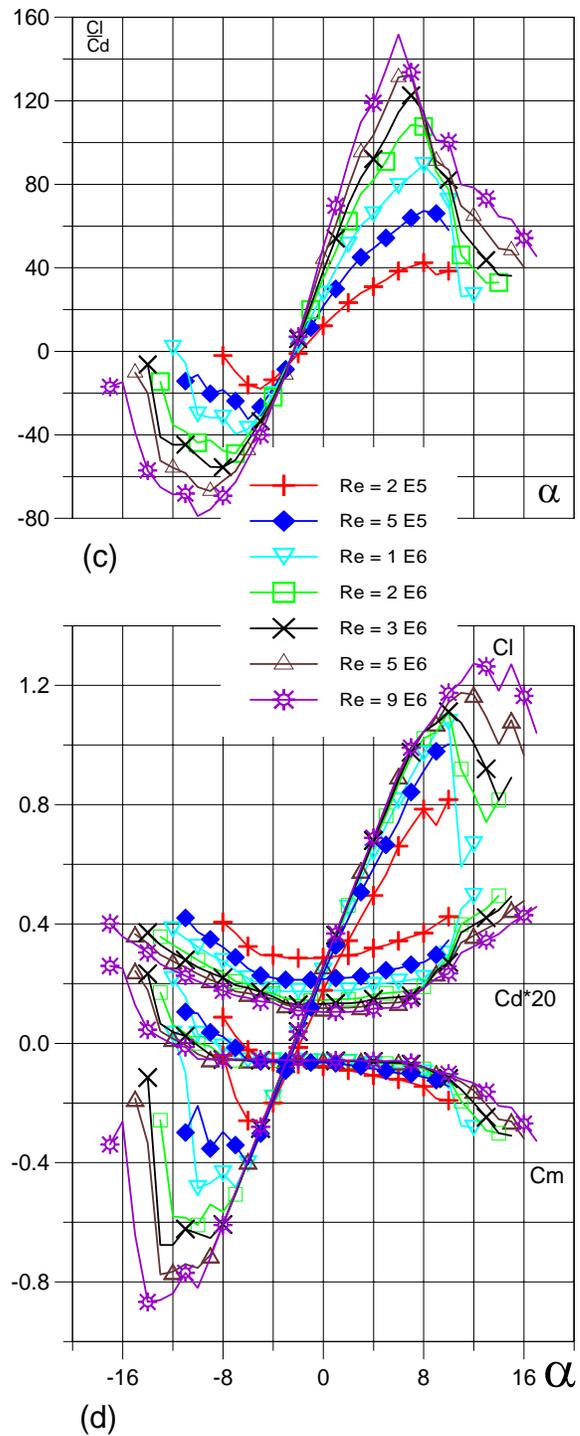
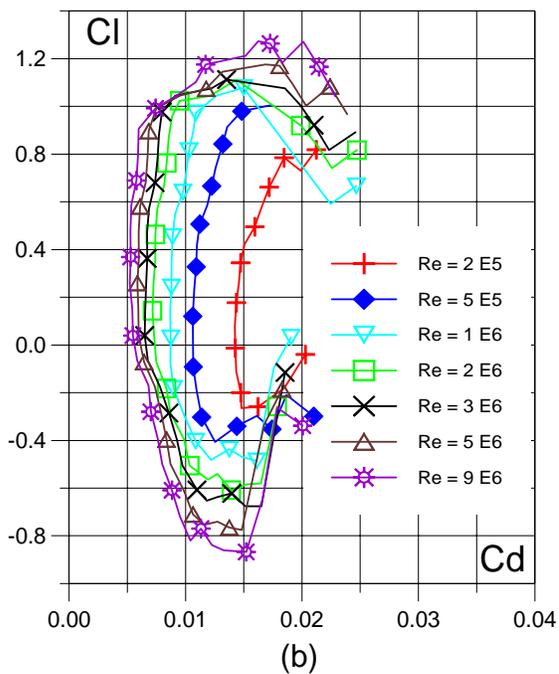
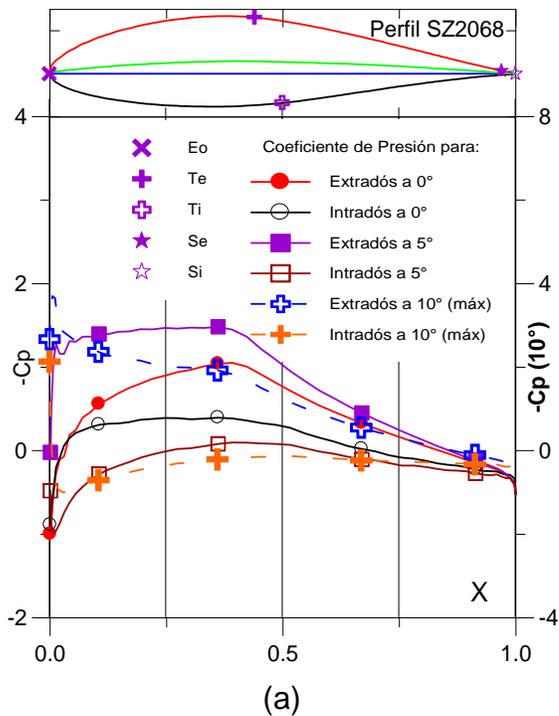


Fig. 5.1.137. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cpmáx a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2068.

Fig. 5.1.138. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2068.

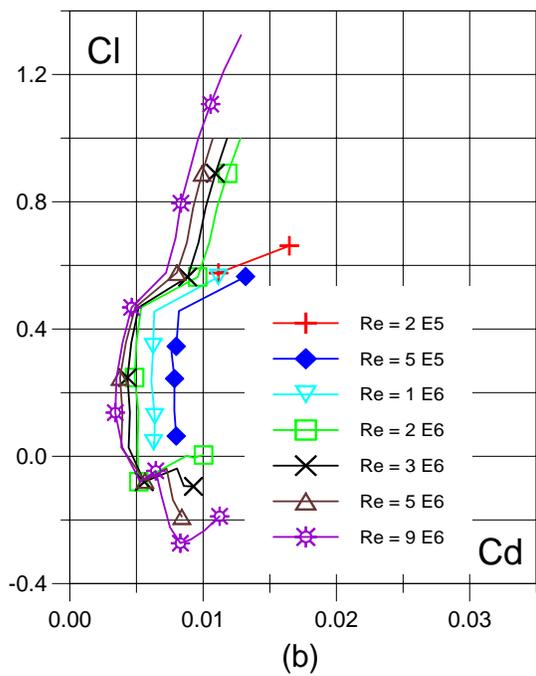
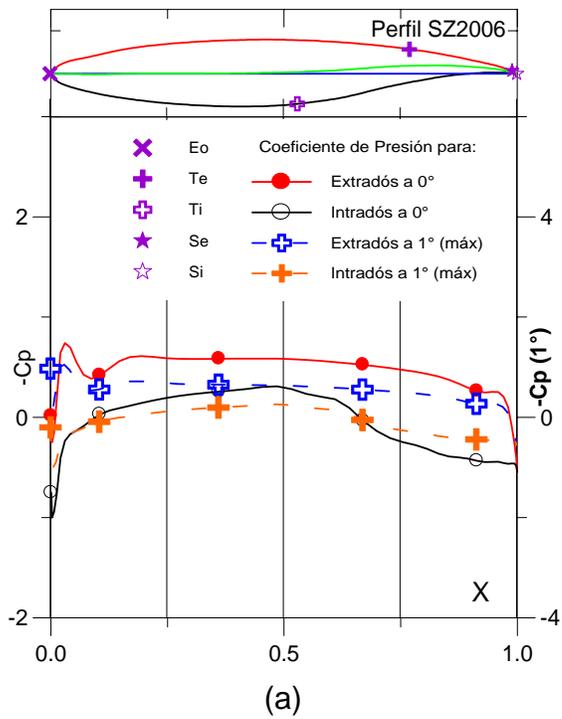


Fig. 5.1.13. (a) C_p (0° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2006.

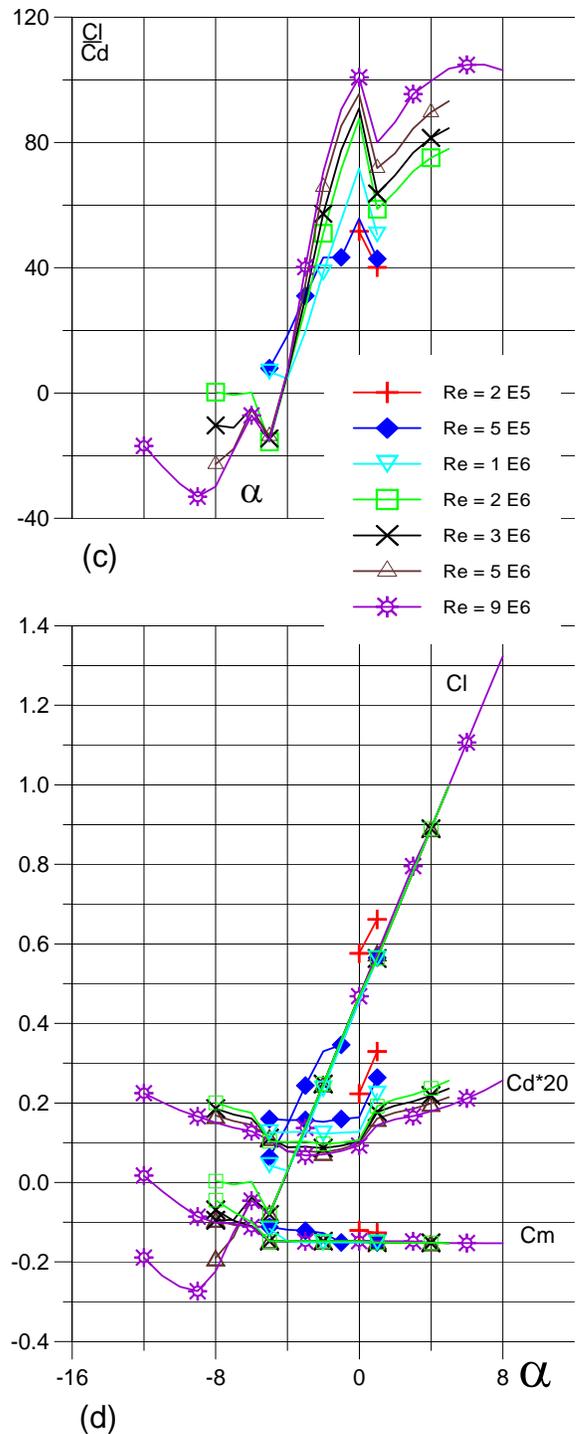


Fig. 5.1.14. (c) Curvas de C_l/C_d y (d) C_l , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2006.

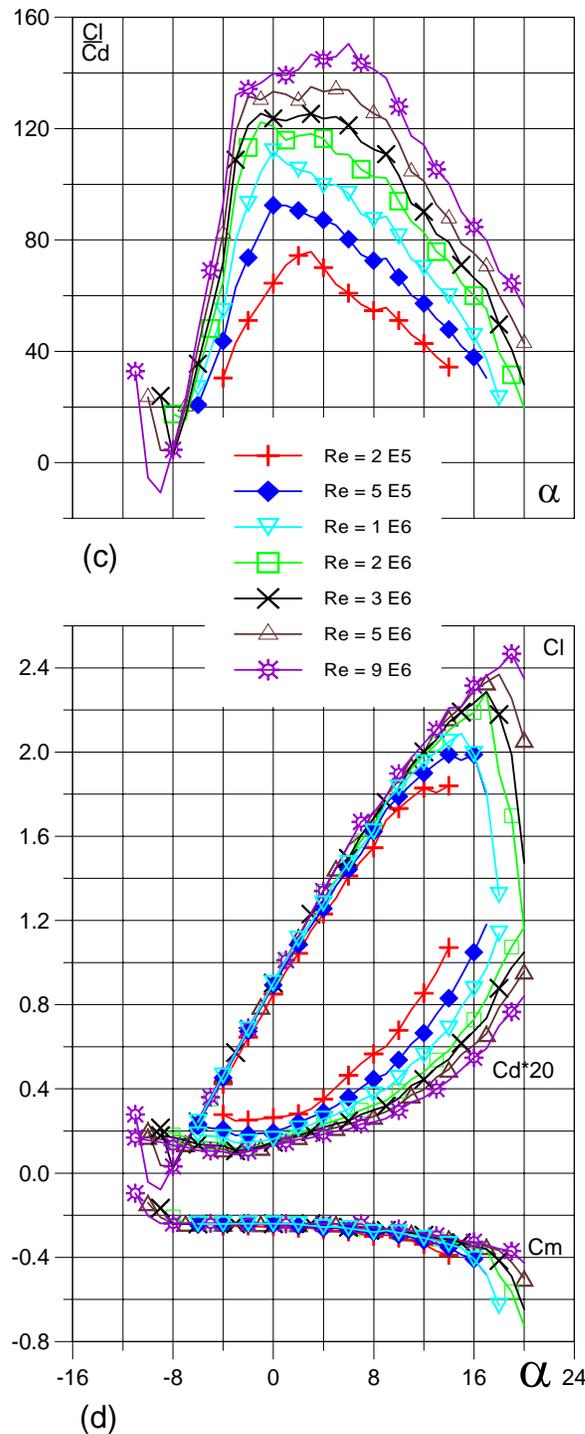
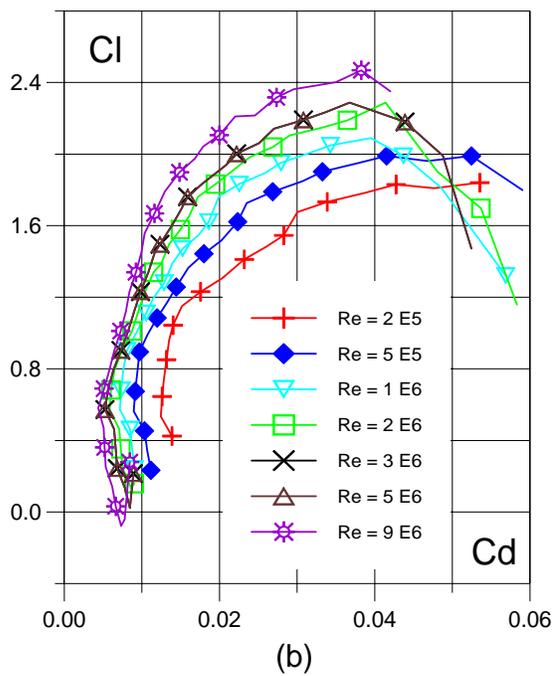
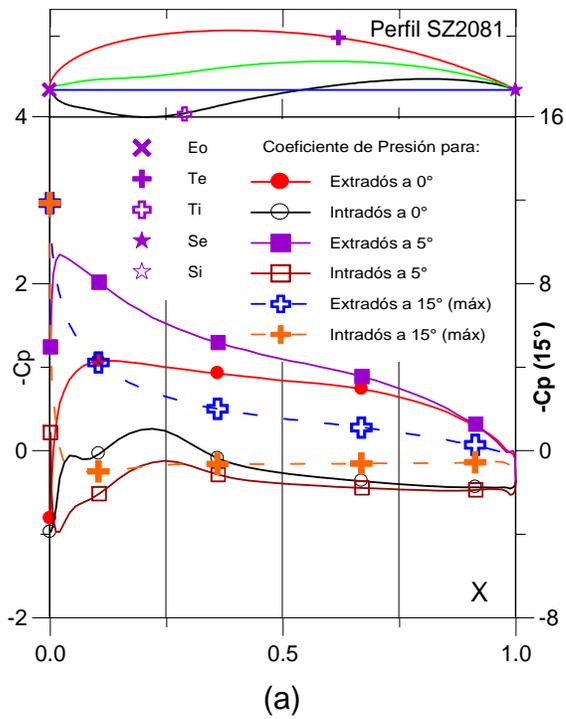


Fig. 5.1.163. (a) C_p (0°, 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2081.

Fig. 5.1.164. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2081.

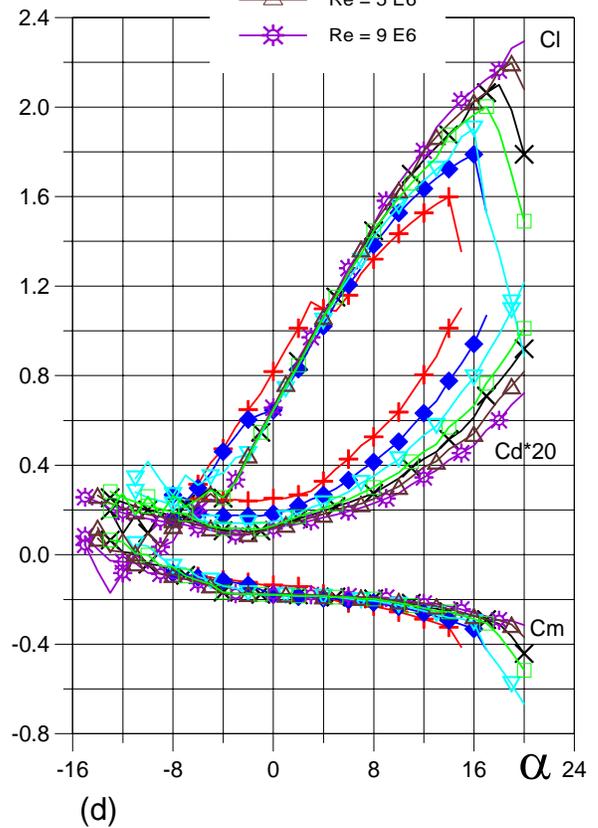
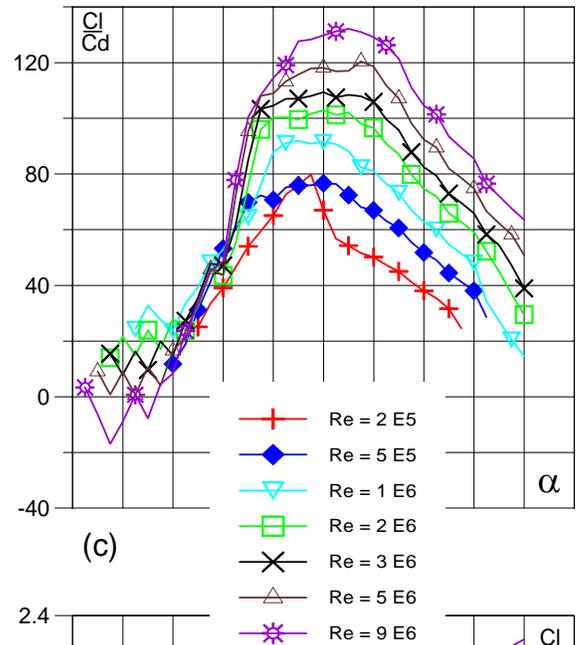
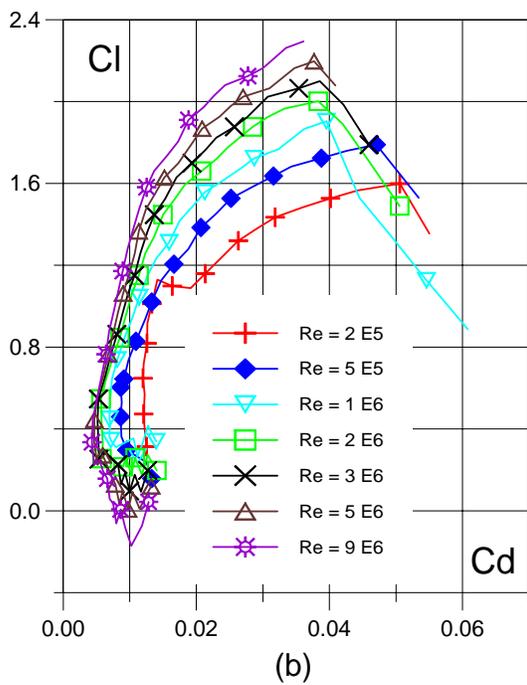
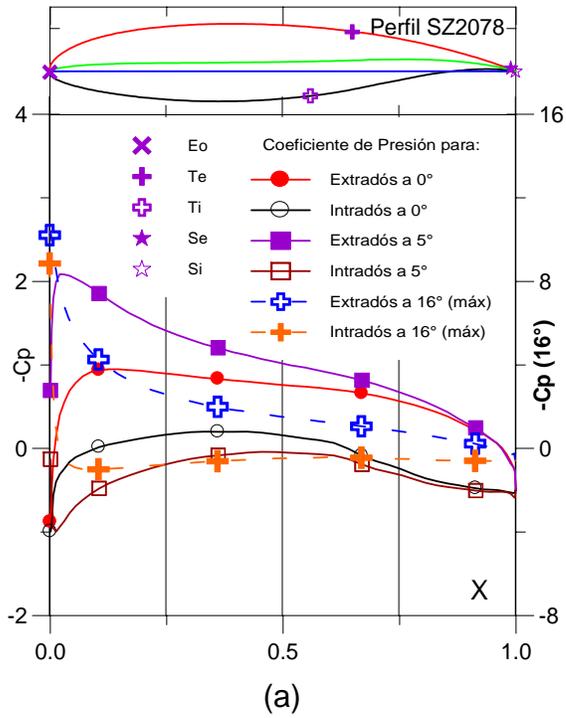


Fig. 5.1.157. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 \text{ E } 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2078.

Fig. 5.1.158. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs.  del Perfil SZ - 2078.

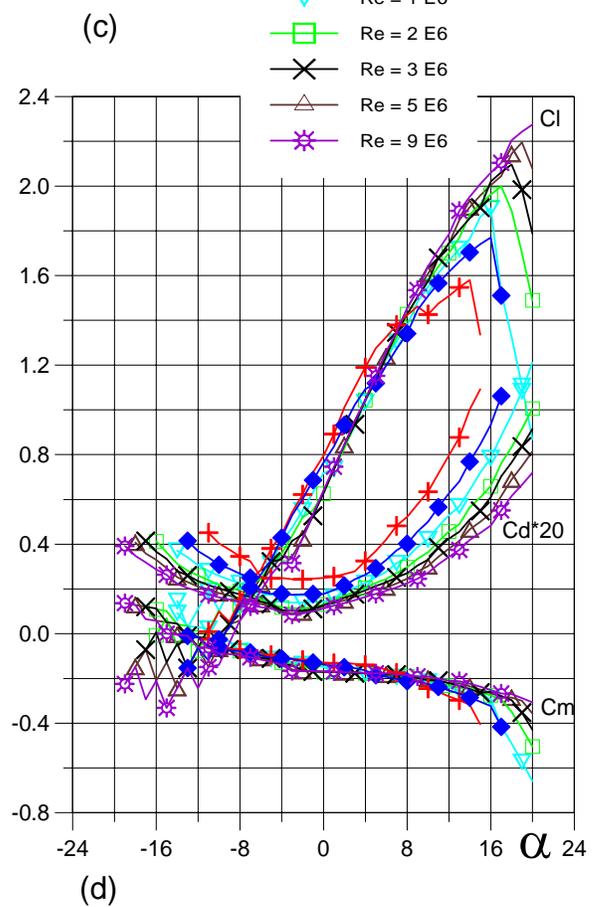
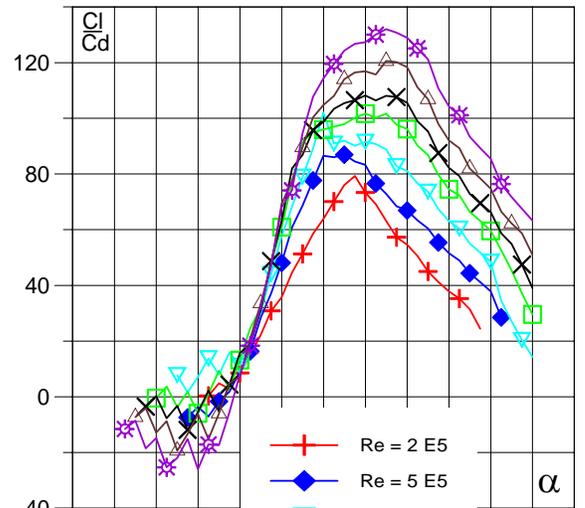
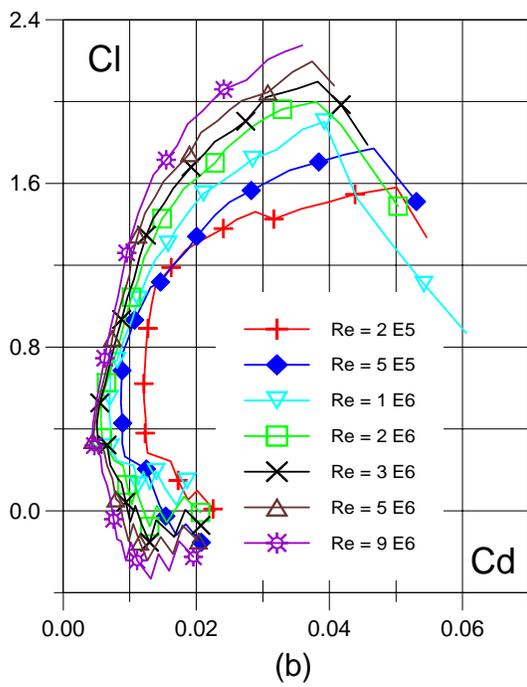
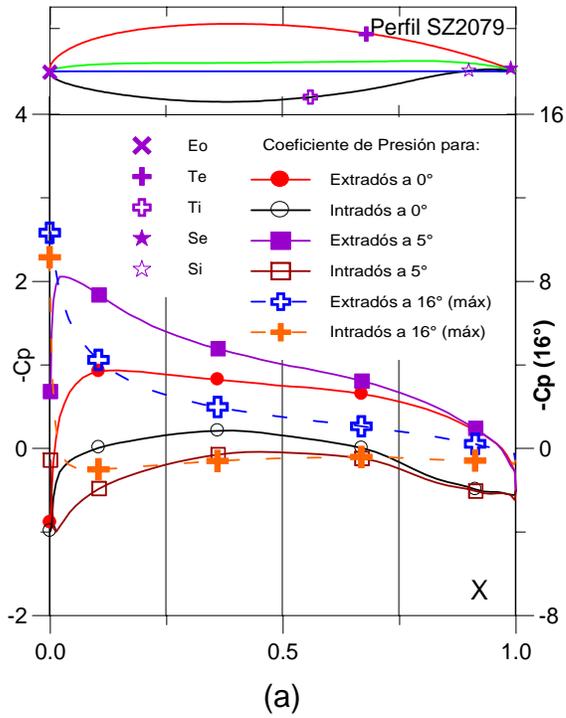


Fig. 5.1.159. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2079.

Fig. 5.1.160. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2079.

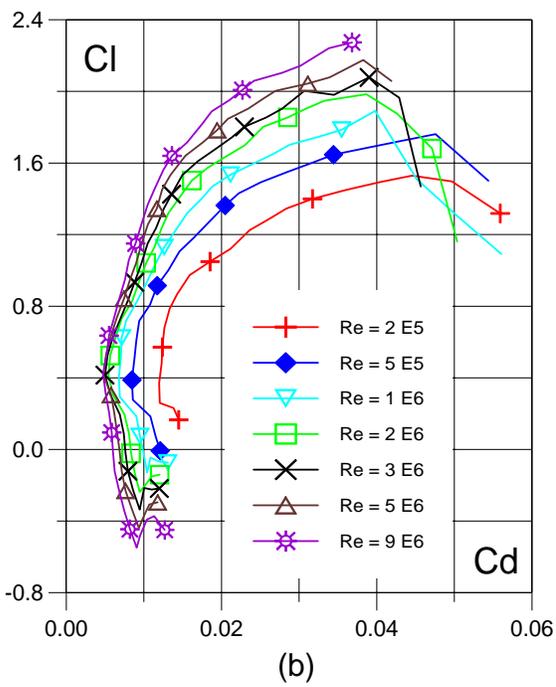
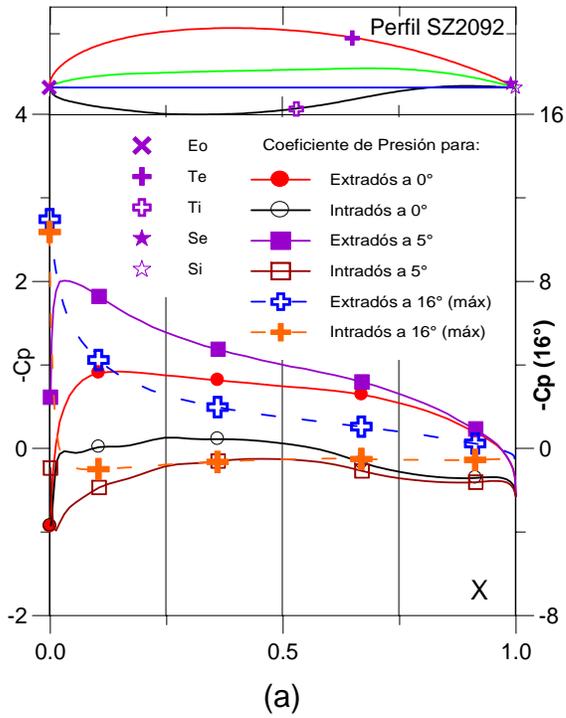


Fig. 5.1.185. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cp_{máx} a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2092.

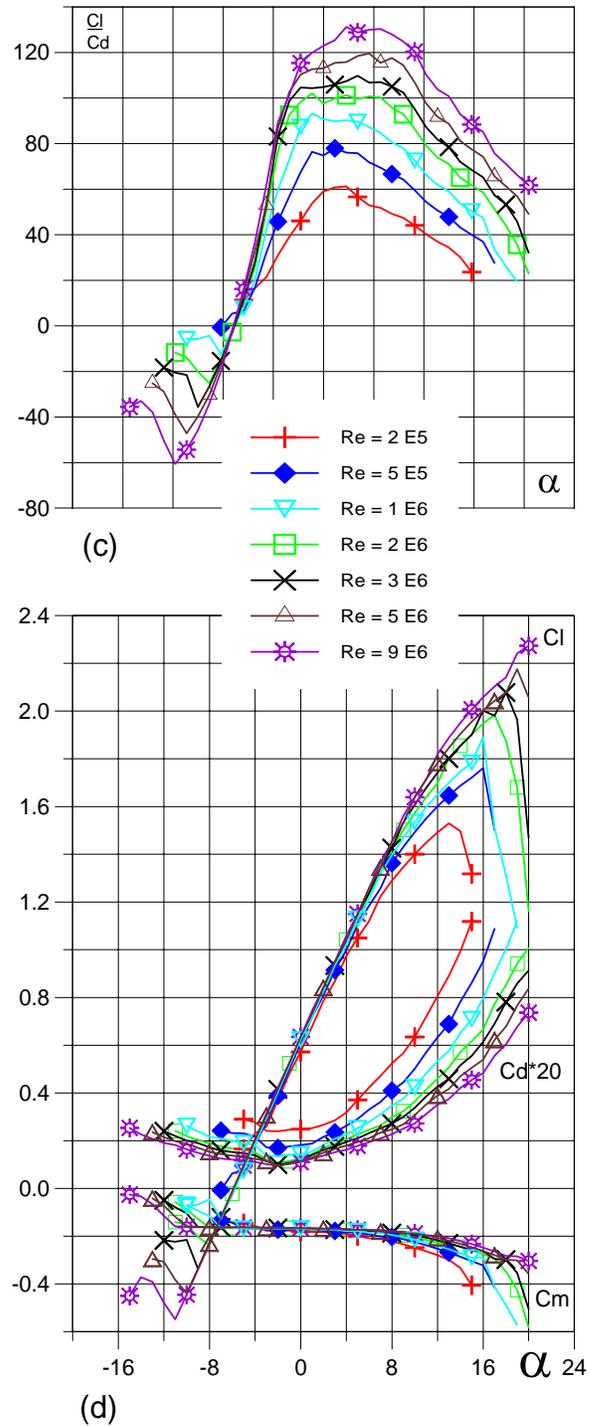


Fig. 5.1.186. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2092.

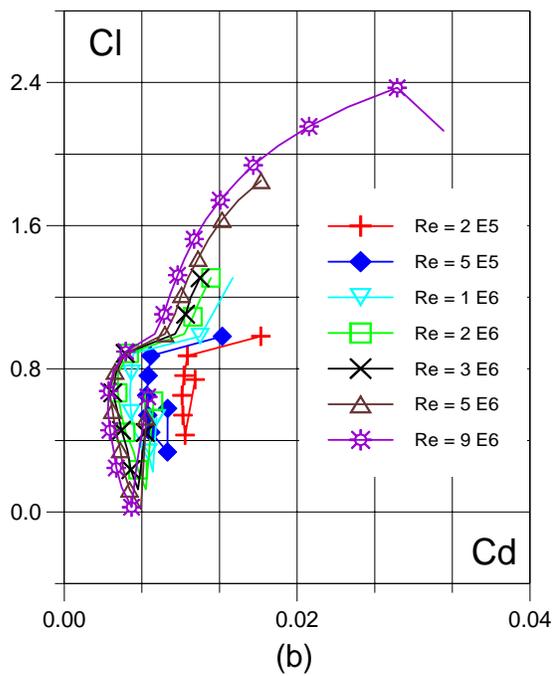
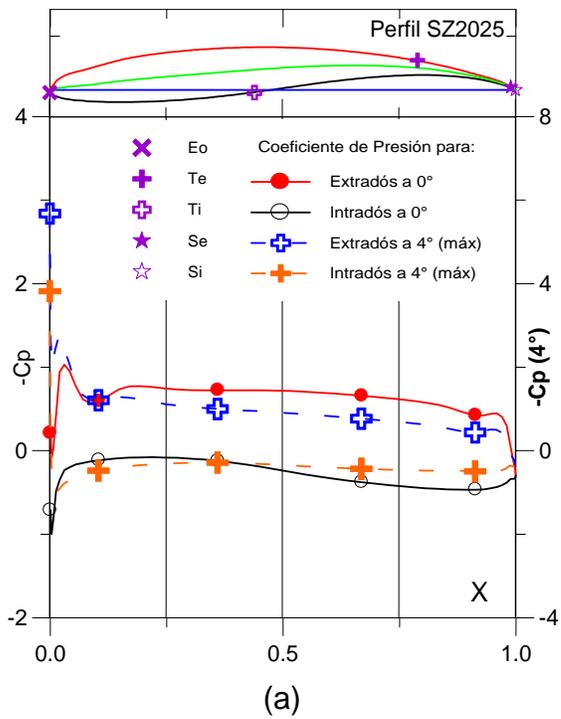


Fig. 5.1.51. (a) C_p (0° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2025.

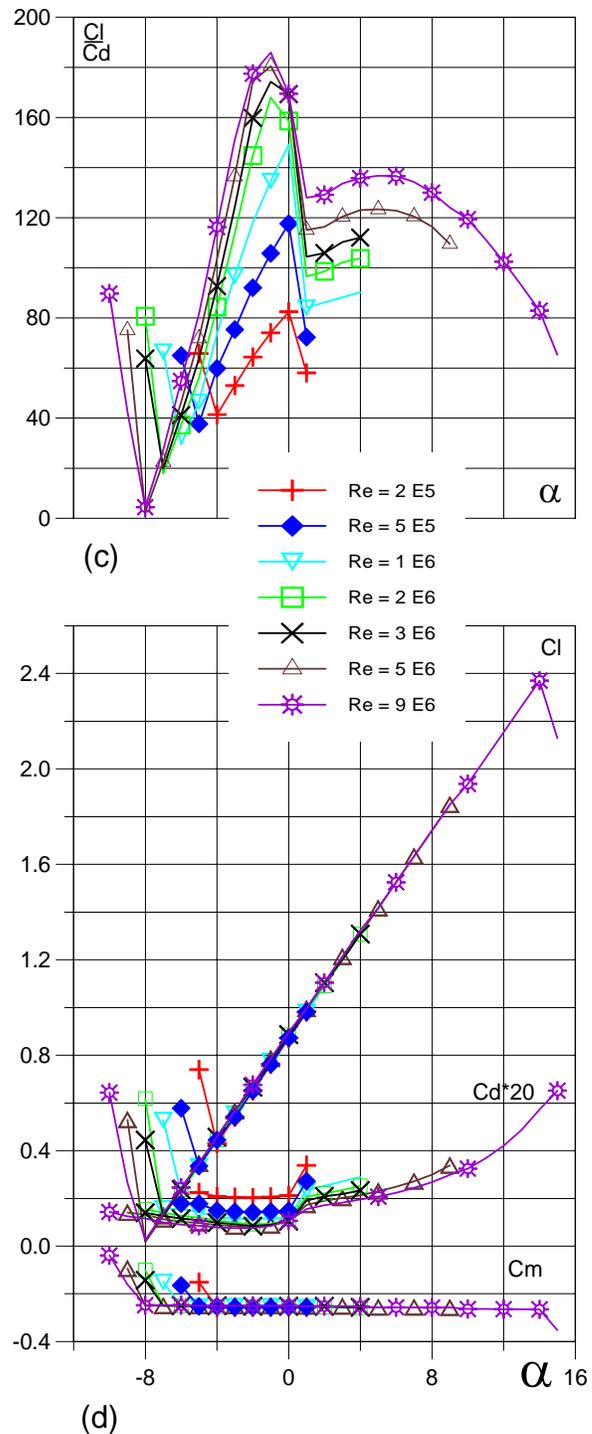


Fig. 5.1.52. (c) Curvas de C_l/C_d y (d) C_l , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del perfil SZ - 2025.

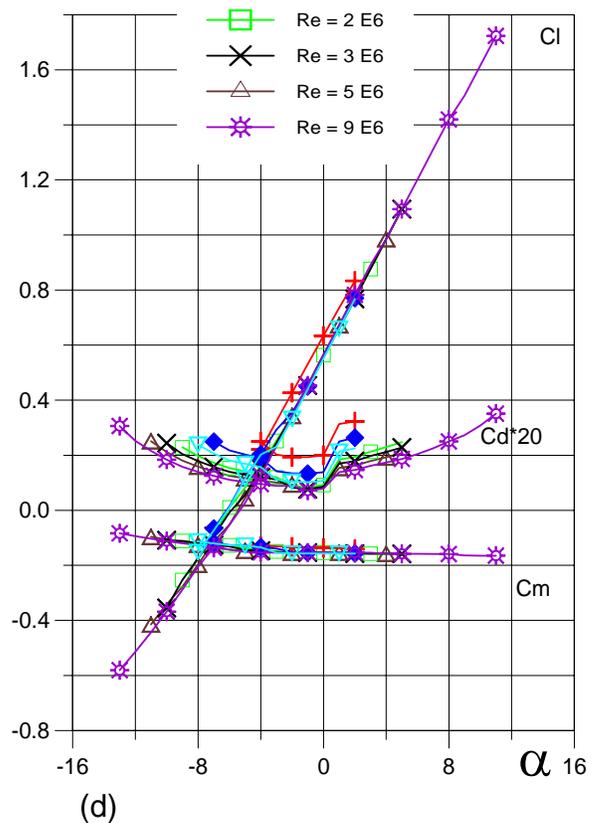
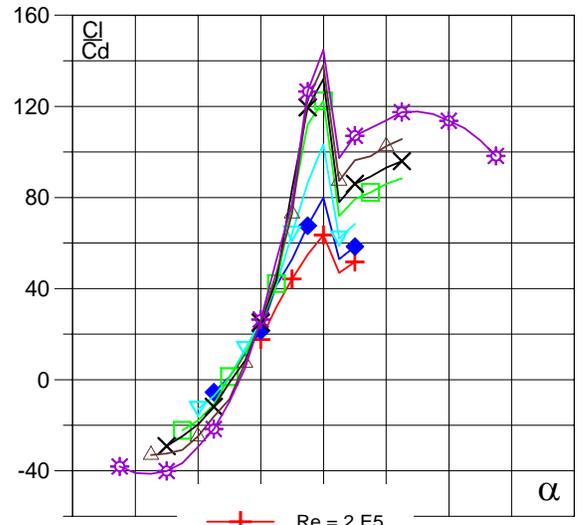
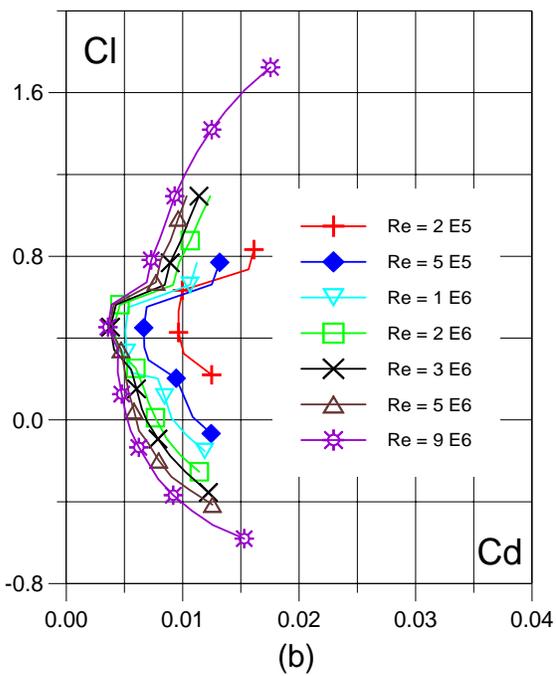
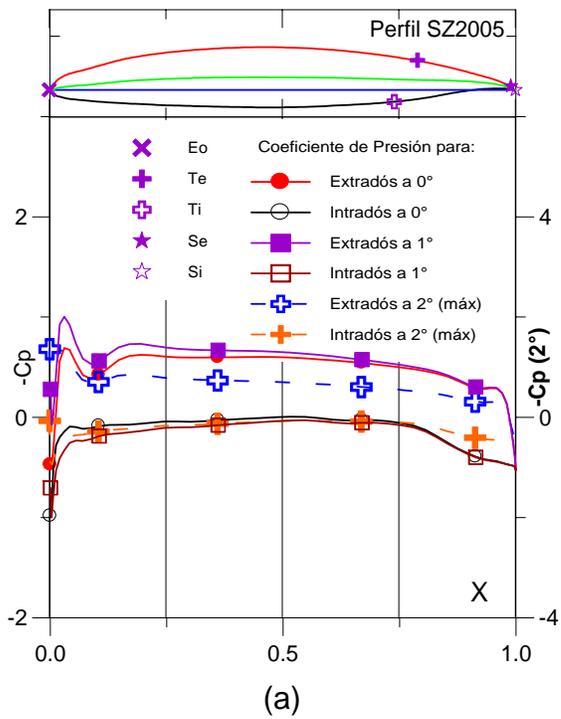


Fig. 5.1.11. (a) C_p (0° , 1° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2005.

Fig. 5.1.12. (c) Curvas de Cl/C_d y (d) Cl , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2005.

5.2 Curvas Características de los perfiles de la serie SZ-2100:

De igual forma que en el capítulo anterior se guardaron todos los archivos de datos y se trazaron las curvas de los perfiles para la serie SZ – 2100. Aplicando el mismo procedimiento que en el subcapítulo anterior se presentan los resultados del ordenamiento de la serie según los parámetros geométricos y aerodinámicos seleccionados. Para esta serie se obtienen los siguientes rangos en los parámetros geométricos ordenados:

La curvatura máxima ($f_{\text{máx}}$) oscila entre 1.9765 (para el perfil SZ2190) y 7.605 (para el perfil SZ2125) en % de la cuerda.

La posición del punto donde es máxima la curvatura media ($Xf_{\text{máx}}$) varía entre 0.366 (para el perfil SZ2129) y 0.799 (para SZ2137).

El espesor máximo ($e_{\text{máx}}$) está entre 8.4705 (para el perfil SZ2125) y 19.846 (para el perfil SZ2127) expresando este valor en % de c.

La posición del espesor máximo ($Xe_{\text{máx}}$) lo encontramos entre 0.239 (para el perfil SZ2125) y 0.468 (para SZ2138).

El área (consecuencia del espesor máximo) muestra valores que van desde 0.0507 (para SZ2125) hasta 0.1378 (para el perfil SZ2127) observándose que los perfiles se encuentran casi en las mismas posiciones que en la tabla donde se ordenan según $e_{\text{máx}}$.

Las propiedades aerodinámicas para un régimen de flujo de $Re = 1 \times 10^6$ mostraron los siguientes resultados en cuanto al ordenamiento de los parámetros seleccionados:

La sustentación máxima ($C_{L\text{máx}}$) fluctúa entre 1.2083 (para SZ2151) y 2.2321 (para el perfil SZ2185).

El ángulo para el cual la sustentación es máxima (α_M) reporta valores desde 10° (para los perfiles SZ2184 y SZ2166) y 18° (para SZ2190).

La fineza aerodinámica máxima (ϵ_M) presenta variación en el rango 66.028 (en el perfil SZ2194) – 153.12 (para SZ2125).

El valor del arrastre mínimo ($C_{D\text{mín}}$) se mueve entre 0.00549 (para SZ2139) y 0.00784 (en el caso del perfil SZ2132).

A continuación se presentan las curvas características de los perfiles que presentaron las características especiales mencionadas arriba, el resto de las curvas características de esta serie se encuentran en el anexo A - 9.

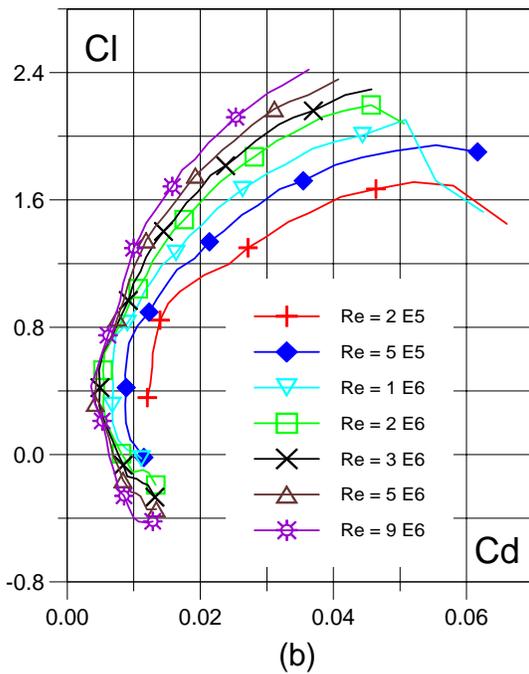
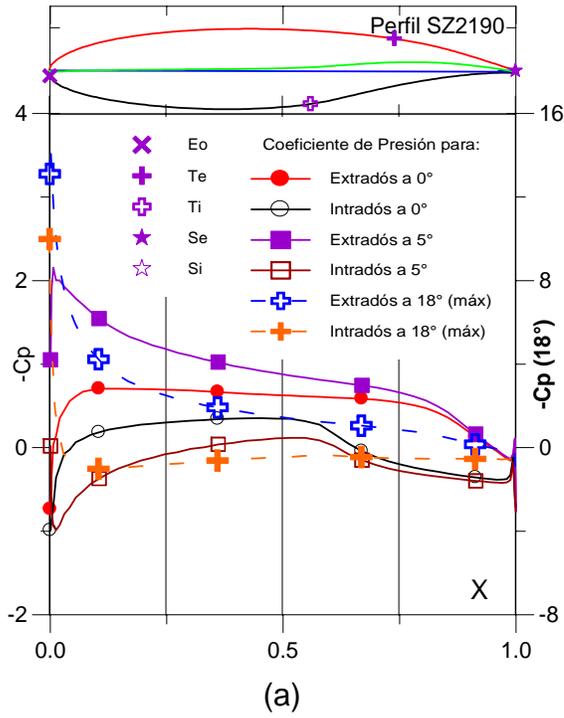


Fig. 5.2.181. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2190.

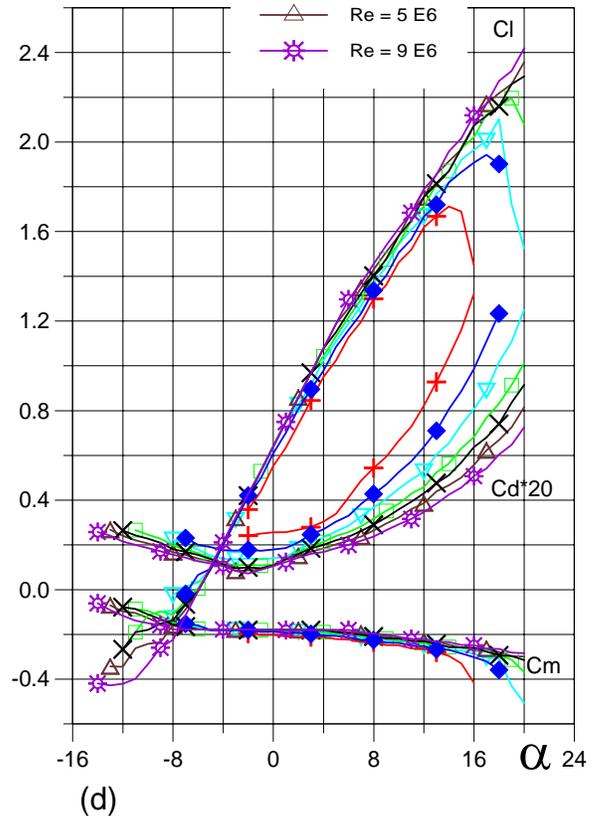
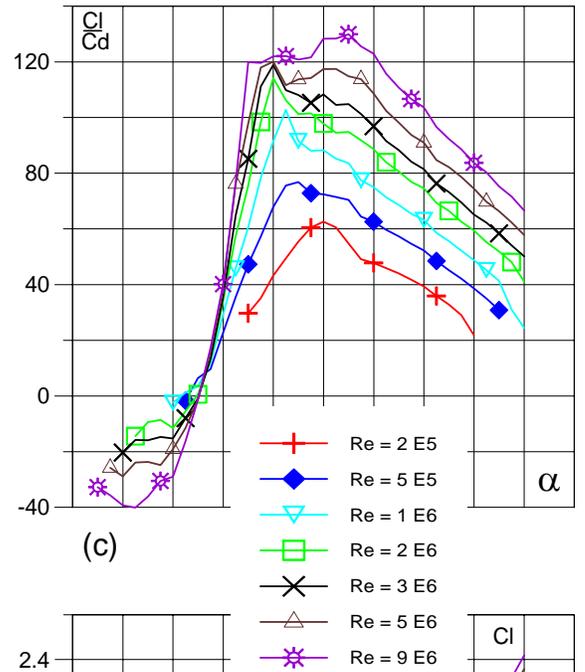


Fig. 5.2.182. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2190.

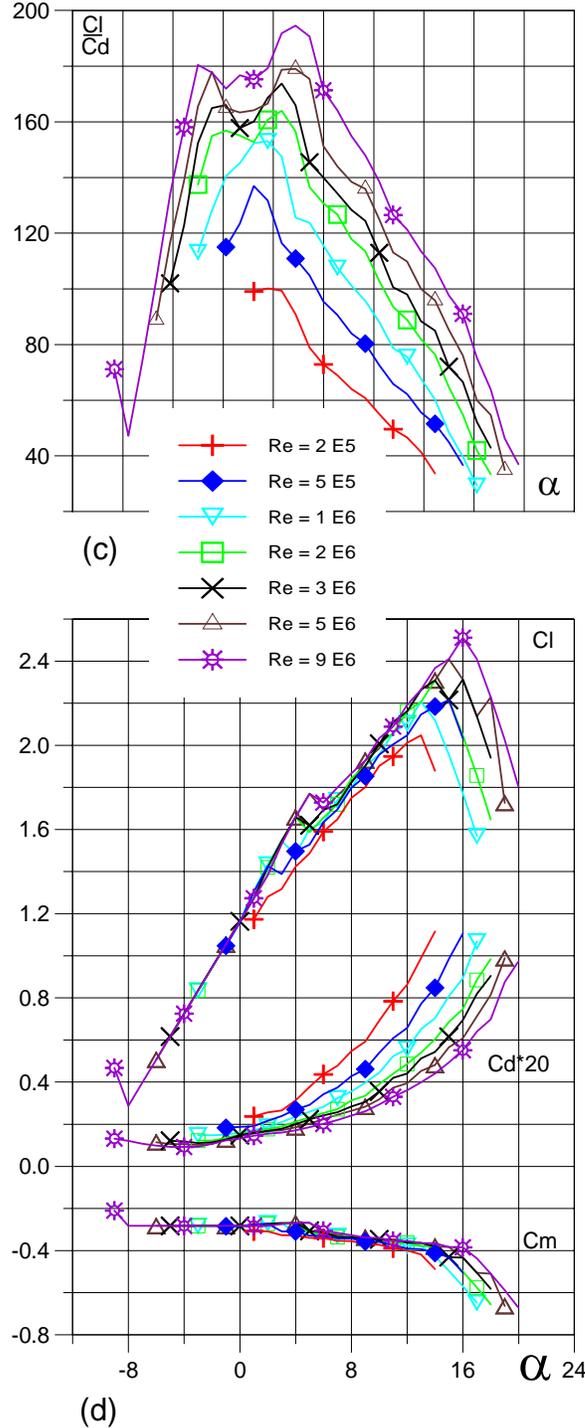
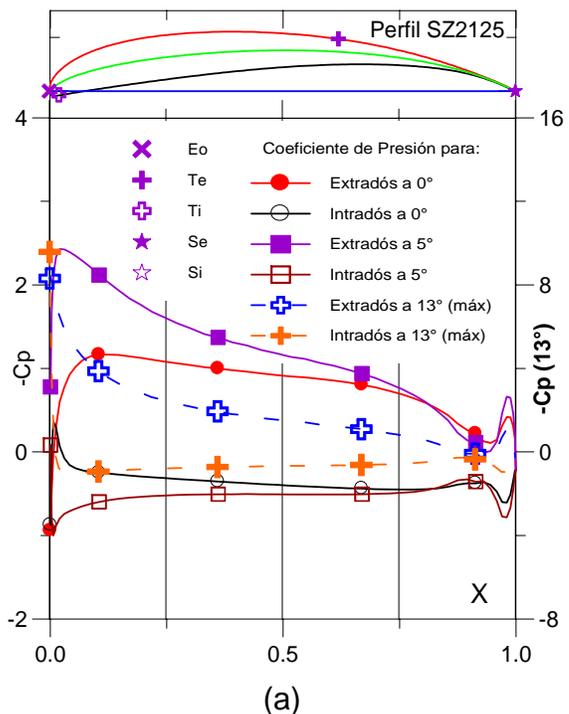


Fig. 5.2.51. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cp máx a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2125.

Fig. 5.2.52. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2125.

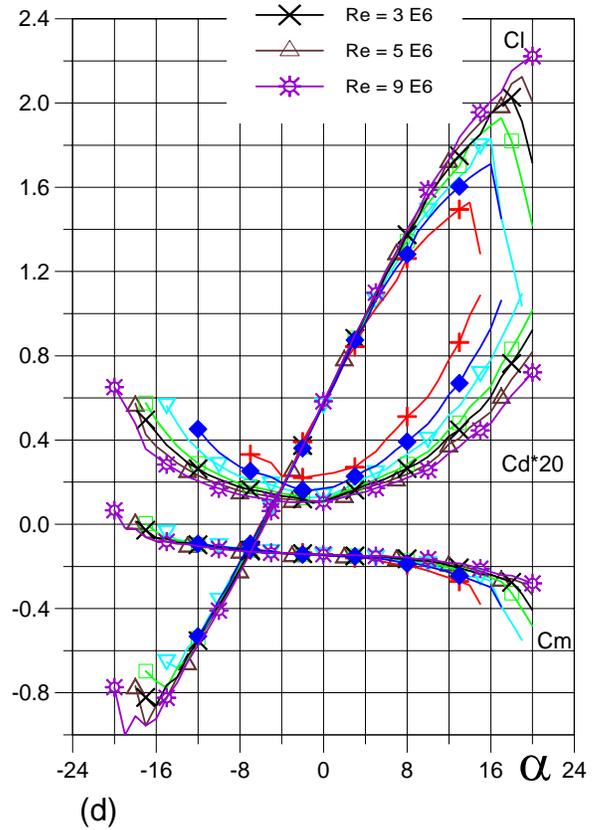
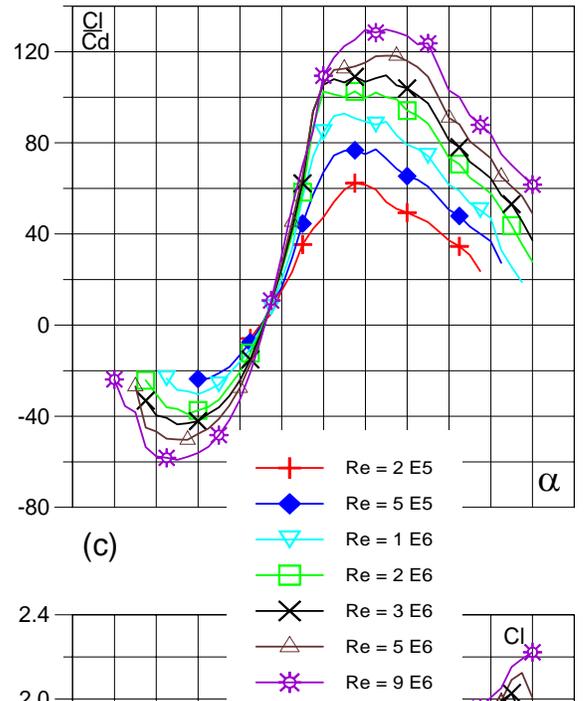
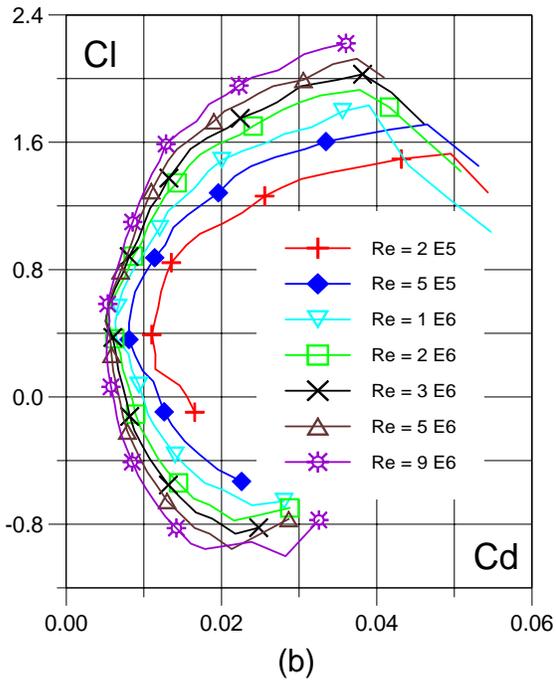
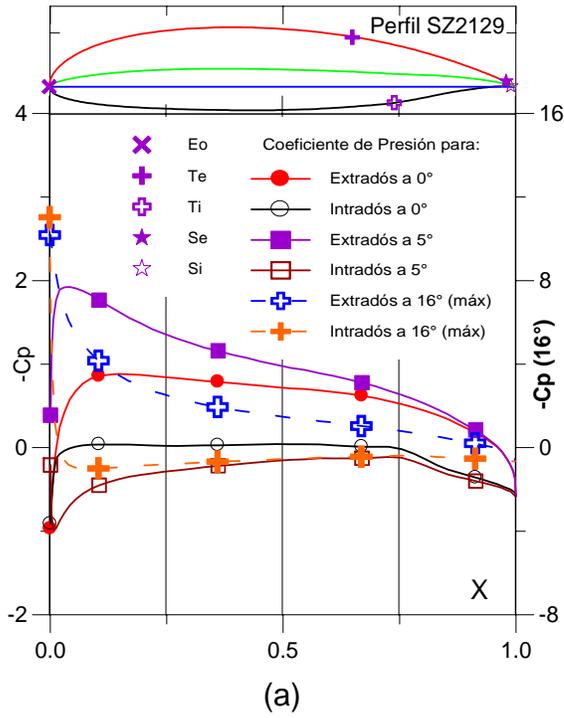


Fig. 5.2.59. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2129.

Fig. 5.2.60. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2129.

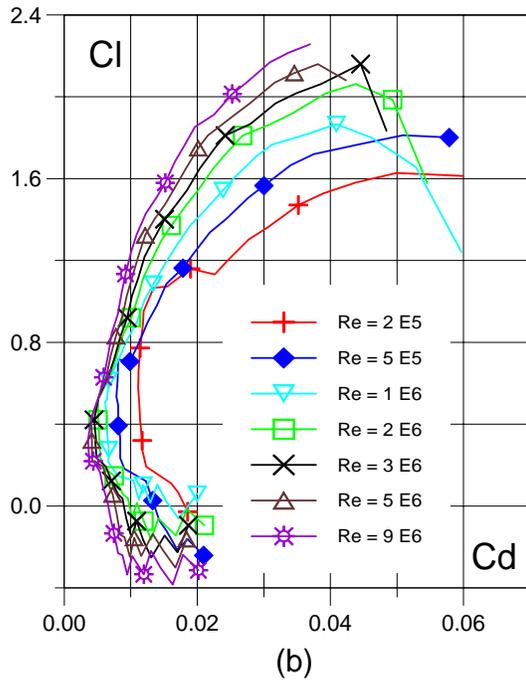
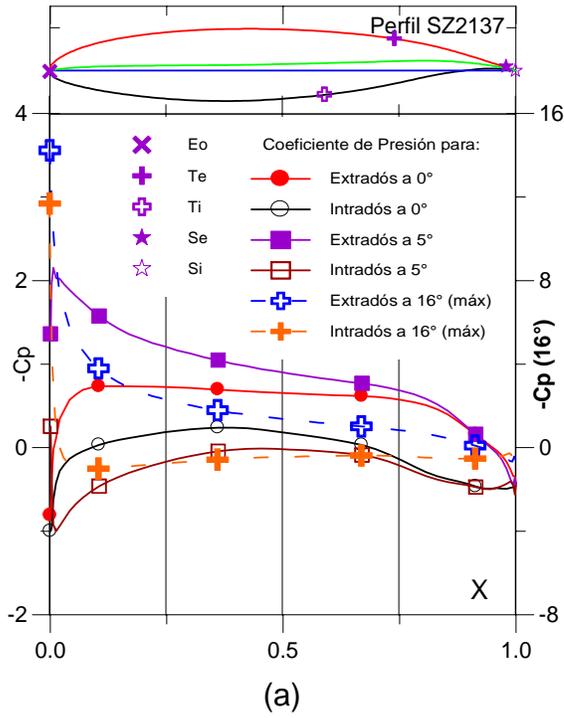


Fig. 5.2.75. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2137.

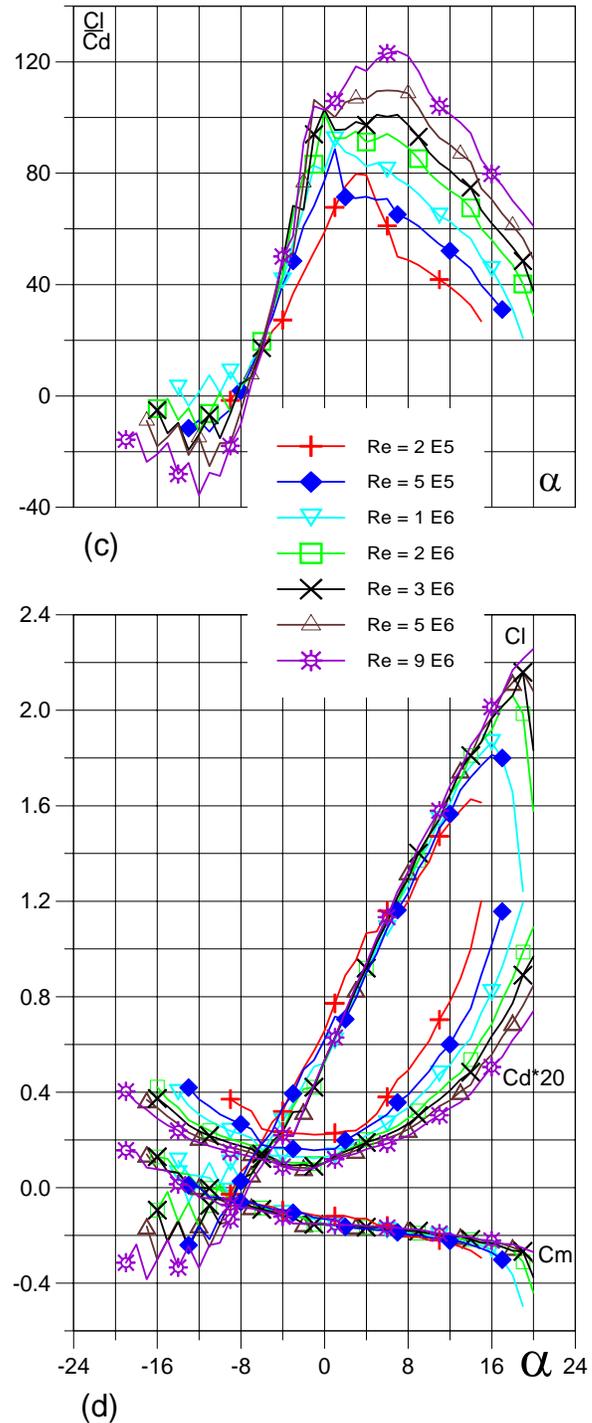


Fig. 5.2.76. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2137.

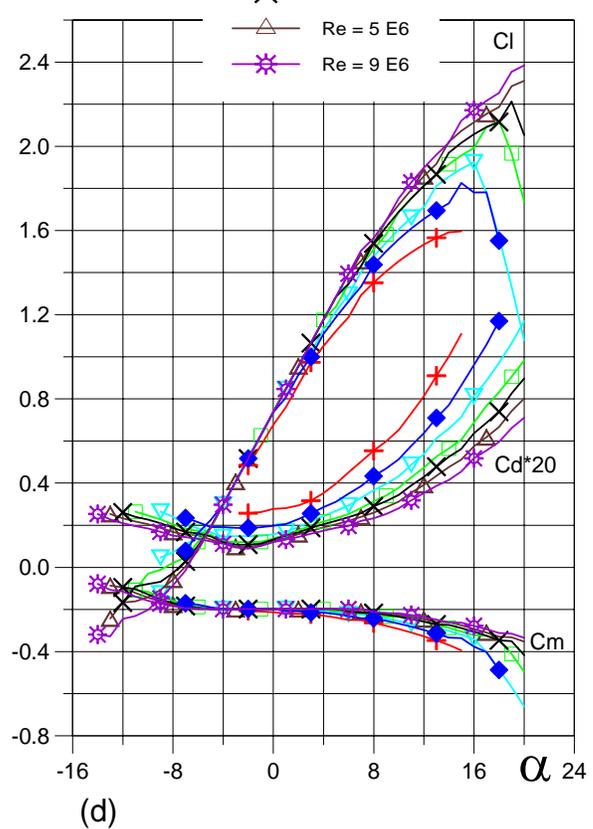
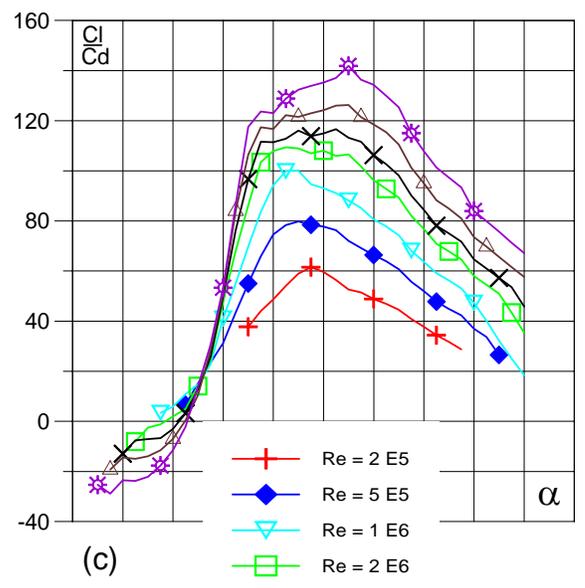
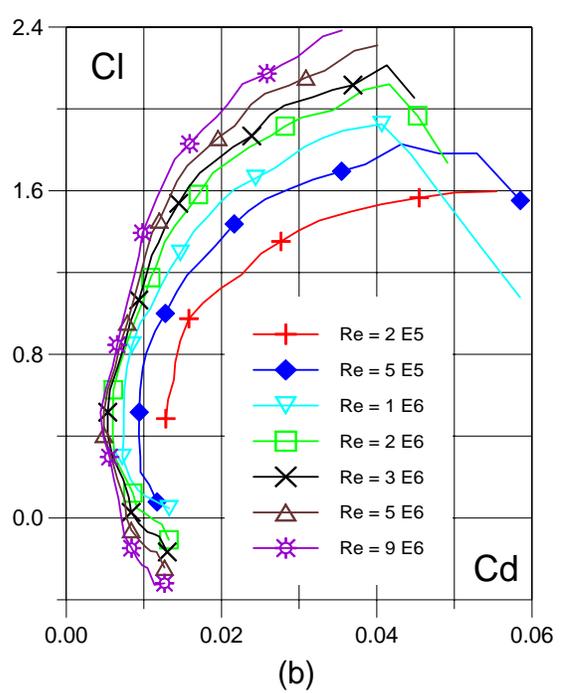
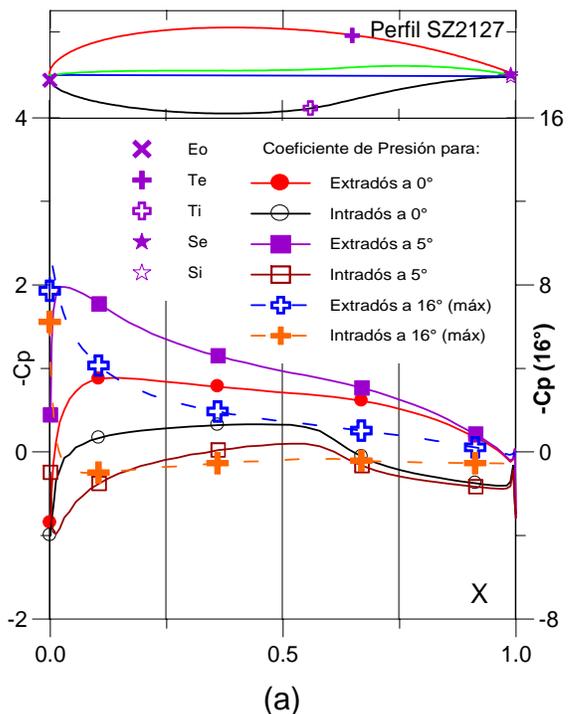


Fig. 5.2.55. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2127.

Fig. 5.2.56. (c) Curvas de Cl/Cd y Cl vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2127. (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2127.

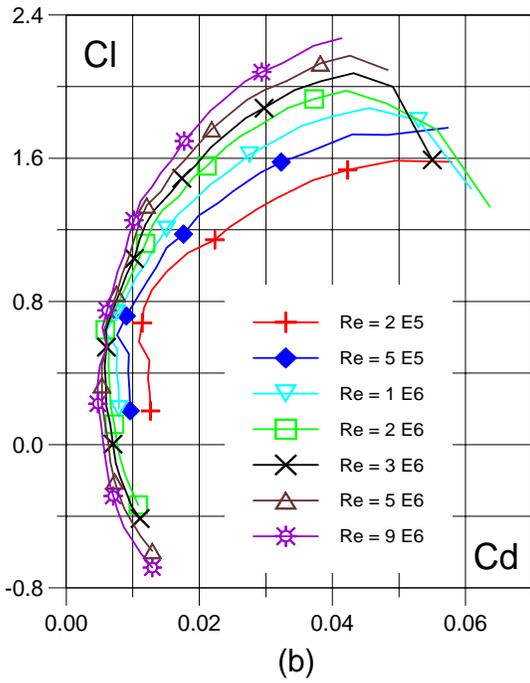
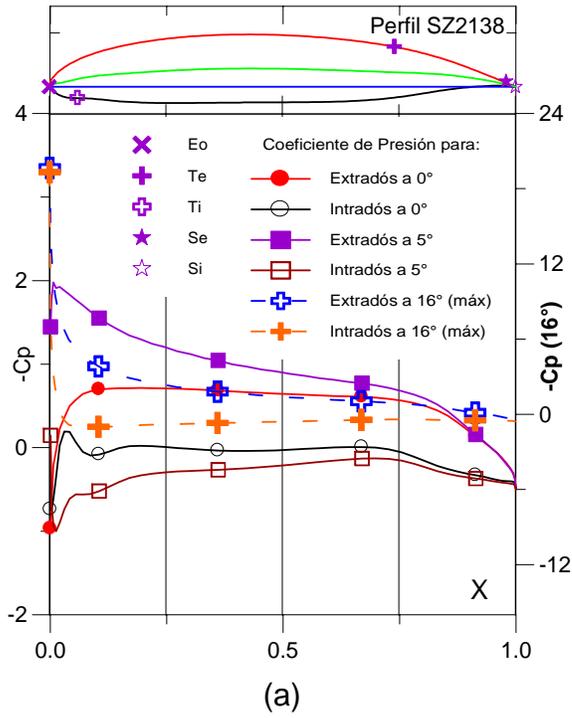


Fig. 5.2.77. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2138.

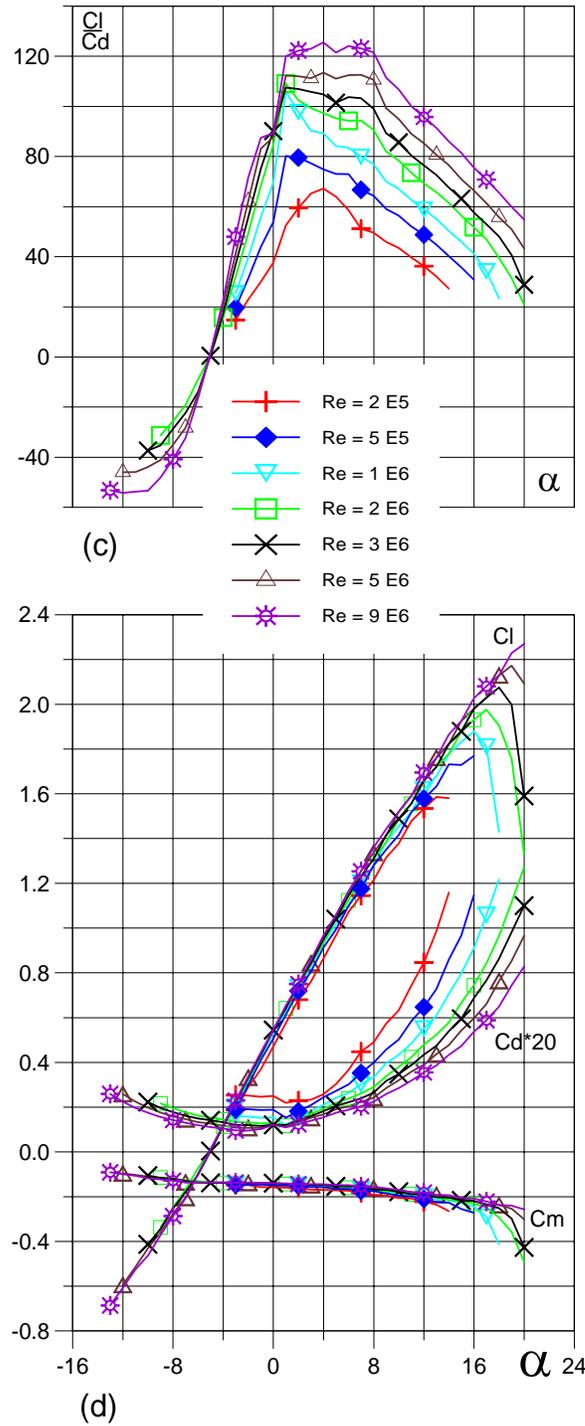


Fig. 5.2.78. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2138.

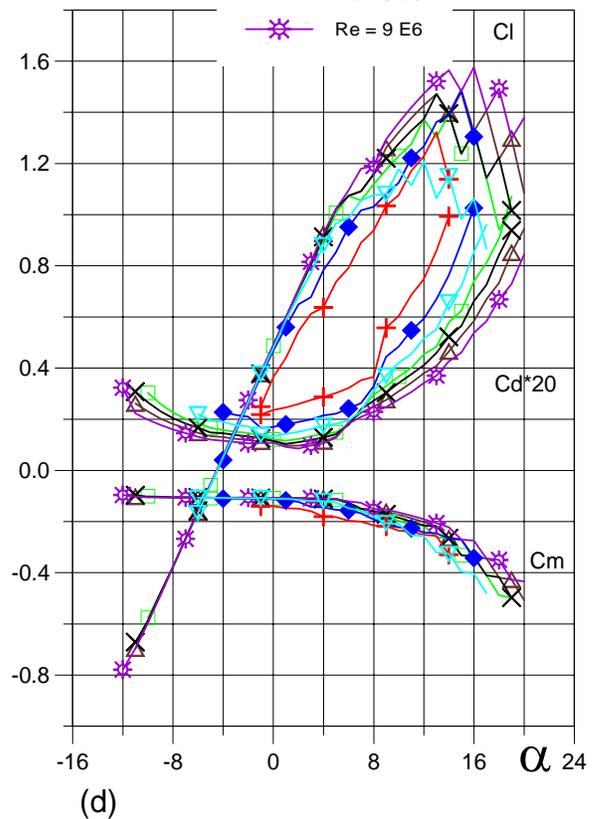
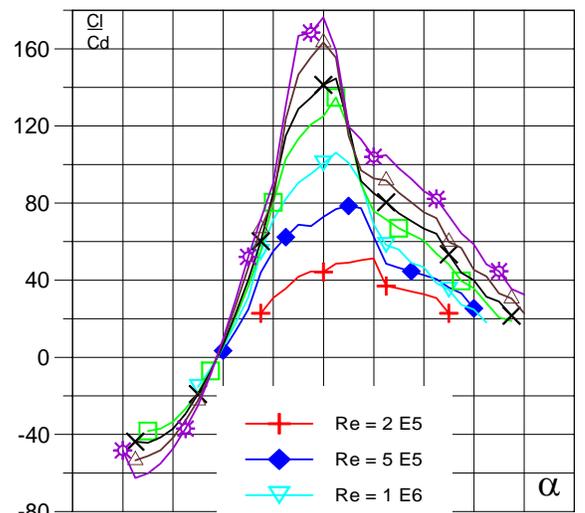
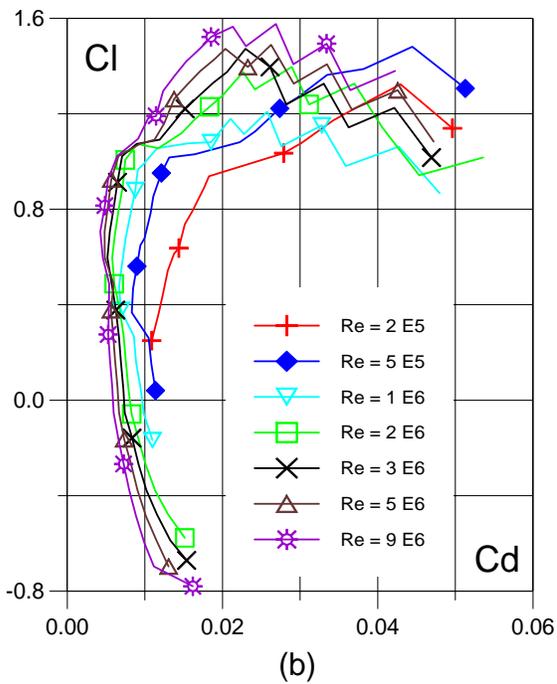
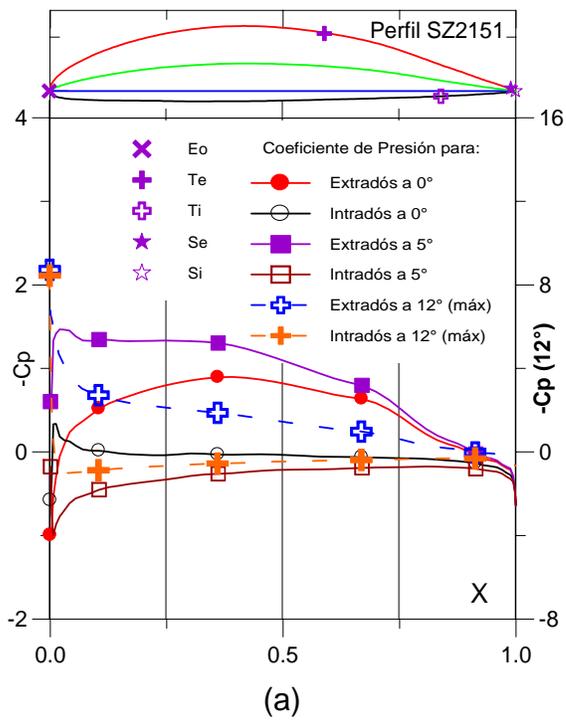


Fig. 5.2.103. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2151.

Fig. 5.2.104. (c) Curvas de Cl/Cd y Cd vs. ngulo de ataque del Perfil SZ - 2151.

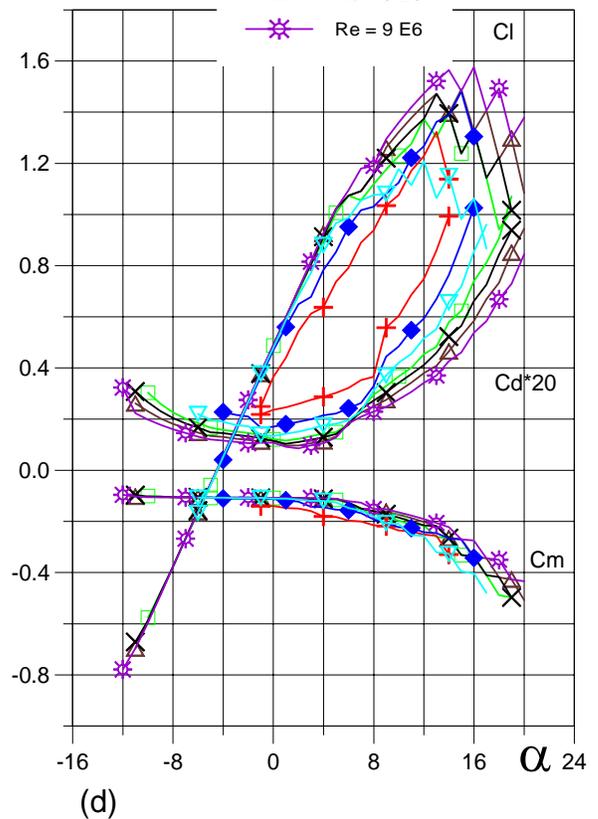
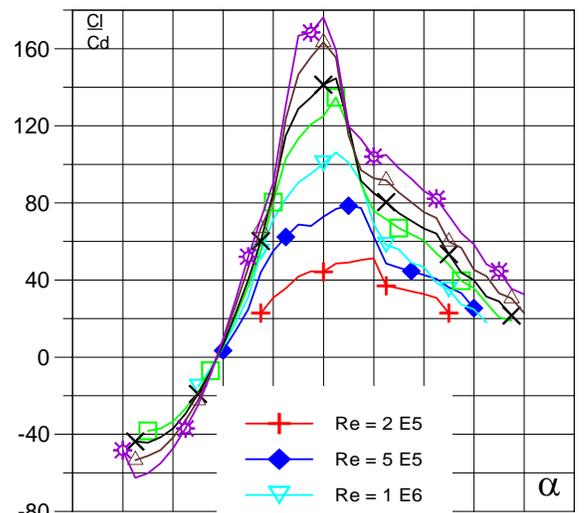
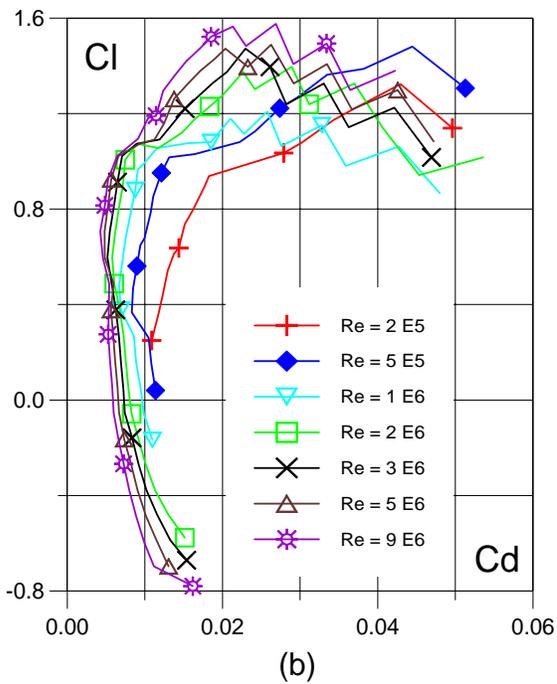
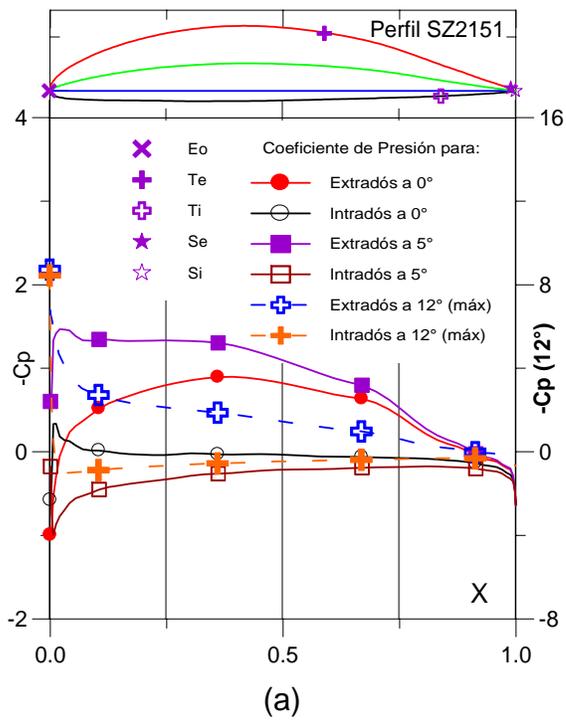


Fig. 5.2.103. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2151.

Fig. 5.2.104. (c) Curvas de Cl/C_d y $C_d \cdot 20$ vs. ngulo de ataque del Perfil SZ - 2151. (d) Cl , C_d , C_m vs. ngulo de ataque del Perfil SZ - 2151.

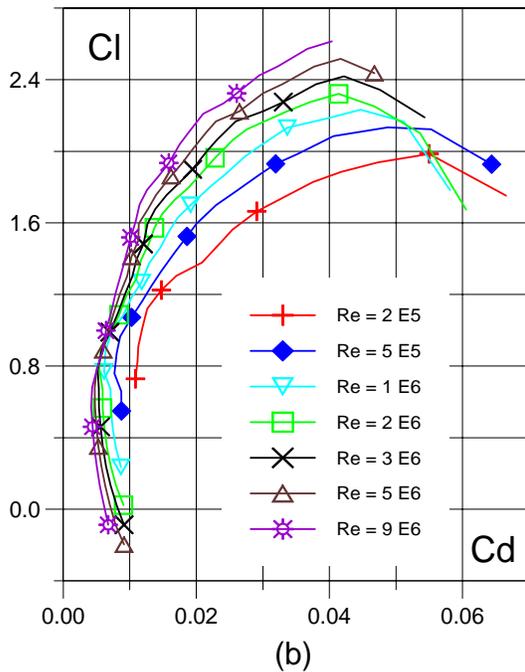
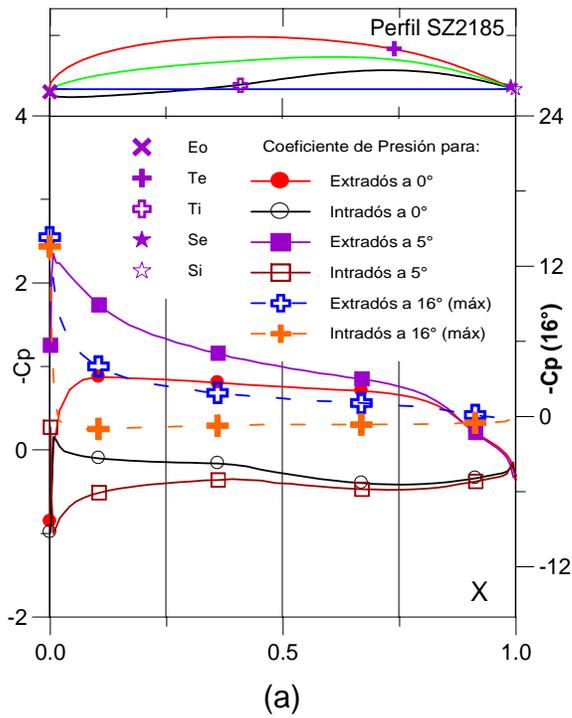


Fig. 5.2.171. (a) C_p (0°, 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2185.

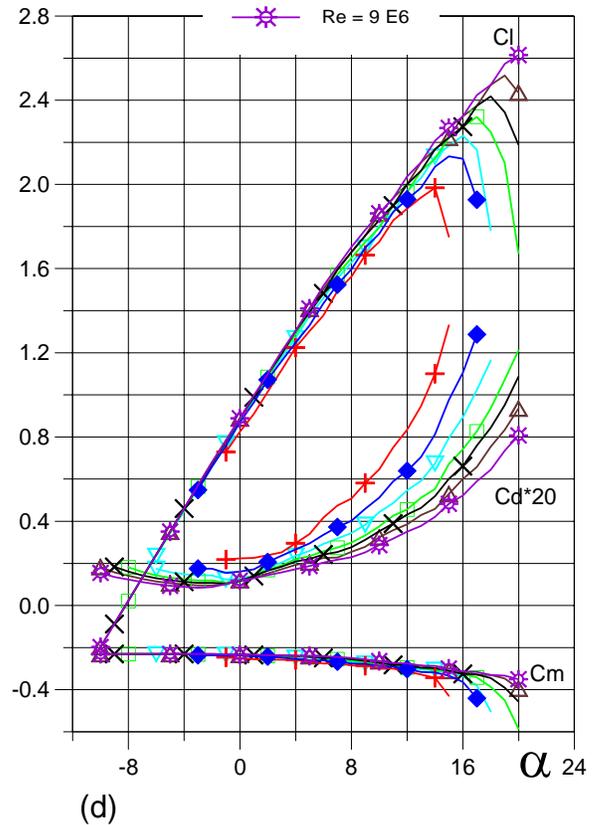
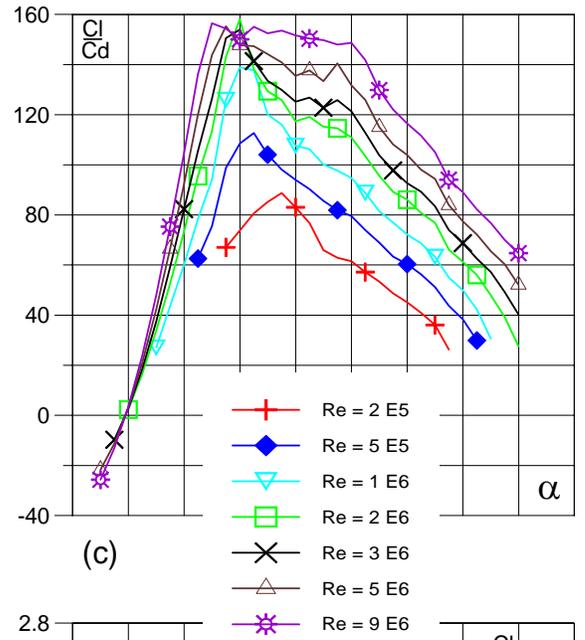


Fig. 5.2.172. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2185.

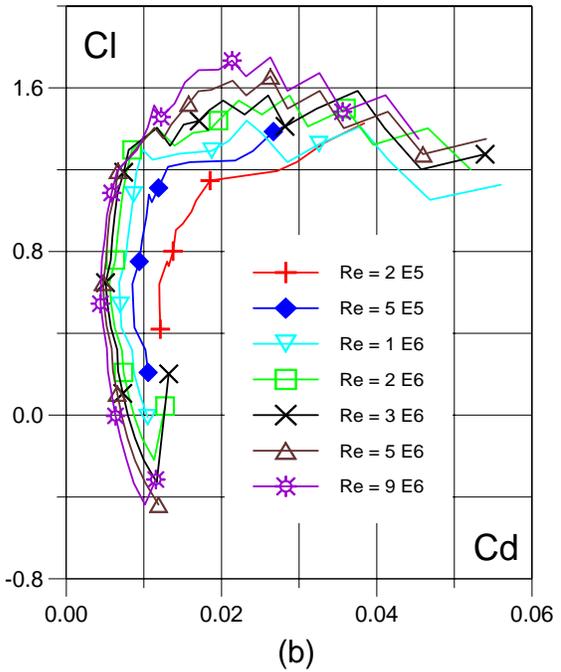
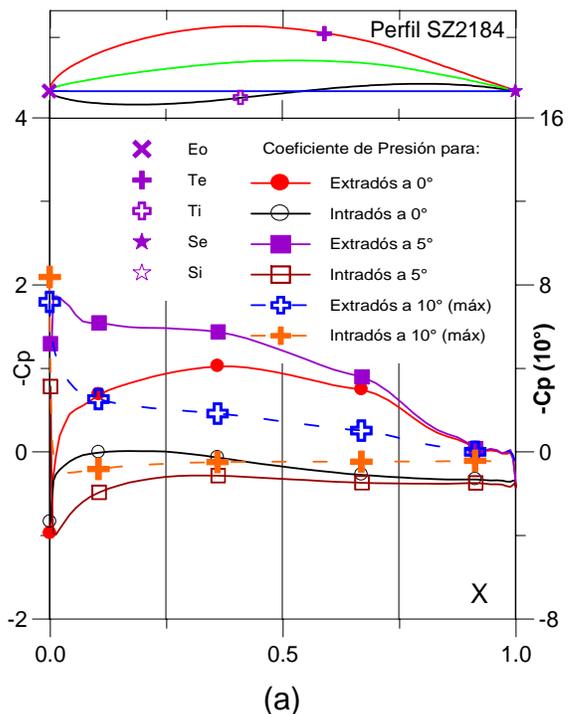


Fig. 5.2.169. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2184.

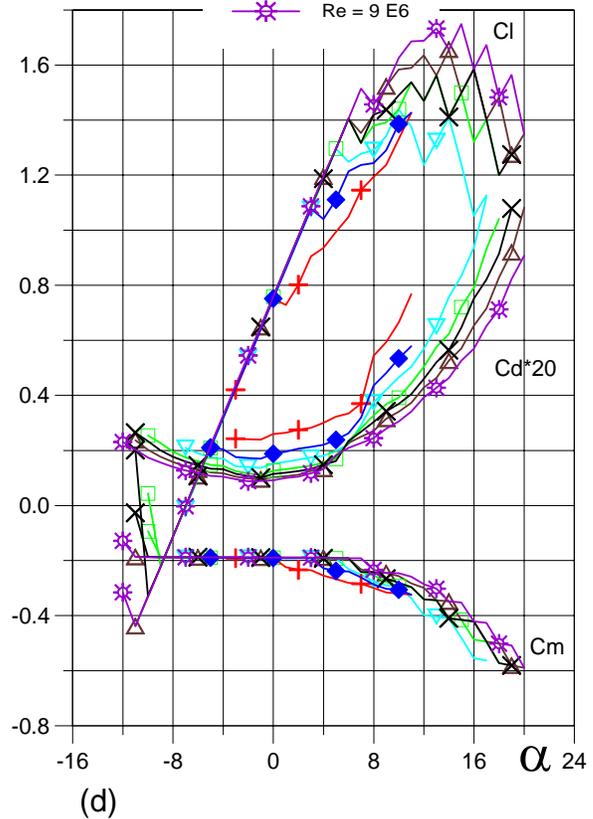
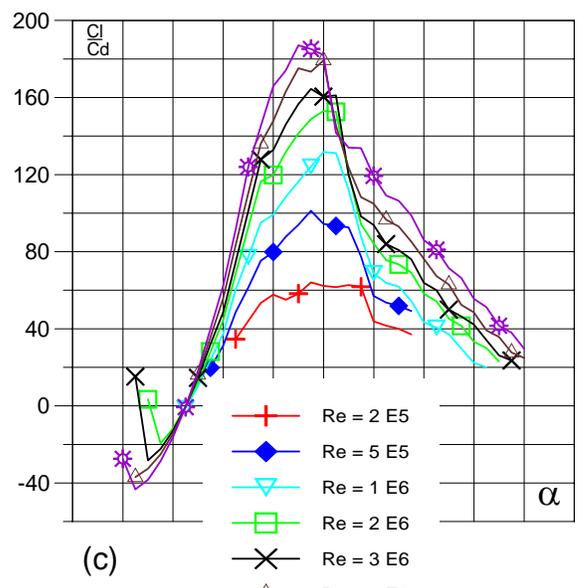


Fig. 5.2.170. (c) Curvas de Cl/C_d y (d) Cl , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2184.

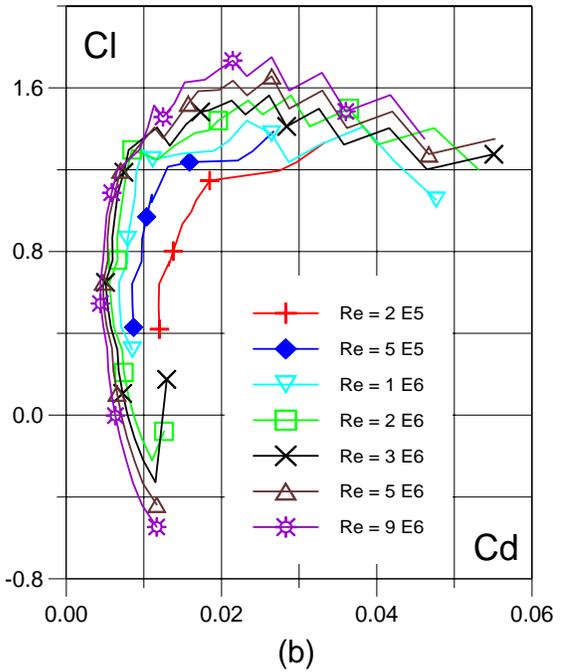
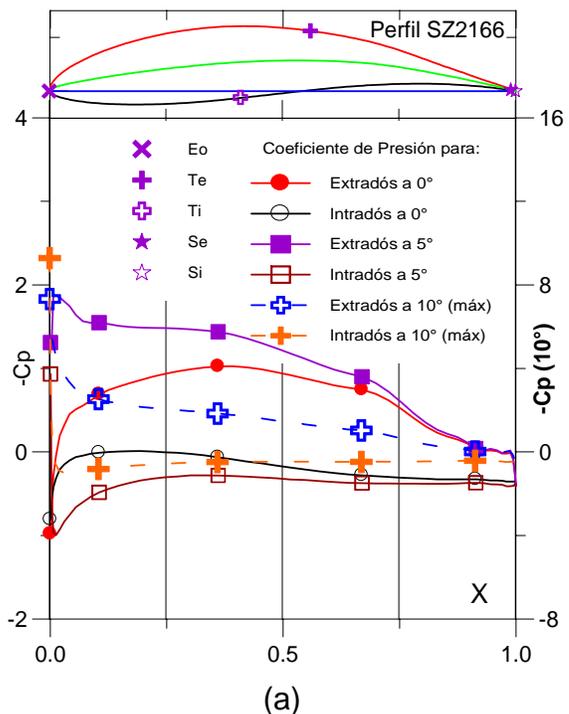


Fig. 5.2.133. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cp máx a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2166.

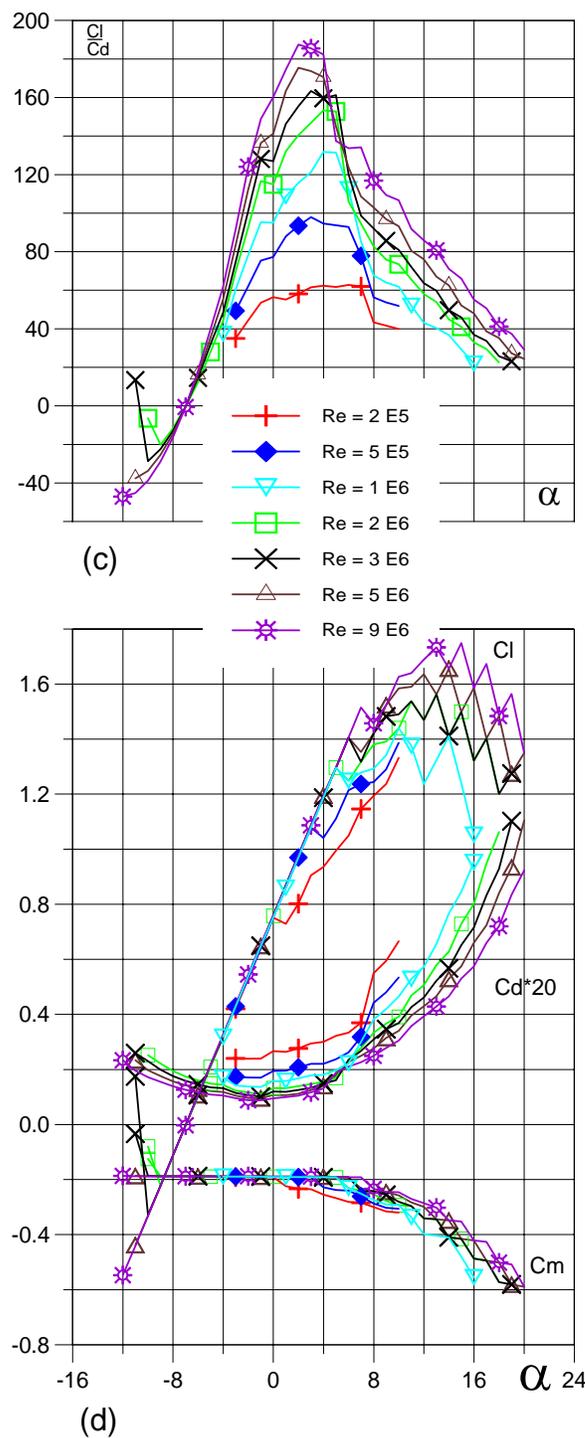


Fig. 5.2.134. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2166.

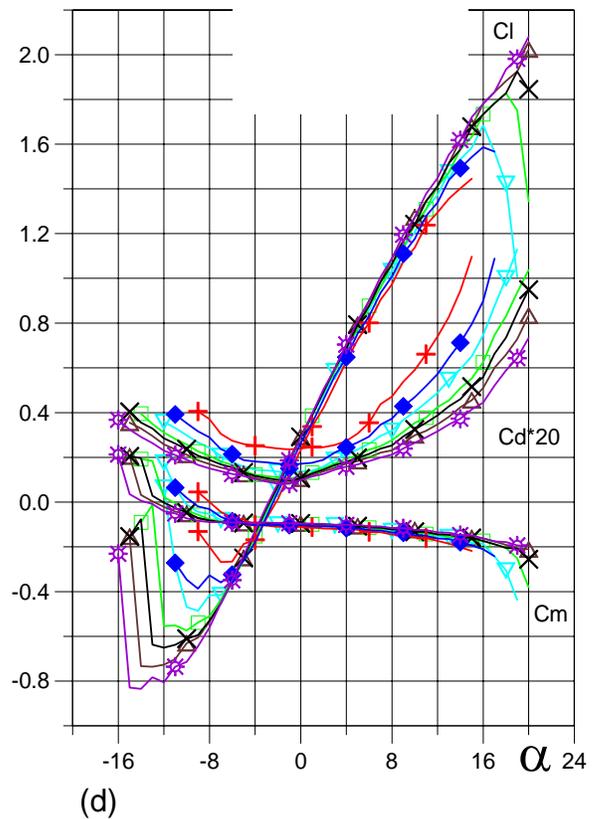
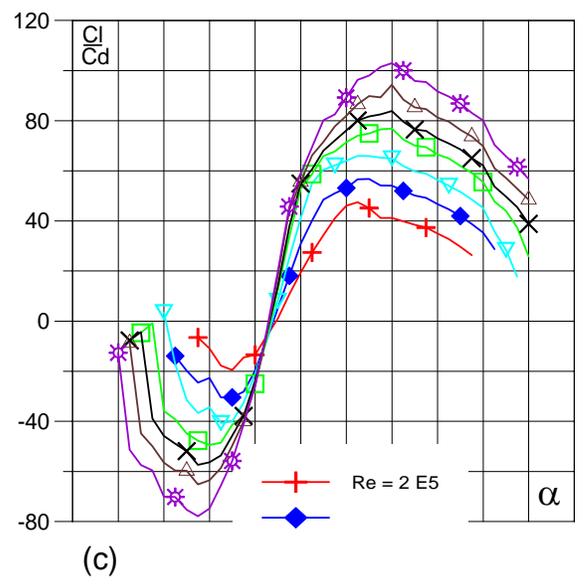
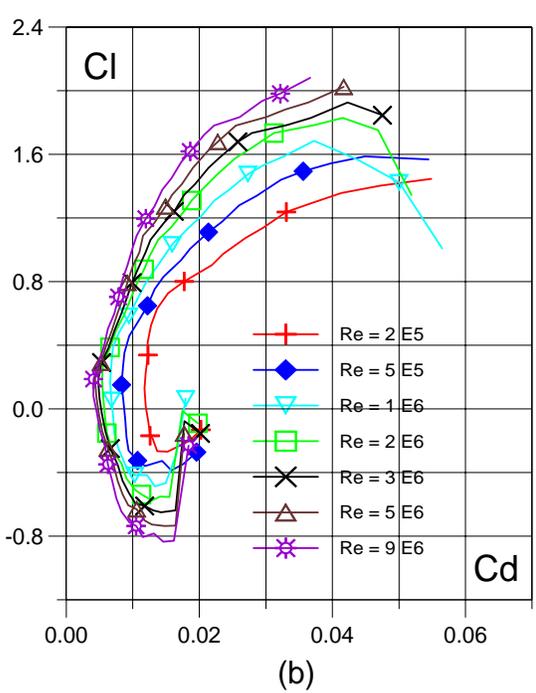
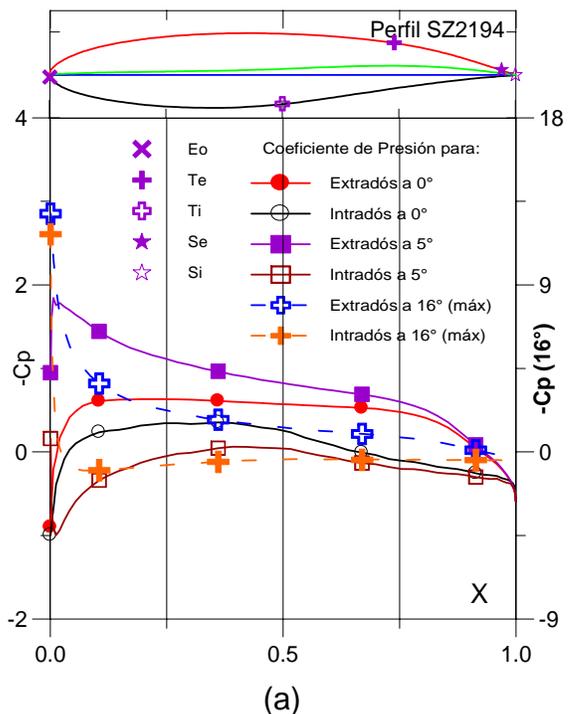


Fig. 5.2.189. (a) C_p (0°, 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2194.

Fig. 5.2.190. (c) Curvas de C_l/C_d y (d) C_l , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil SZ - 2194.

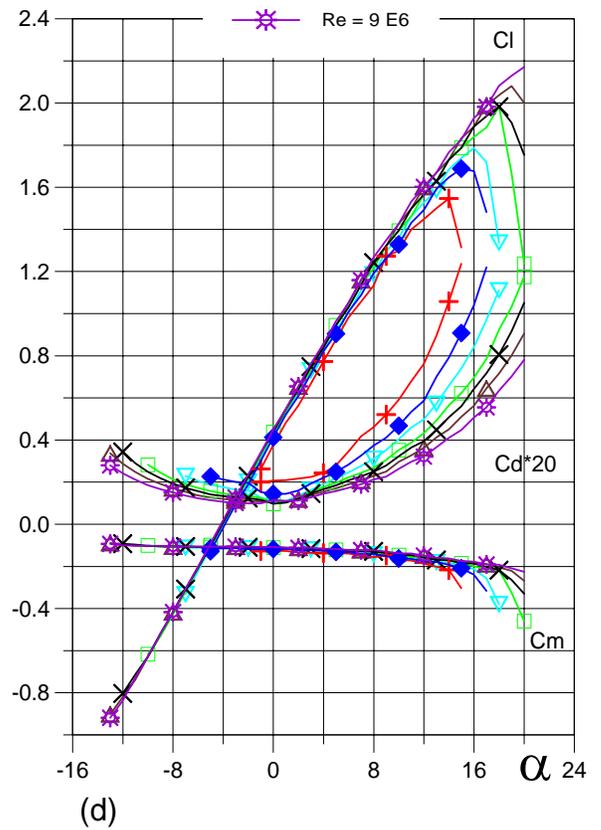
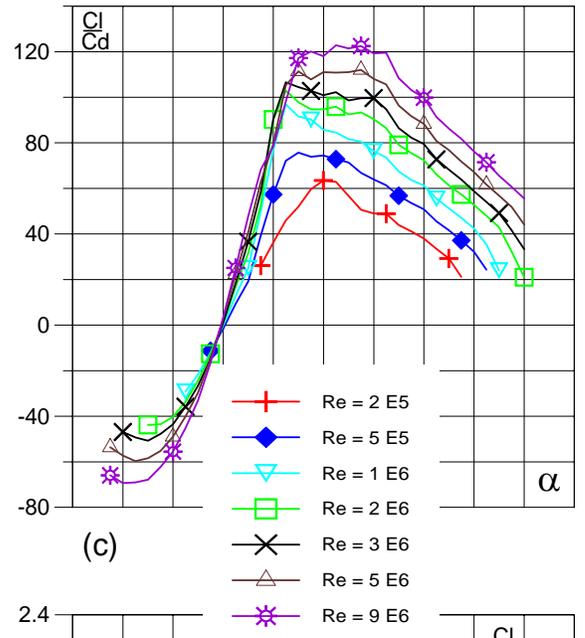
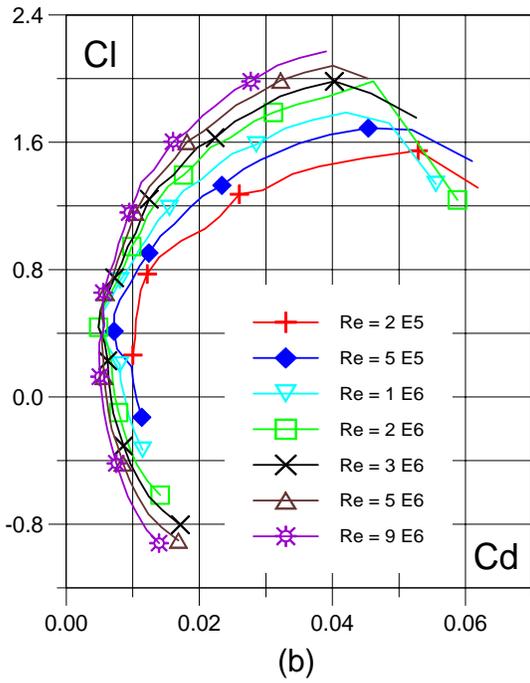
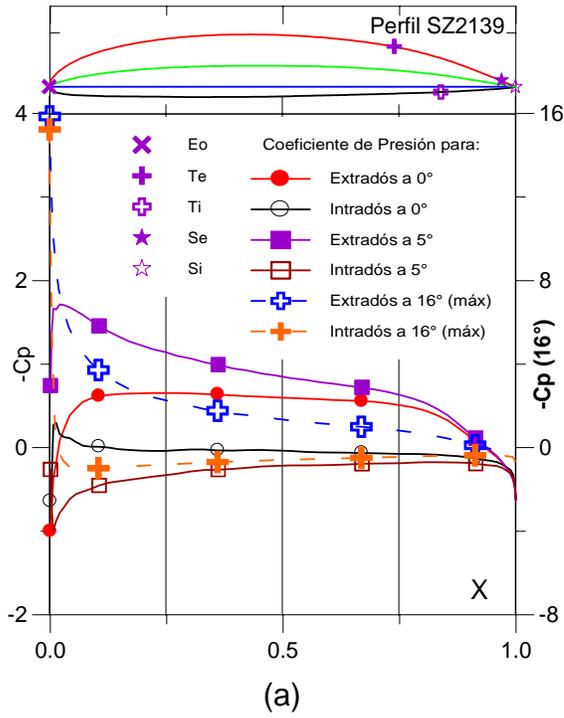


Fig. 5.2.79. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2139.

Fig. 5.2.80. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. ngulo de ataque del Perfil SZ - 2139.

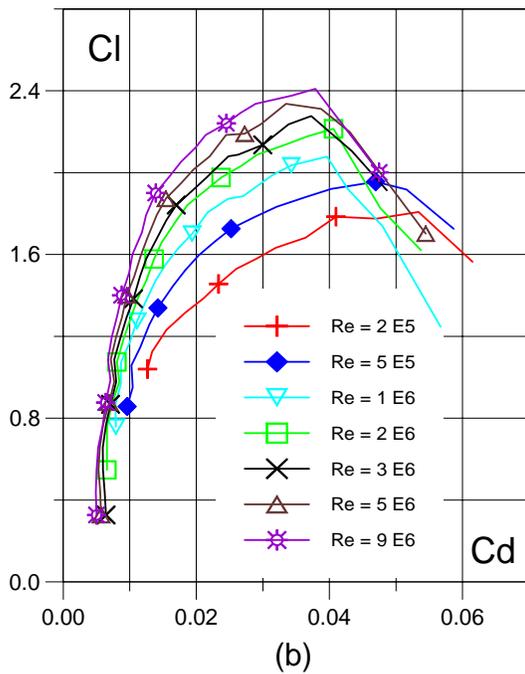
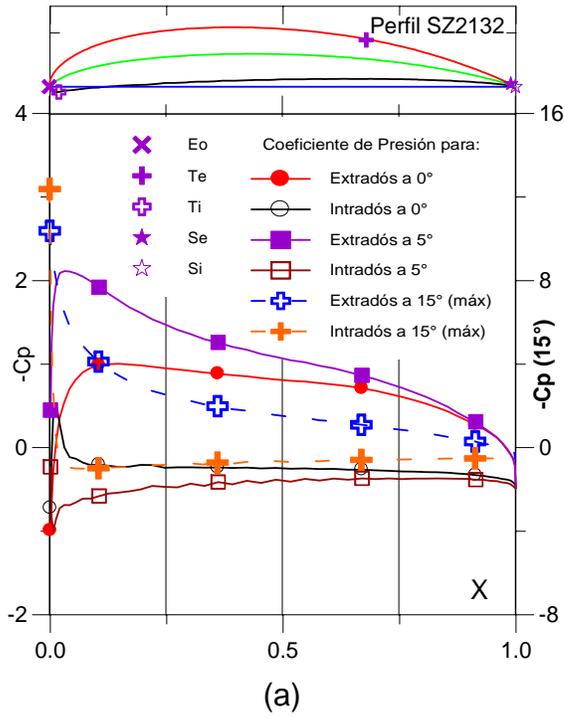


Fig. 5.2.65. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil SZ - 2132.

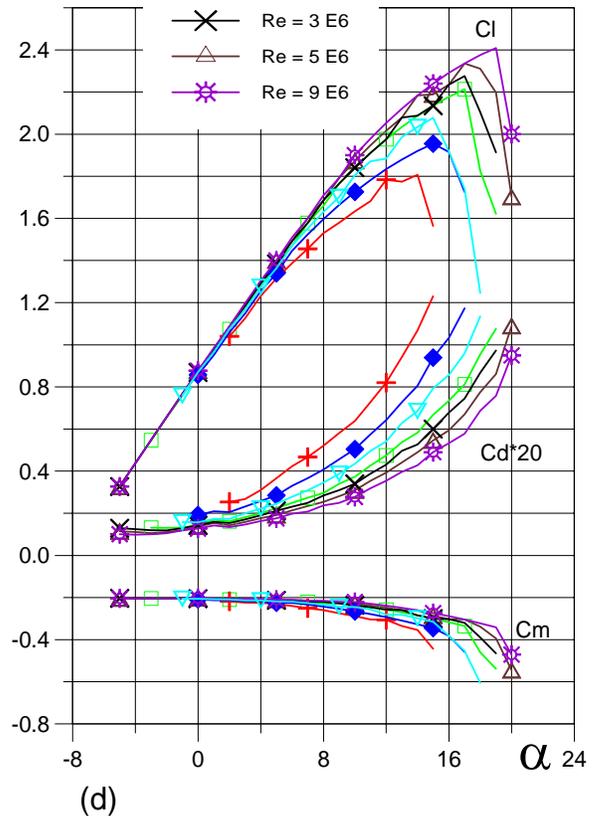
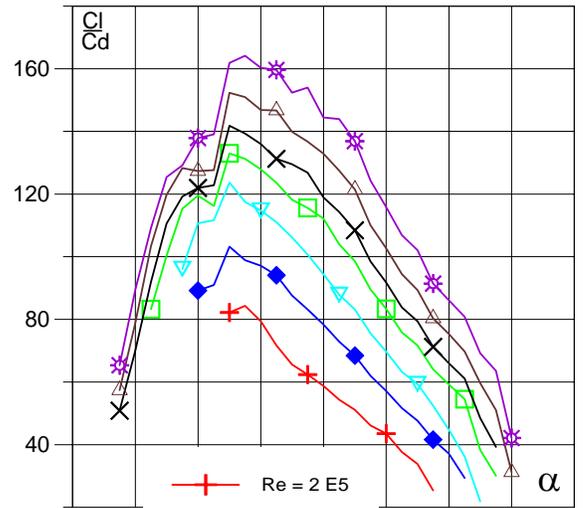


Fig. 5.2.66. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. ngulo de ataque del Perfil SZ - 2132.

5.3 Curvas Características de los perfiles base (Perfiles FX):

Como las series de perfiles generadas vienen de la aplicación del MPM a los 65 perfiles de la familia FX que contiene Visual Foil 4.1®.

En el caso de las variables geométricas escogidas se tiene:

Para la familia de perfiles FX la curvatura máxima ($f_{\text{máx}}$) oscila entre 1.7338 (para el perfil FX69H098) y 9.9236 (para el perfil FX74CL51) en % de la cuerda.

La posición del punto donde es máxima la curvatura media ($Xf_{\text{máx}}$) varía entre 0.224 (para el perfil FX69H098) y 0.803 (para FX38153).

El espesor máximo ($e_{\text{máx}}$) está entre 8.385 (para el perfil FX69H083) y 34.367 (para el perfil FX77W343) expresando este valor en % de c.

La posición del espesor máximo ($Xe_{\text{máx}}$) lo encontramos entre 0.218 (para el perfil FXM2) y 0.494 (para FX3).

El área (consecuencia del espesor máximo) muestra valores que van desde 0.0508 (para FXM2) hasta 0.2217 (para el perfil FX77W343) observándose que los perfiles se encuentran casi en las mismas posiciones que en la tabla donde se ordenan según $e_{\text{máx}}$.

Los siguientes son los resultados para el caso de la ordenación de esta familia de perfiles según las propiedades aerodinámicas seleccionadas:

La sustentación máxima ($C_{L\text{máx}}$) fluctúa entre 0.6556 (para FX711520 y FX71L150) y 2.50478 (para el perfil FX74CL51).

El ángulo para el cual la sustentación es máxima (α_M) reporta valores desde 1° (para los perfiles FX711520, FX71L150 y FX67K150) y 20° (para FX2).

La fineza aerodinámica máxima (ϵ_M) presenta variación en el rango 61.3012 (en el perfil FX711525) – 144.1198 (para FX62K153).

El valor del arrastre mínimo ($C_{D\text{mín}}$) se mueve entre 0.005062 (para FX69H083) y 0.38767 (en el caso del perfil FX72150B).

Siguiendo el mismo esquema del capítulo anterior se muestran a continuación las curvas características de los perfiles de esta familia (el resto de las gráficas correspondientes a las curvas características de esta serie se encuentran en el anexo A – 9).

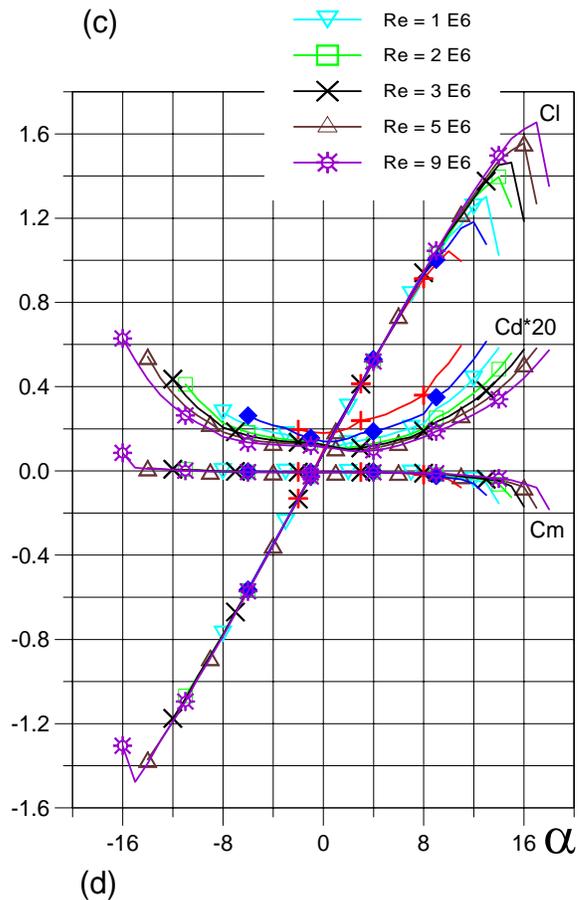
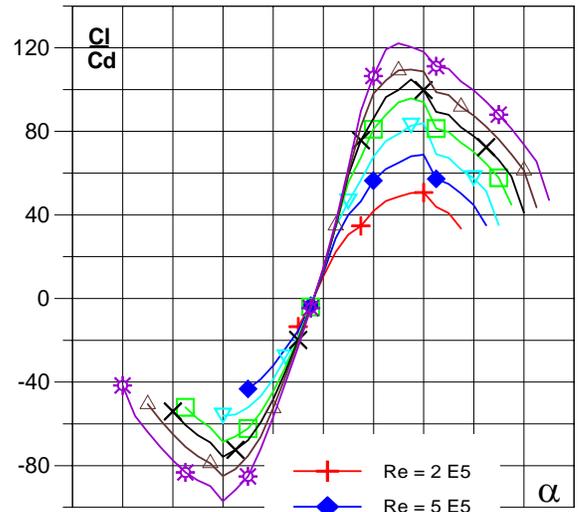
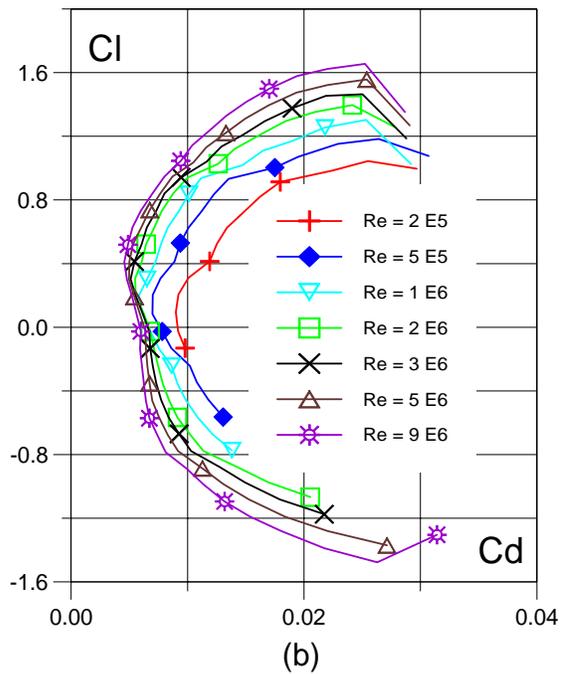
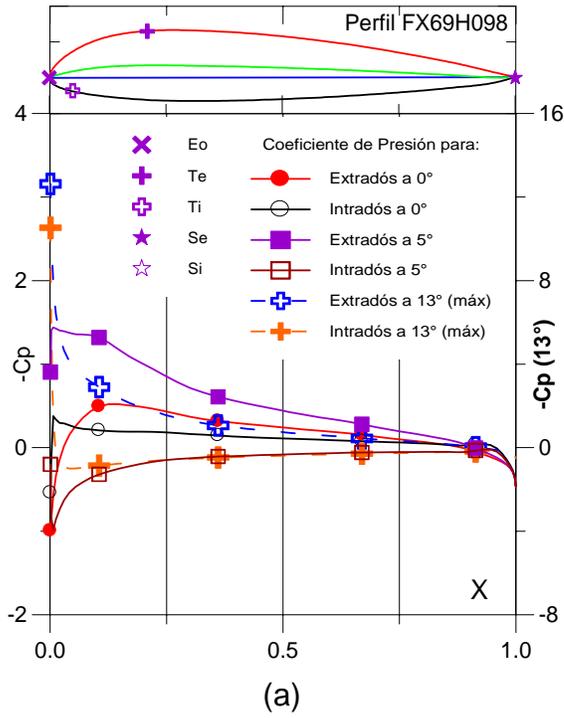


Fig. 5.3.91. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX69H098.

Fig. 5.3.92. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX69H098.

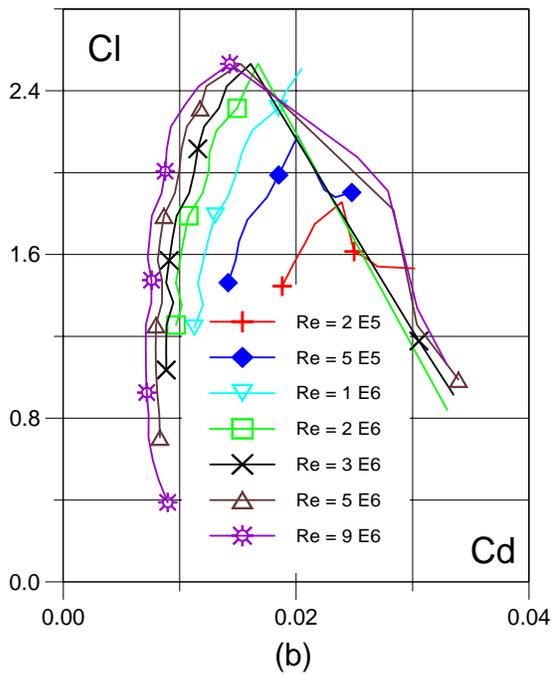
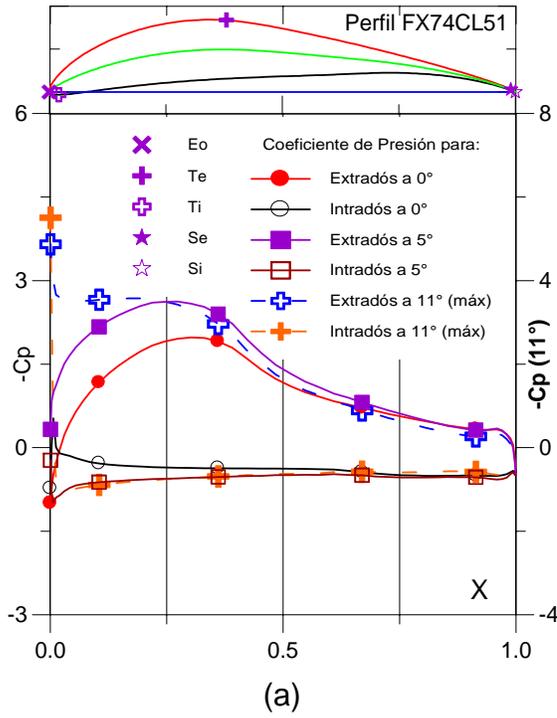


Fig. 5.3.107. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cpmáx a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX74CL51.

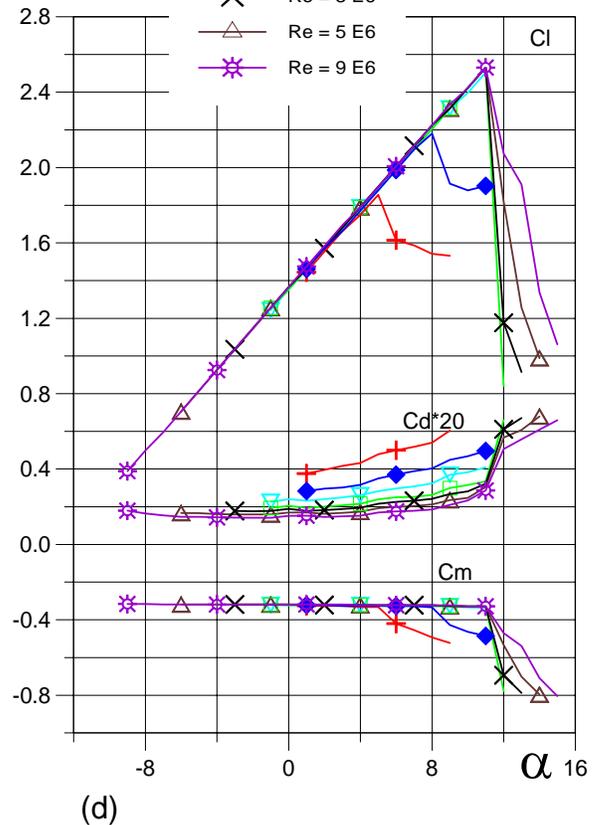
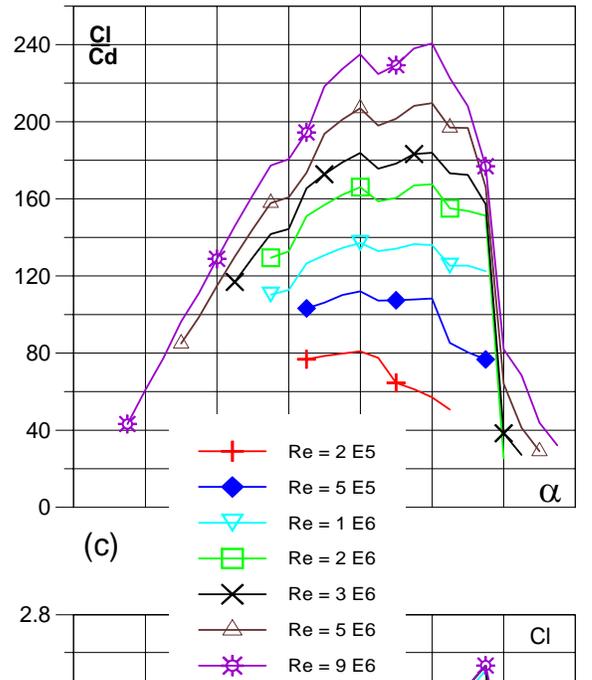


Fig. 5.3.108. (c) Curvas de CI/Cd y (d) CI, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX74CL51.

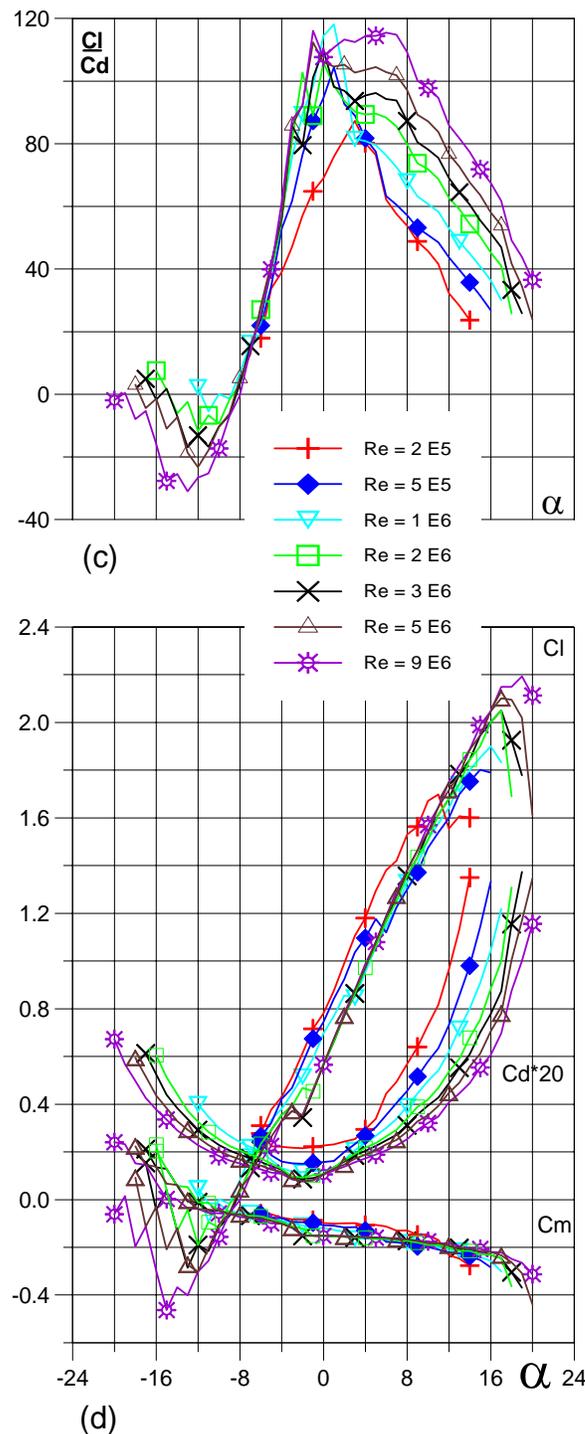
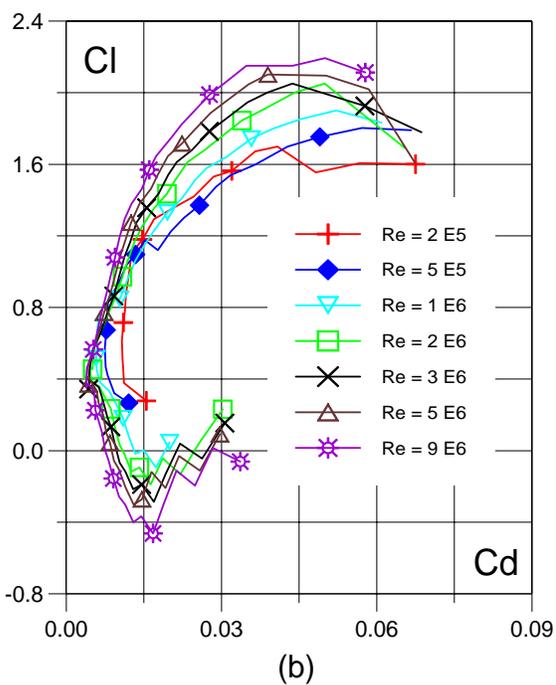
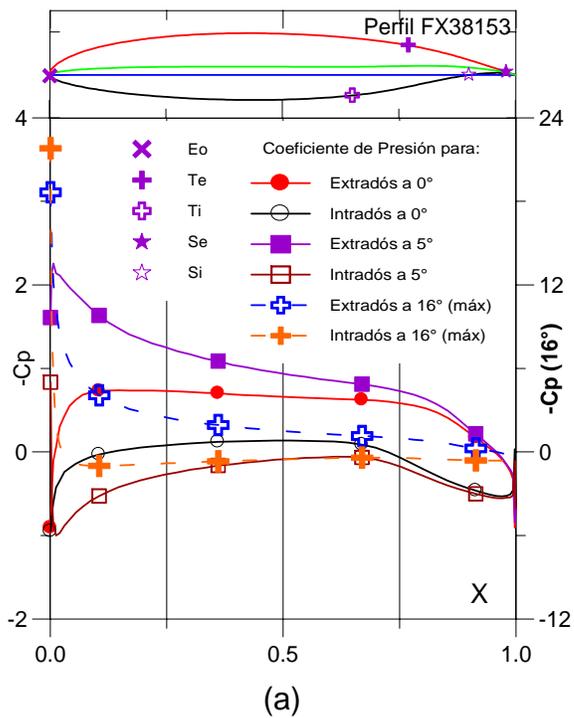


Fig. 5.3.19. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 \text{ E } 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX38153.

Fig. 5.3.20. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil FX38153.

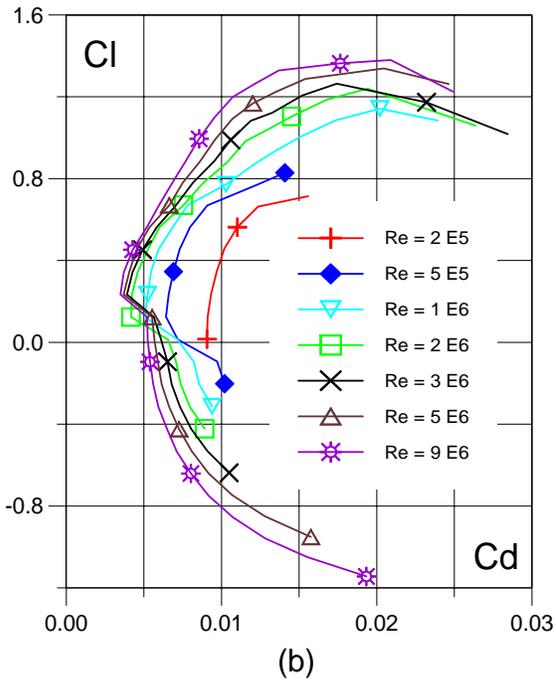
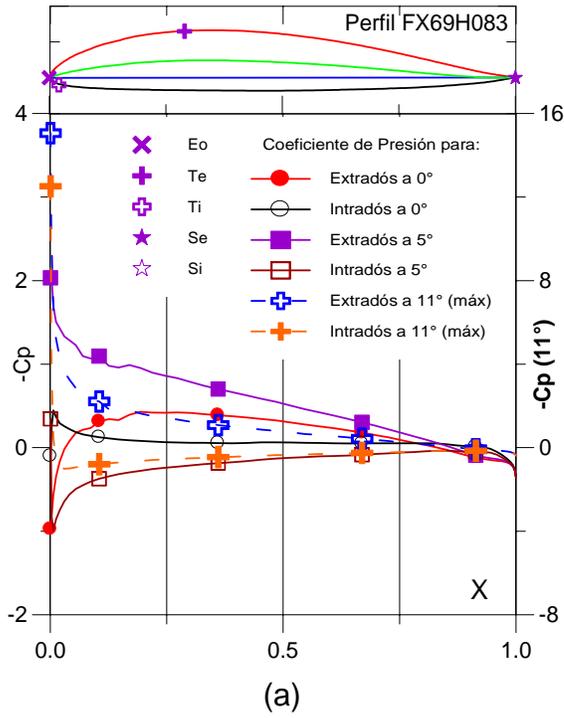


Fig. 5.3.89. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX69H083.

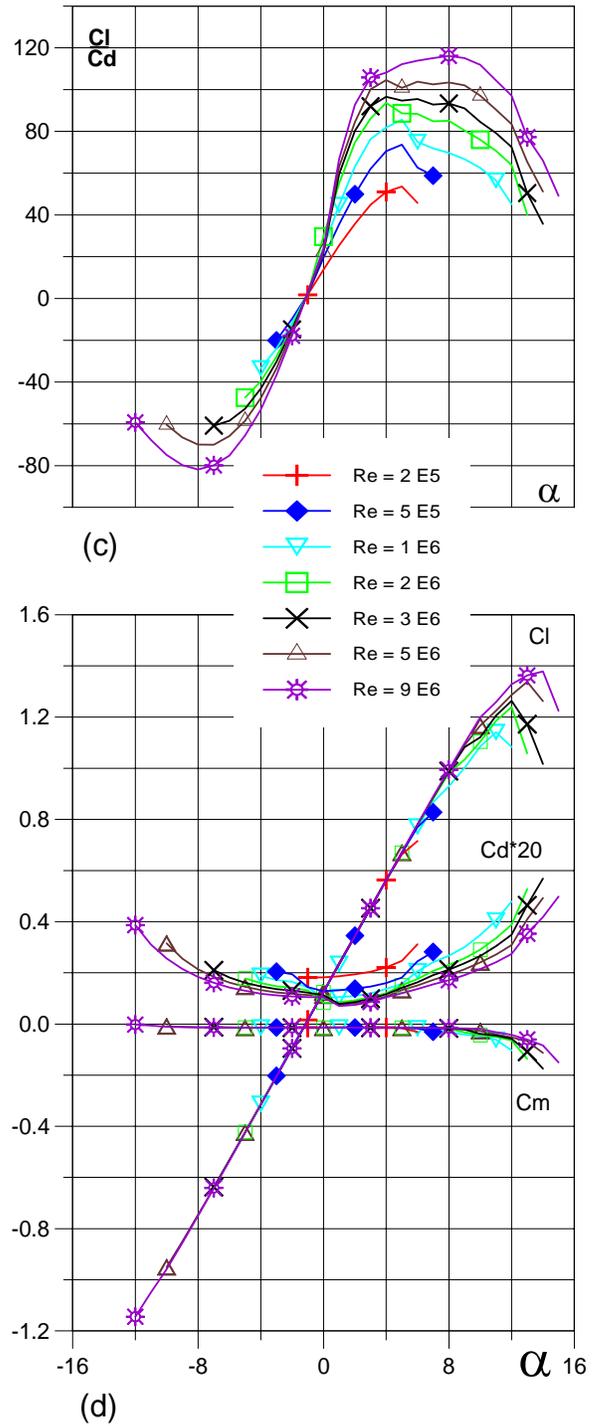


Fig. 5.3.90. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX69H083.

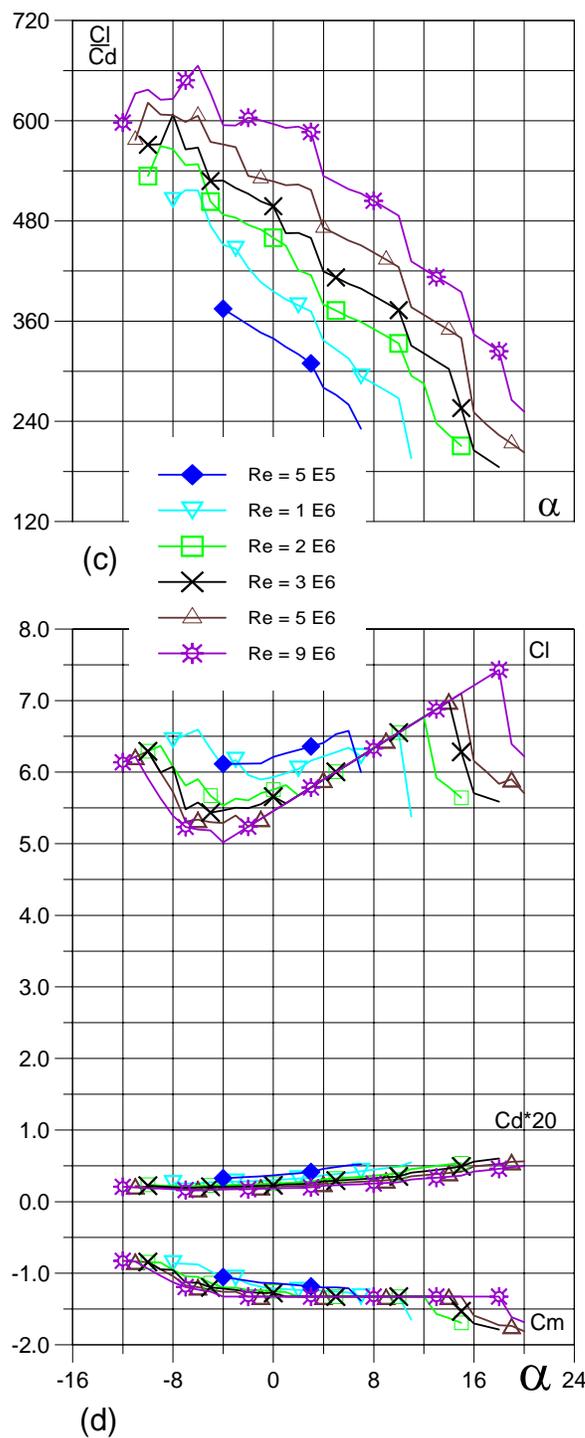
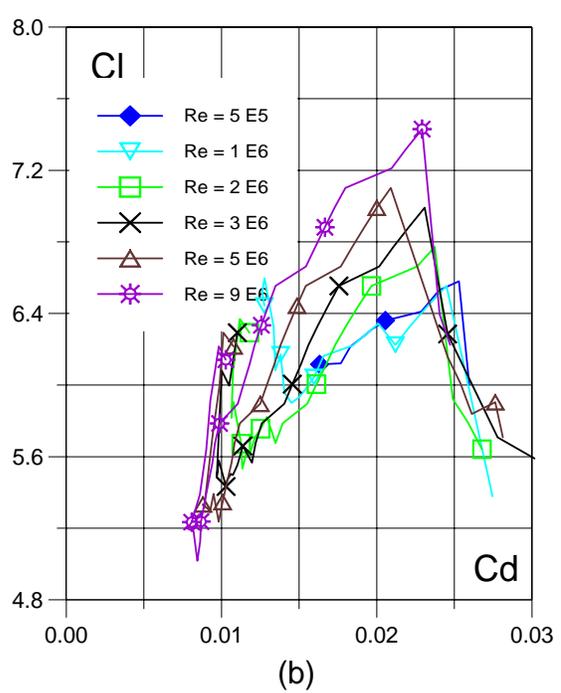
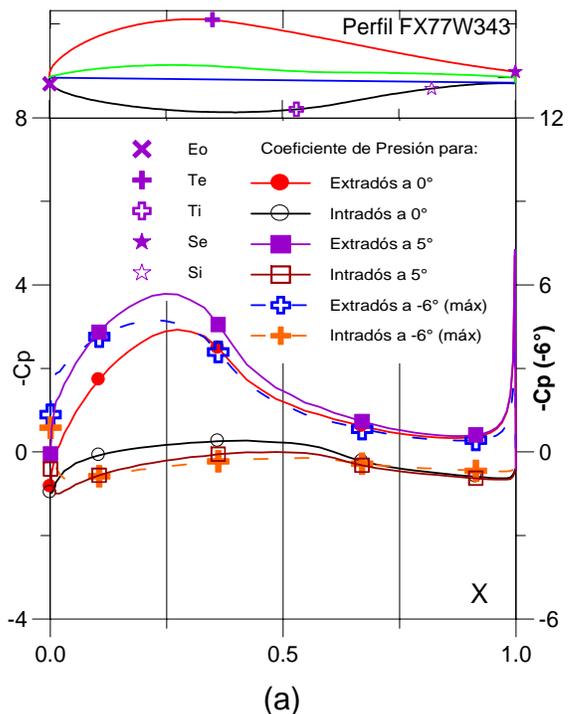


Fig. 5.3.115. (a) Cp (0°, 5° y Máx) vs. X para Re = 1 E 6 (leer Cpmáx a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX77W343.

Fig. 5.3.116. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl, Cd, Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX77W343.

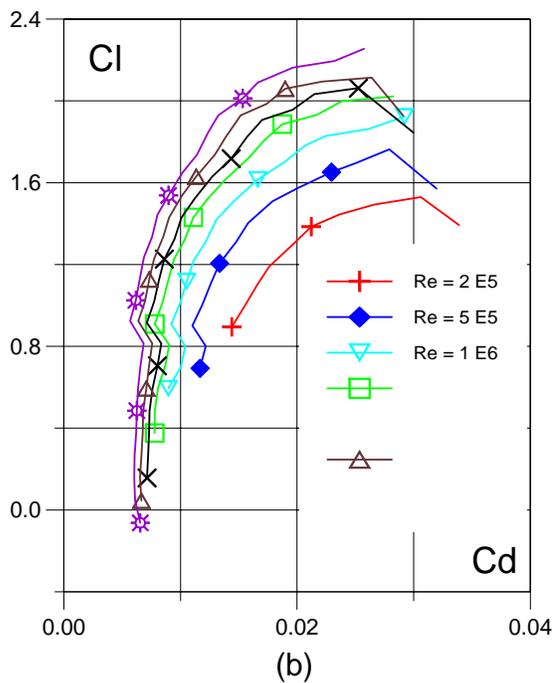
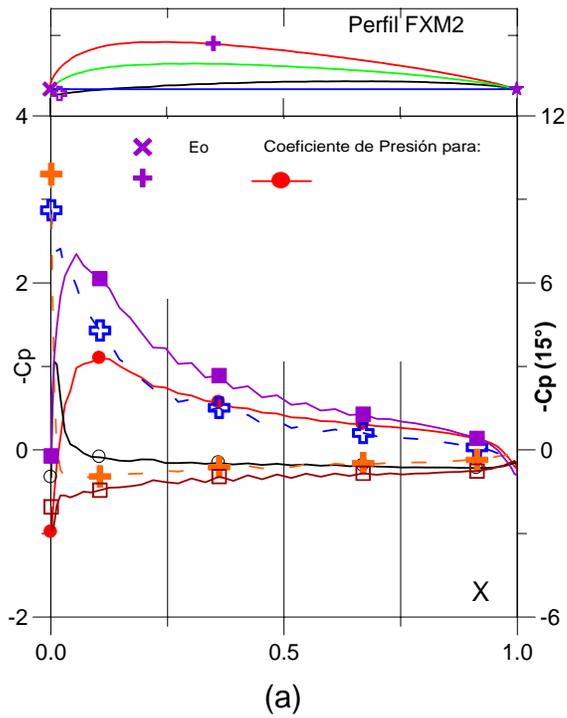


Fig. 5.3.123. (a) C_p (0° , 5° y Max) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{max}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FXM2.

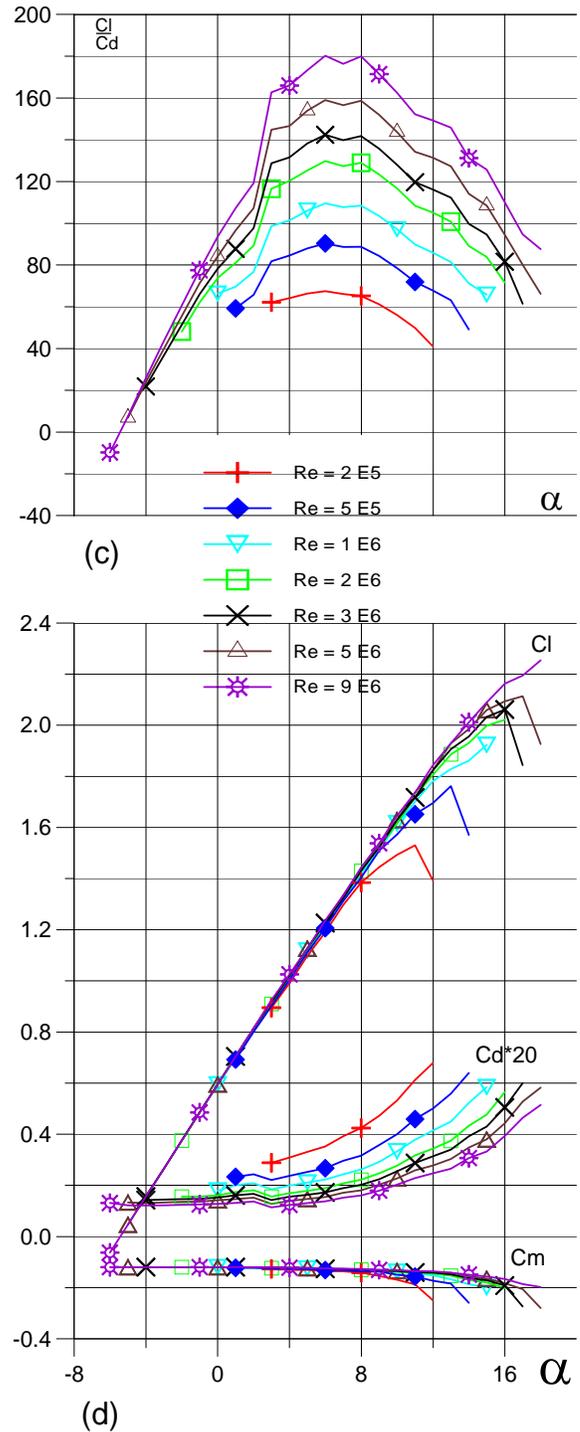


Fig. 5.3.124. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , C_m vs. ngulo de ataque del Perfil FXM2.

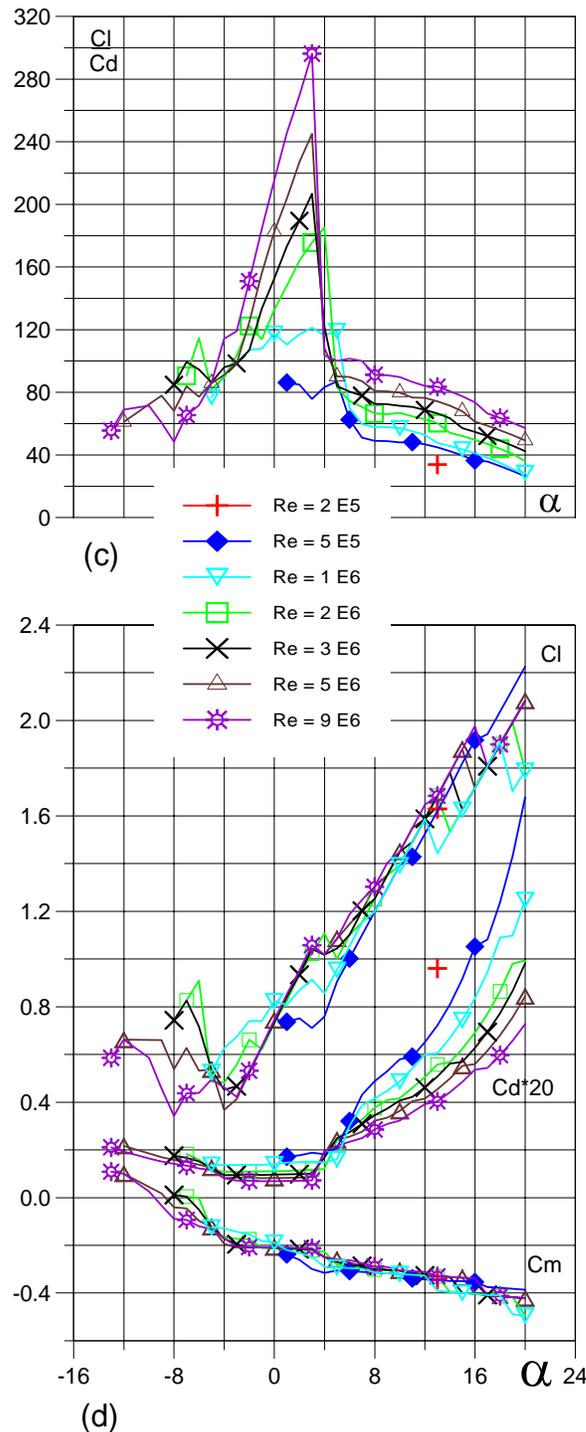
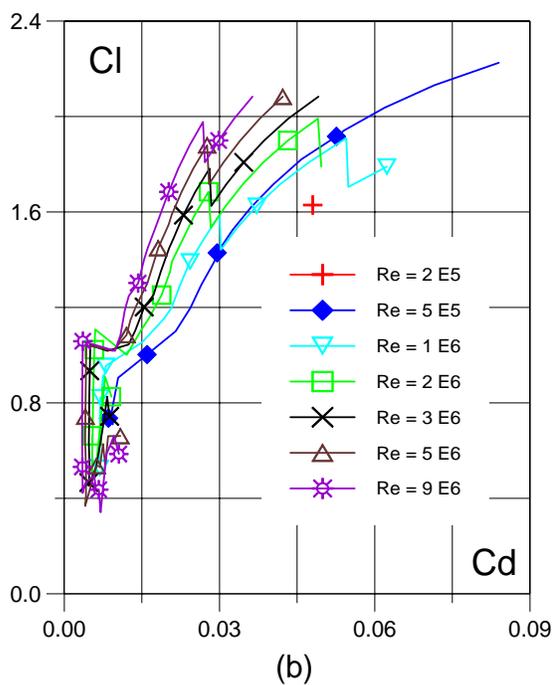
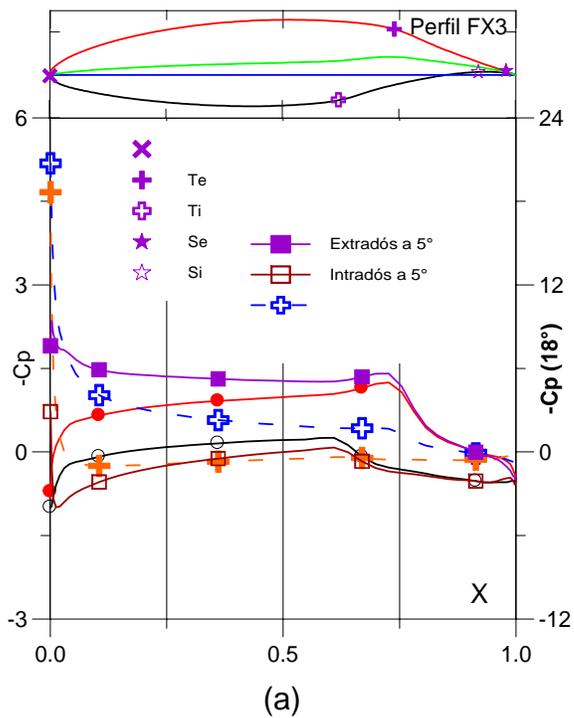


Fig. 5.3.17. (a) C_p (0° , 5° y $Máx$) vs. X para $Re = 1 \times 10^6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX3.

Fig. 5.3.18. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX3.

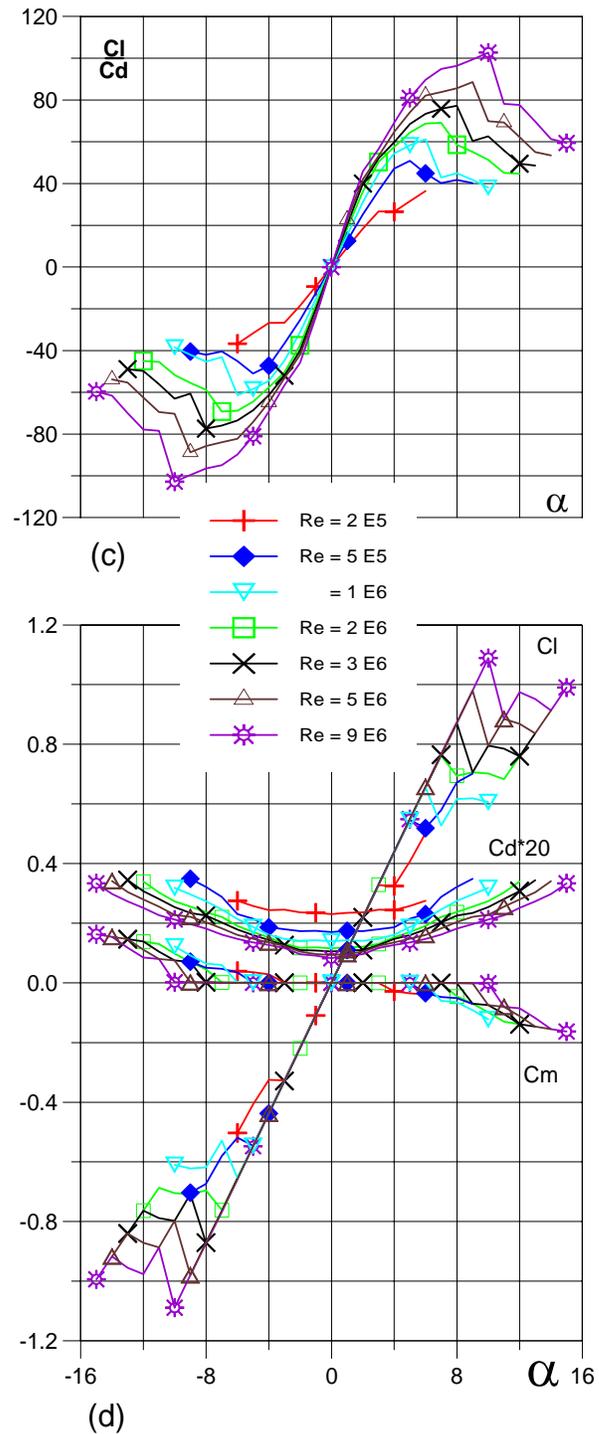
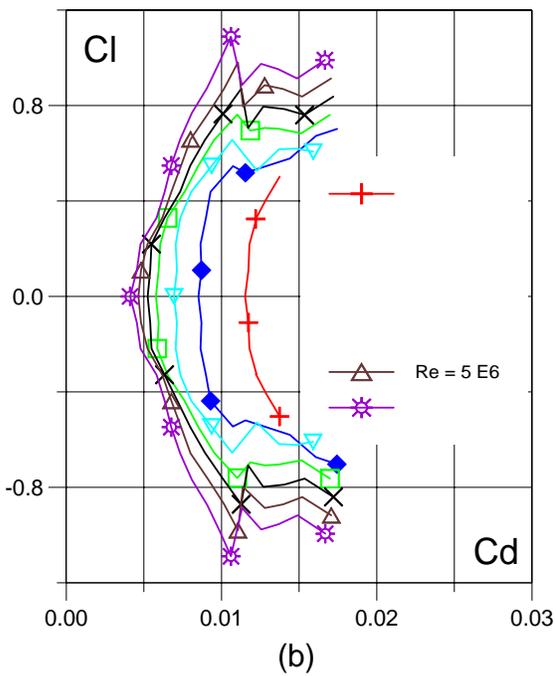
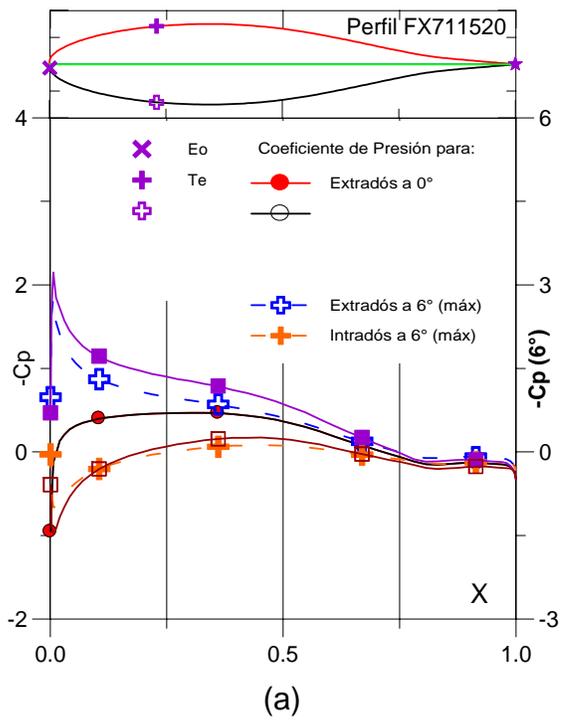


Fig. 5.3.97. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX711520.

Fig. 5.3.98. (c) Curvas de C_l/C_d y (d) C_l , C_d , C_m vs. Ángulo de ataque del Perfil FX711520.

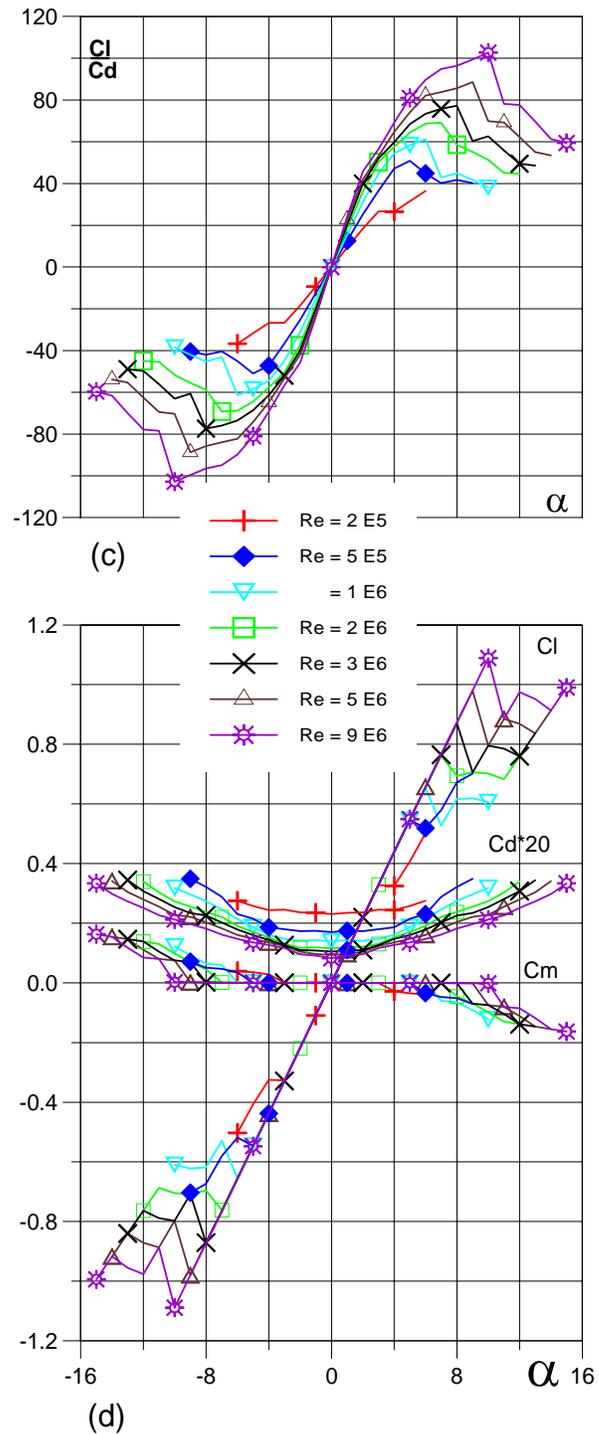
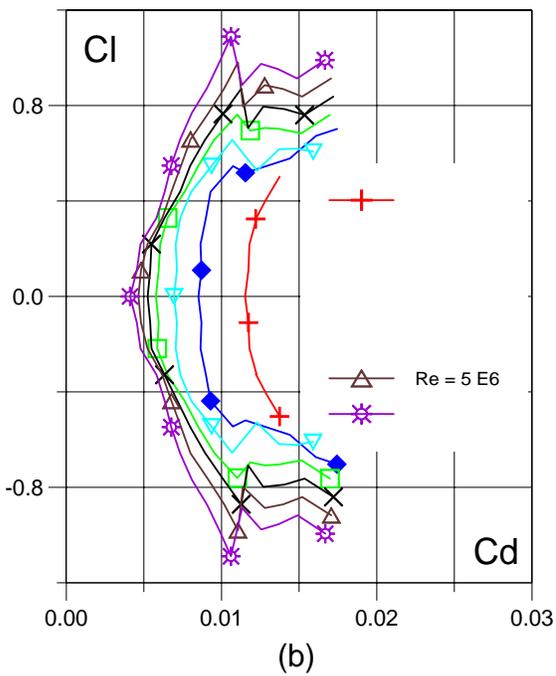
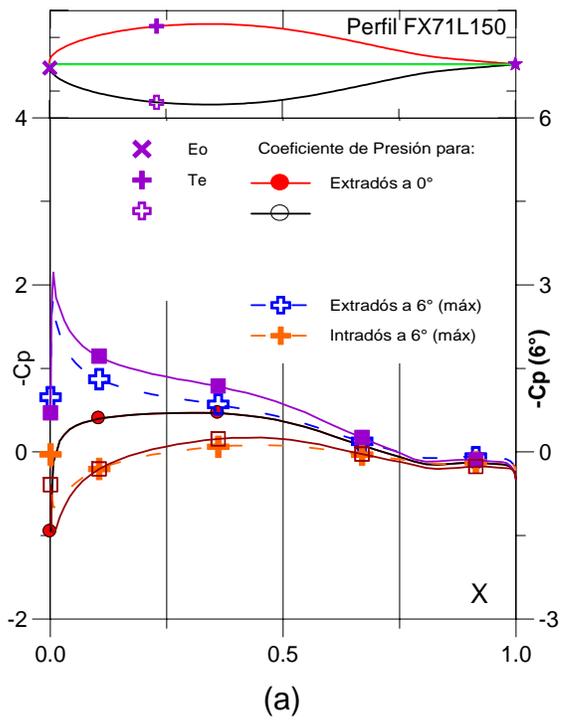


Fig. 5.3.101. (a) C_p (0° , 5° y Máx) vs. X para $Re = 1 E 6$ (leer $C_{p\text{máx}}$ a la derecha) y (b) Curvas Polares del Perfil FX71L150.

Fig. 5.3.102. (c) Curvas de Cl/Cd y (d) Cl , Cd , Cm vs. Ángulo de ataque del Perfil FX71L150.

5.4 Propiedades Aerodinámicas de los perfiles de la serie SZ-2000.

Las propiedades aerodinámicas de los perfiles fueron obtenidos siguiendo el procedimiento indicados en el subcapítulo 5.1. Los datos que se obtienen con este software se pueden exportan en archivos que tendrán la extensión .dat, lo cual nos permitió asociar las gráficas realizadas en Grapher 1.3® a cada uno de estos archivos según las curvas y relaciones que correspondían. Como referencia se elaboró una tabla comparativa con los valores de todas las propiedades aerodinámicas importantes para los perfiles de la serie SZ – 2000. Las propiedades que se escogieron para elaborar dicha tabla vienen de una combinación de las propiedades que se muestran en el tomo II de Aerodinámica de Ordóñez (Tomo III, Tabla V – 52, Pág. 67, 1961) y las que se calcularon y presentaron en el trabajo publicado por Zarea y otros (Tabla 1, Pág. 51, 2002) en la revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. De esta combinación se optó por reflejar los valores de los siguientes parámetros.

- La denominación del perfil (SZ2000).
- La forma de la curva de C_L vs. α (Tipo de curva C_L , que aparecen indicados al pie de la tabla).
- El valor máximo de C_L ($C_{L\text{máx}}$).
- El ángulo de ataque en el cual se presenta la sustentación máxima (α_M).
- El valor de C_D para la sustentación máxima ($C_{D(L\text{máx})}$).
- La pendiente de la curva de C_L vs. α ($\Delta C_L / \Delta \alpha$).
- La fineza aerodinámica ($\epsilon = C_L / C_D$) para la sustentación máxima (ϵ_{α_M}).
- La fineza aerodinámica máxima (ϵ_M).
- El ángulo de ataque en donde ocurre la fineza máxima (α_{ϵ_M}).
- El ángulo de ataque para sustentación nula (α_0).
- El coeficiente de momento para sustentación nula (C_{m0}).
- El valor del coeficiente de arrastre mínimo ($C_{D\text{min}}$).
- El ángulo de ataque para arrastre mínimo (α_D).

- El valor del coeficiente de sustentación para arrastre mínimo ($C_{L(D\text{mín})}$).
- El valor del cociente entre $C_{L\text{máx}}$ y $C_{D\text{mín}}$ ($C_{L\text{máx}}/ C_{D\text{mín}}$).
- La posición del centro de presión en porcentaje de cuerda para sustentación máxima (c.p. para $C_{L\text{máx}}$ (%c)).

Todos estos valores se reportan para un régimen de flujo definido por un número de Reynolds de 1×10^6 . A continuación se muestran las tablas con las propiedades aerodinámicas para los perfiles de la serie SZ – 2000.

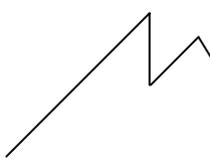
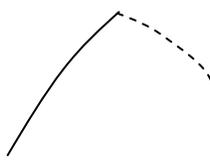
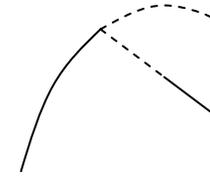
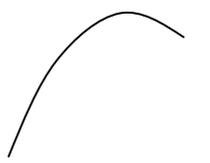
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2000	B	2.0875	15	0.0408	0.10942	51.147	126.105	0	-8.69	759.37	0.00691	-3	0.616	302.17	42
SZ2001	A	0.6415	1	0.0112	0.10868	57.194	88.068	0	-5.14	170.56	0.00597	-1	0.422	107.45	52
SZ2002	A	0.6218	1	0.0113	0.01652	55.199	101.008	0	-4.96	177.85	0.00591	-1	0.520	105.21	52
SZ2003	A	0.7432	2	0.0112	0.10768	66.112	93.849	0	-5.07	-476.0	0.00561	0	0.527	132.48	46
SZ2004	A	0.7610	3	0.0114	0.10918	66.694	98.153	1	-4.18	-5.352	0.00532	0	0.434	143.05	41
SZ2005	A	0.7675	2	0.0112	0.10869	68.429	103.389	0	-5.30	32.266	0.00509	-1	0.440	150.79	46
SZ2006	A	0.5631	1	0.0111	0.10869	50.601	71.747	0	-4.42	-17.13	0.00612	-2	0.235	92.01	52
SZ2007	A	1.4503	12	0.0303	0.10914	47.830	119.013	4	-6.80	1905.55	0.00654	-2	0.519	221.76	48
SZ2008	A	0.9812	4	0.0138	0.08513	71.335	126.729	0	-5.26	-150.5	0.00545	-3	0.454	180.04	42
SZ2009	A	1.1285	4	0.0135	0.10868	83.577	116.216	0	-6.61	1319.7	0.00597	0	0.694	189.03	43
SZ2010	A	0.7963	1	0.0114	0.09536	69.688	112.269	0	-6.55	11035	0.00579	-3	0.370	137.53	50
SZ2011	A	1.1285	4	0.0135	0.10869	83.457	115.972	0	-6.60	-1352	0.00598	0	0.694	188.71	43
SZ2012	A	1.1964	5	0.0151	0.10868	79.496	103.603	0	-6.23	5.414	0.00609	-2	0.446	196.45	42
SZ2013	A	1.2301	5	0.0147	0.10868	83.681	112.870	0	-6.54	16.007	0.00604	-3	0.369	203.66	42
SZ2014	A	0.8214	2	0.0119	0.10869	68.673	103.465	0	-5.79	227.39	0.00567	-3	0.287	144.87	48
SZ2015	A	0.7287	2	0.0117	0.10869	62.294	85.367	0	-4.94	5.900	0.00601	-2	0.291	121.25	47
SZ2016	A	1.1008	4	0.0140	0.10869	78.811	115.701	0	-6.35	-1967	0.00564	-1	0.555	195.17	43
SZ2017	A	1.1094	4	0.0140	0.10868	79.036	117.284	0	-6.43	-6350	0.00566	-3	0.357	196.00	43
SZ2018	A	1.0535	4	0.0140	0.10868	75.234	105.484	0	-5.92	-215.2	0.00583	-2	0.412	180.71	43
SZ2019	A	1.0675	4	0.0140	0.10868	76.262	108.522	0	-6.05	15132	0.00579	-2	0.426	184.36	43
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.4.1 Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2000 al SZ2019 (Re = 1 E6).

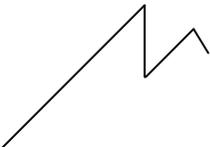
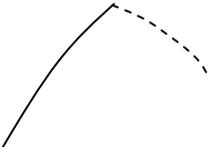
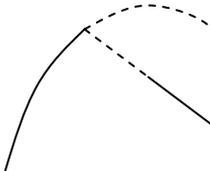
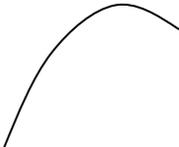
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2020	A	0.7002	1	0.0114	0.10869	60.974	94.667	0	-5.67	6.878	0.00598	-3	0.274	115.54	52
SZ2021	A	1.1622	4	0.0142	0.10868	81.573	125.746	0	-6.91	-3837	0.00555	-1	0.617	209.41	44
SZ2022	A	0.8989	1	0.0115	0.10911	78.050	136.053	0	-7.36	-39922	0.00555	-1	0.679	161.96	50
SZ2023	A	0.8814	1	0.0115	0.10911	76.524	132.719	0	-7.20	41.283	0.00601	-3	0.442	146.65	50
SZ2024	A	0.9367	1	0.0119	0.1091	78.756	130.879	0	-7.70	-207.3	0.00583	-3	0.497	160.67	50
SZ2025	A	0.981	4	0.0145	0.09536	90.299	149.168	0	-8.24	654.78	0.00564	-2	0.665	173.94	51
SZ2026	A	1.093	2	0.0123	0.09536	88.821	143.054	0	-8.27	619.60	0.00573	-2	0.669	190.75	49
SZ2027	A	0.958	4	0.0131	0.07084	72.800	105.866	0	-5.05	42.264	0.00533	0	0.564	179.74	41
SZ2028	A	1.017	3	0.0130	0.10868	78.517	119.782	0	-6.58	-1978	0.00566	-3	0.484	179.68	45
SZ2029	A	1.447	14	0.0382	0.10943	37.858	123.699	4	-6.94	-833.633	0.00658	-1	0.646	219.91	53
SZ2030	A	0.906	2	0.0119	0.10868	76.341	120.068	0	-6.56	-3087	0.00554	-3	0.372	163.54	48
SZ2031	A	1.076	6	0.0155	0.1089	69.497	71.056	0	-4.32	924.22	0.00611	-3	0.114	176.10	39
SZ2032	A	1.299	8	0.0186	0.10889	69.959	72.038	0	-4.41	-7.706	0.00616	-2	0.231	210.88	37
SZ2033	A	0.724	2	0.0119	0.1089	60.767	82.153	0	-4.88	-1.642	0.00593	-1	0.396	122.09	47
SZ2034	A	1.111	6	0.0157	0.10869	70.577	74.542	0	-4.65	-8.213	0.00609	-2	0.258	182.43	40
SZ2035	A	0.757	2	0.0119	0.1089	63.385	84.527	0	-5.20	4.642	0.00605	-2	0.320	125.12	47
SZ2036	A	1.090	5	0.0143	0.10868	76.101	88.408	0	-5.26	7.238	0.00604	-2	0.327	180.46	41
SZ2037	A	0.746	2	0.0119	0.1089	62.273	83.696	0	-5.10	-113.9	0.00608	-2	0.309	122.70	47
SZ2038	A	1.063	6	0.0158	0.10868	67.481	67.481	6	-4.20	9.167	0.00603	-4	-0.012	176.29	39
SZ2039	A	1.509	7	0.0134	0.10966	112.89	126.585	5	-6.73	-302.3	0.00716	-3	0.409	210.75	37
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.4.2. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2020 al SZ2039 (Re = 1 E6).

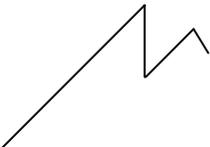
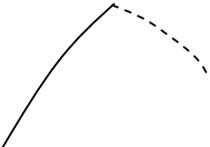
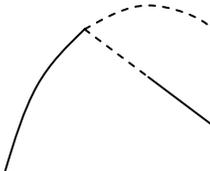
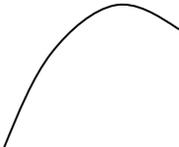
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2040	D	1.637	10	0.0199	0.11281	82.254	120.456	5	-5.65	33.136	0.00759	-1	0.558	215.68	35
SZ2041	B	1.781	15	0.0356	0.10874	49.737	92.487	6	-5.31	1.250	0.00671	-2	0.350	265.42	40
SZ2042	A	0.768	2	0.0113	0.10869	68.019	110.163	1	-5.30	-574.7	0.00539	-1	0.441	142.49	46
SZ2043	A	0.799	3	0.0119	0.1089	67.057	94.530	1	-4.58	-10.68	0.00543	-1	0.361	147.15	43
SZ2044	B	1.740	11	0.0259	0.10941	67.308	113.653	6	-6.15	2.023	0.00814	-4	0.228	209.89	36
SZ2045	A	1.588	8	0.0150	0.10967	105.848	125.078	4	-6.29	-3052	0.00729	-2	0.470	217.83	35
SZ2046	A	0.703	2	0.0109	0.10915	64.312	105.759	1	-4.70	-1021	0.00514	0	0.484	136.7	44
SZ2047	A	1.484	8	0.0122	0.10966	121.925	137.285	6	-5.76	-741.7	0.00800	-1	0.522	185.5	35
SZ2048	A	0.741	3	0.0115	0.10954	64.292	91.313	1	-4.01	-5.033	0.00552	0	0.413	134.24	41
SZ2049	D	1.595	11	0.0253	0.10943	62.957	102.312	5	-5.04	-1.900	0.00621	-5	-0.003	256.84	37
SZ2050	A	1.431	10	0.0217	0.10917	66.057	68.718	9	-3.78	4.861	0.00599	0	0.387	238.90	35
SZ2051	A	1.367	12	0.0277	0.10914	49.450	109.181	4	-6.04	160.463	0.00681	-1	0.546	200.73	49
SZ2052	A	1.726	11	0.0216	0.10941	79.931	104.858	6	-5.32	0.406	0.00812	-4	0.140	211.78	34
SZ2053	A	1.883	9	0.0169	0.10966	111.468	140.917	5	-8.25	-3998	0.00843	0	0.905	223.50	37
SZ2054	A	1.315	9	0.0180	0.10944	73.000	99.596	6	-3.48	-0.092	0.00769	-4	-0.057	167.94	33
SZ2055	A	1.657	11	0.0217	0.10941	76.197	103.499	6	-4.99	-2.912	0.00797	-3	0.214	207.90	34
SZ2056	A	1.517	12	0.0274	0.10955	55.421	63.985	10	-3.19	9.125	0.00631	0	0.324	240.41	35
SZ2057	A	1.562	12	0.0283	0.10917	55.083	62.321	10	-3.33	-9.008	0.00644	-3	0.006	242.55	34
SZ2058	A	1.441	11	0.0245	0.10917	58.695	62.020	10	-3.20	-0.463	0.00654	-1	0.213	220.34	35
SZ2059	A	1.894	11	0.0220	0.10942	86.109	121.373	6	-6.35	-0.166	0.00831	-1	0.587	227.92	34
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.4.3. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2040 al SZ2059 (Re = 1 E6).

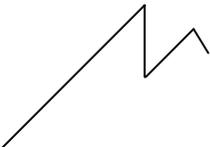
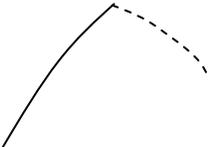
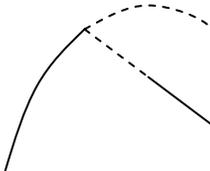
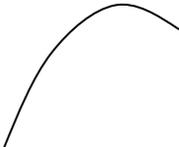
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2060	A	1.742	9	0.0173	0.10966	100.935	121.658	6	-6.68	3054.6	0.00779	-2	0.513	223.62	35
SZ2061	A	1.409	12	0.0280	0.10914	50.294	111.796	3	-6.41	-200.228	0.00667	-1	0.580	211.24	49
SZ2062	A	1.280	8	0.0114	0.08611	112.108	112.108	8	-4.29	-313.2	0.00739	-2	0.469	173.20	34
SZ2063	A	1.155	9	0.0125	0.10943	92.134	93.601	8	-1.85	-0.306	0.00842	0	0.199	137.17	30
SZ2064	A	1.781	10	0.0208	0.10966	85.668	120.106	6	-6.55	330.16	0.00794	-3	0.389	224.31	35
SZ2065	A	1.744	11	0.0214	0.10941	81.421	108.167	7	-5.56	-0.142	0.00815	-2	0.384	213.99	34
SZ2066	A	1.673	11	0.0221	0.08586	75.851	112.857	3	-5.38	367.97	0.00758	-2	0.581	220.71	35
SZ2067	A	1.635	7	0.0177	0.10911	92.180	142.122	0	-8.14	2855.4	0.00589	-1	0.765	277.59	40
SZ2068	A	1.078	10	0.0150	0.10297	71.946	89.289	8	-2.43	-3.682	0.00867	-1	0.140	124.34	37
SZ2069	A	1.361	9	0.0187	0.10943	72.900	103.701	6	-4.06	-0.110	0.00773	-4	0.007	176.07	34
SZ2070	A	1.605	6	0.0164	0.10911	97.601	147.320	0	-8.96	-3338	0.00609	-1	0.855	263.55	42
SZ2071	A	0.604	3	0.0109	0.10892	55.576	72.272	1	-2.85	3.215	0.00546	0	0.295	110.62	40
SZ2072	A	1.093	6	0.0150	0.1089	73.075	83.554	0	-4.48	6.539	0.00533	-1	0.353	205.07	38
SZ2073	A	1.138	8	0.0180	0.10891	63.488	63.488	8	-2.83	6.476	0.00657	-3	-0.044	173.21	35
SZ2074	A	1.026	7	0.0166	0.10891	61.698	61.698	7	-2.82	3.047	0.00652	-1	0.173	157.36	36
SZ2075	A	1.175	6	0.0160	0.10869	73.441	84.683	0	-5.23	-39.42	0.00605	-2	0.321	194.21	40
SZ2076	A	0.747	2	0.0120	0.10868	62.301	85.342	0	-5.10	1.399	0.00587	-3	0.212	127.26	47
SZ2077	A	0.792	2	0.0121	0.10868	65.633	90.829	0	-5.52	-6.002	0.00595	-2	0.353	133.11	47
SZ2078	B	1.904	16	0.0395	0.09369	48.162	91.868	2	-6.12	-298.4	0.00690	-4	0.365	275.94	41
SZ2079	A	1.901	16	0.0392	0.01785	48.466	102.107	0	-5.94	-233.5	0.00690	-3	0.472	275.51	40
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.4.4. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2060 al SZ2079 (Re = 1 E6).

Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	C_{Dmin}	α_D [°]	$C_{L(Dmin)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dmin}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2080	A	1.774	15	0.0354	0.10869	50.080	94.278	2	-5.16	-54.25	0.00642	0	0.531	276.32	38
SZ2081	B	2.089	15	0.0395	0.10942	52.928	111.889	0	-8.28	-2858	0.00716	-3	0.572	291.76	42
SZ2082	B	1.823	15	0.0374	0.09369	48.812	103.320	1	-6.28	359.82	0.00631	-1	0.552	288.91	42
SZ2083	B	1.727	15	0.0356	0.10819	48.519	86.484	3	-5.41	51.410	0.00698	-5	0.140	247.42	41
SZ2084	A	1.395	12	0.2800	0.10914	49.803	109.558	3	-6.29	293.747	0.00664	-4	0.361	210.09	48
SZ2085	B	1.820	15	0.0383	0.08358	47.552	122.397	0	-6.25	151.35	0.00628	-3	0.564	289.81	41
SZ2086	B	1.978	15	0.0418	0.10871	47.301	110.590	1	-7.59	-57.18	0.00694	-2	0.597	285.01	42
SZ2087	B	1.961	15	0.0418	0.10872	46.863	109.772	1	-7.53	-1696	0.00685	-2	0.591	286.28	42
SZ2088	B	1.967	15	0.0394	0.09731	49.946	110.368	1	-7.59	-4.853	0.00703	-2	0.597	279.80	42
SZ2089	D	1.954	14	0.0342	0.10871	57.171	104.282	1	-7.22	-6.424	0.00702	-2	0.556	278.35	40
SZ2090	B	2.033	15	0.0376	0.10872	54.065	108.445	1	-7.52	2.453	0.00708	-2	0.590	287.15	40
SZ2091	B	1.877	15	0.0386	0.10871	48.662	102.888	0	-6.77	-646.0	0.00648	-3	0.510	289.66	42
SZ2092	A	1.891	16	0.0398	0.09368	47.540	93.324	1	-5.93	-1.970	0.00676	-2	0.403	279.73	40
SZ2093	B	1.955	15	0.0393	0.10871	49.738	109.006	1	-7.34	372.63	0.00655	-3	0.459	298.47	42
SZ2094	B	1.948	15	0.0397	0.10871	49.102	110.164	0	-7.41	-288.2	0.00651	-3	0.467	299.23	42
SZ2095	B	1.892	15	0.0388	0.10872	48.757	102.160	1	-6.91	231.55	0.00676	-4	0.339	279.88	42
SZ2096	B	1.906	15	0.0388	0.10871	49.065	104.194	1	-7.03	-392.1	0.00665	-3	0.426	286.62	42
SZ2097	B	1.865	15	0.0364	0.10871	51.300	97.097	2	-6.66	160.79	0.00687	-4	0.274	271.47	42
SZ2098	B	2.022	15	0.0399	0.10871	50.692	117.036	0	-7.90	497.74	0.00656	-3	0.529	308.23	42
SZ2099	B	2.050	15	0.0429	0.10913	47.776	125.829	0	-8.34	-2173	0.00696	-1	0.798	294.54	42
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			

Tabla 5.4.5. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2080 al SZ2099 (Re = 1 E6).

5.5 Propiedades Aerodinámicas de los perfiles de la serie SZ – 2100:

Las propiedades aerodinámicas de los perfiles de la serie SZ – 2100 se obtuvieron en forma análoga a la forma como se determinaron estas mismas características para la serie SZ – 2000 de manera que, tanto la tabla como los parámetros que se reportan en ésta son exactamente los mismos parámetros que se reportaron en la tabla de propiedades aerodinámicas del subcapítulo anterior sólo que esta vez son los valores de cada perfil de la serie SZ – 2100. De igual forma todos estos valores se guardaron con el mismo formato de archivo (con la extensión .dat) en los directorios de cada perfil para manejar esta data y realizar las gráficas correspondientes en Grapher 1.3®. Igualmente todos estos valores se obtuvieron para un régimen definido por un número de Reynolds de 1×10^6 . A continuación se muestran las tablas con las propiedades aerodinámicas para los perfiles de la serie SZ – 2100.

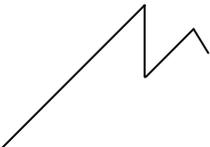
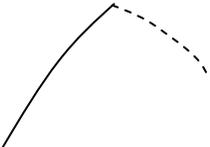
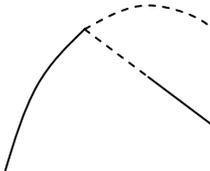
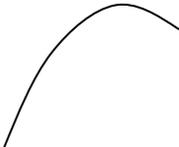
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2100	B	2.1976	15	0.0406	0.10942	54.121	137.703	0	-9.22	2850.02	0.00679	-3	0.67441	323.65	42
SZ2101	B	2.2029	15	0.04045	0.10942	54.463	137.780	0	-9.25	3183.96	0.00680	-3	0.67773	323.95	42
SZ2102	B	1.8130	14	0.03337	0.08385	54.330	106.888	0	-6.03	-479.974	0.00641	-1	0.58169	282.84	39
SZ2103	B	1.9828	15	0.04208	0.10912	47.119	113.829	1	-7.57	977.985	0.00674	-2	0.5942	294.18	42
SZ2104	B	1.6960	16	0.03742	0.10868	45.328	76.991	5	-4.18	4.874	0.00725	-1	0.30975	233.930	40
SZ2105	B	1.9232	14	0.03630	0.1009	52.978	114.263	0	-7.55	220.920	0.00641	-3	0.49093	300.033	41
SZ2106	B	1.7216	15	0.03486	0.10841	49.388	84.291	3	-5.30	5.501	0.00693	-2	0.33623	248.423	41
SZ2107	B	1.8566	16	0.03945	0.09352	47.061	88.393	3	-5.63	20.127	0.00714	-2	0.37077	260.030	40
SZ2108	B	1.8491	15	0.03640	0.09158	50.801	90.473	1	-5.86	-40.551	0.00681	-4	0.17994	271.529	40
SZ2109	B	1.8122	15	0.03614	0.1082	50.141	84.918	4	-5.63	-25.061	0.00701	-4	0.14841	258.518	40
SZ2110	B	1.8177	15	0.03767	0.09391	48.250	91.852	1	-6.19	-0.861	0.00689	-4	0.22458	263.811	41
SZ2111	B	1.8843	15	0.03661	0.09241	51.476	95.401	5	-6.25	1.309	0.00695	-2	0.43891	271.125	40
SZ2112	B	1.8722	15	0.03642	0.09391	51.407	91.355	6	-6.08	-2.200	0.00696	-2	0.42116	268.994	40
SZ2113	A	1.8333	16	0.03922	0.1082	46.742	81.957	3	-5.19	-9.212	0.00680	-4	0.09993	269.609	40
SZ2114	B	1.8243	15	0.04089	0.09369	44.616	102.649	1	-6.29	962.621	0.00647	0	0.66304	281.968	41
SZ2115	B	1.7447	15	0.03750	0.10841	46.532	93.225	2	-5.56	22.887	0.00651	-1	0.47355	267.997	40
SZ2116	B	1.8392	14	0.03419	0.10955	53.794	111.074	1	-6.26	1112.24	0.00634	0	0.66186	290.099	38
SZ2117	B	1.8041	15	0.03636	0.0938	49.617	97.547	1	-5.52	-6.980	0.00664	0	0.58376	271.706	39
SZ2118	B	1.7658	16	0.03727	0.10868	47.381	86.416	4	-4.77	-3.971	0.00712	0	0.48442	248.004	39
SZ2119	B	1.7092	16	0.03657	0.10906	46.732	79.664	5	-4.18	-0.861	0.00743	0	0.42173	230.036	39
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.5.1. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2100 al SZ-2119 (Re = 1 E6).

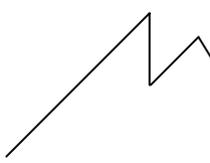
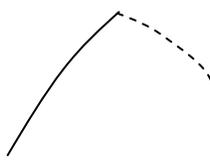
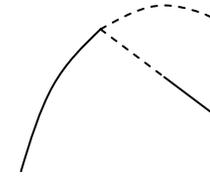
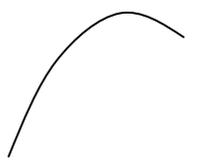
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2120	B	1.7099	16	0.03753	0.10868	45.561	77.933	6	-4.31	17.052	0.00726	-1	0.32351	235.522	40
SZ2121	D	1.9278	16	0.04404	0.09458	43.770	95.119	1	-5.58	-26.279	0.00637	-3	0.26083	302.637	39
SZ2122	D	2.1518	14	0.05927	0.10089	36.304	135.012	0	-9.12	35844.3	0.00712	-1	0.88337	302.219	88
SZ2123	A	2.2257	15	0.06564	0.10942	33.909	143.336	0	-9.95	5738.9	0.00756	0	1.08405	294.407	87
SZ2124	A	1.8367	16	0.04581	0.10783	40.098	98.954	2	-4.65	1051.27	0.00693	2	0.68605	265.036	37
SZ2125	A	2.2071	13	0.03256	0.14477	67.782	153.120	2	-10.61	-6959.51	0.00737	-2	0.94439	299.465	42
SZ2126	B	1.8116	16	0.03922	0.10905	46.191	93.600	1	-5.28	20.883	0.00687	0	0.53604	263.703	39
SZ2127	B	1.9249	16	0.04062	0.10955	47.389	100.027	2	-6.83	80.220	0.00723	-4	0.29737	266.239	43
SZ2128	A	1.5024	11	0.02695	0.10942	56.408	130.643	3	-7.72	-2355.71	0.00664	-1	0.73095	226.265	47
SZ2129	A	1.8314	16	0.03899	0.10667	46.987	92.788	2	-5.46	-114.718	0.00632	-1	0.46725	289.785	40
SZ2130	B	1.6619	16	0.03700	0.09031	44.912	74.002	5	-3.82	-4.508	0.00745	-1	0.27385	223.077	39
SZ2131	B	1.6585	16	0.03726	0.09031	44.517	72.686	6	-3.81	-11.170	0.00731	-1	0.27647	226.877	39
SZ2132	B	2.0782	15	0.03963	0.09731	52.441	123.745	2	-8.05	-1492.72	0.00784	0	0.8682	264.971	40
SZ2133	A	1.8763	15	0.03657	0.09368	51.306	90.654	2	-6.21	-31.484	0.00697	-4	0.22548	269.190	40
SZ2134	B	1.8025	15	0.03787	0.09369	47.598	92.320	1	-6.09	145.178	0.00674	-4	0.21582	267.430	41
SZ2135	B	1.9077	15	0.03700	0.09369	51.565	94.344	2	-6.50	385.082	0.00686	-4	0.25697	278.096	40
SZ2136	B	1.8862	16	0.04124	0.09458	45.740	93.060	1	-5.20	1058.59	0.00621	-1	0.42909	303.733	39
SZ2137	A	1.8664	16	0.04089	0.09458	45.643	92.167	1	-5.02	1042.62	0.00613	-1	0.50679	304.476	39
SZ2138	B	1.8792	16	0.04549	0.09458	41.308	105.783	1	-5.14	602.339	0.00594	1	0.62782	316.369	38
SZ2139	B	1.787	16	0.04202	0.10783	42.527	96.900	1	-4.24	-6.876	0.00549	1	0.53227	325.501	37
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.5.2. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2120 al SZ-2139 (Re = 1 E6).

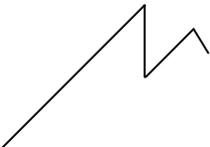
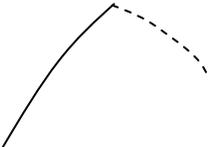
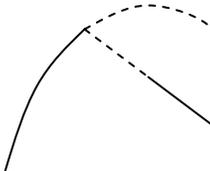
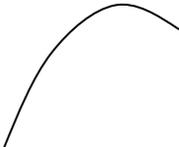
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2140	D	2.1700	16	0.04630	0.09164	46.867	112.653	0	-7.36	-5441.93	0.00650	-2	0.5551	333.849	40
SZ2141	D	1.9035	16	0.04408	0.09458	43.179	112.526	1	-5.36	49.038	0.00553	-1	0.44642	344.213	38
SZ2142	A	1.2569	12	0.02784	0.0989	45.154	112.205	5	-4.95	3255.89	0.00761	2	0.07409	165.164	46
SZ2143	A	1.4020	13	0.02985	0.10914	46.968	103.083	5	-5.50	-111.985	0.00675	-1	0.47986	207.703	47
SZ2144	A	1.9607	15	0.04568	0.10824	42.921	116.799	1	-6.67	2089.66	0.00627	-1	0.60136	312.707	40
SZ2145	A	2.0410	16	0.04881	0.10824	41.818	115.817	1	-6.61	-4214.90	0.0062	-1	0.59513	329.185	39
SZ2146	A	2.0469	16	0.04776	0.10823	42.855	117.707	1	-6.67	-2.780	0.00629	-1	0.60106	325.418	39
SZ2147	D	2.0179	16	0.04484	0.10823	45.007	108.961	1	-6.30	-3.157	0.00641	-3	0.3394	314.805	39
SZ2148	B	2.0534	16	0.04446	0.10823	46.190	114.028	1	-6.60	4.183	0.00641	-1	0.59424	320.346	39
SZ2149	A	1.3014	12	0.02838	0.10913	45.863	108.551	4	-5.44	996.659	0.00749	1	0.69201	173.752	47
SZ2150	B	1.8686	16	0.04232	0.09458	44.153	94.283	1	-5.00	4.184	0.00616	-3	0.19774	303.349	39
SZ2151	A	1.2083	12	0.02576	0.10897	46.907	106.224	5	-4.54	-3.046	0.00667	0	0.47704	181.154	46
SZ2152	A	2.0357	16	0.04709	0.09458	43.228	114.703	1	-6.42	151.615	0.00581	-2	0.45129	350.384	39
SZ2153	A	2.0280	16	0.04724	0.09458	42.930	118.996	1	-6.49	-328.369	0.00596	-3	0.36101	340.267	39
SZ2154	A	1.5503	14	0.03693	0.10943	41.983	114.868	5	-7.66	-3121.13	0.00721	-1	0.72438	215.021	53
SZ2155	A	1.9946	16	0.04555	0.09458	43.794	107.654	1	-6.11	-452.893	0.00595	-2	0.42975	335.234	39
SZ2156	B	1.9449	16	0.04405	0.09458	44.150	98.865	1	-5.73	-35.765	0.00627	-1	0.48777	310.183	39
SZ2157	A	1.3260	12	0.02793	0.10914	47.470	109.595	5	-5.66	-82.912	0.00606	-1	0.49724	218.812	47
SZ2158	A	1.2303	12	0.02823	0.10913	43.575	95.884	5	-4.79	130.950	0.00695	-5	0.09589	177.022	48
SZ2159	A	2.1298	16	0.05011	0.10874	42.502	134.146	1	-7.42	-4238.18	0.00606	-1	0.69282	351.459	40
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.5.3. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2140 al SZ-2159 (Re = 1 E6).

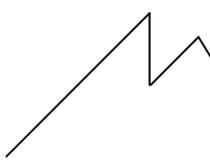
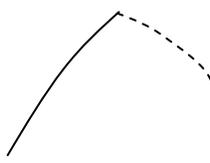
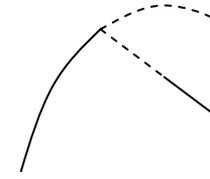
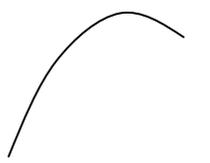
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	$C_{Dm\acute{i}n}$	α_D [°]	$C_{L(Dm\acute{i}n)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dm\acute{i}n}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2160	A	2.1123	16	0.04833	0.10875	43.708	131.315	1	-7.26	2.683	0.00609	-1	0.67532	346.854	40
SZ2161	D	2.0698	15	0.04180	0.10915	49.523	129.697	1	-7.77	68.629	0.00627	-1	0.73689	330.108	41
SZ2162	A	1.5024	11	0.02661	0.10942	56.351	128.657	3	-7.56	-52.496	0.00667	-1	0.71357	225.247	48
SZ2163	A	1.4995	12	0.03045	0.10942	49.249	116.825	2	-6.93	1584.8	0.00641	-2	0.53368	233.968	34
SZ2164	D	1.8762	16	0.04339	0.10762	43.236	105.285	1	-5.11	75.670	0.00559	-1	0.47652	335.630	38
SZ2165	A	1.9650	15	0.04642	0.10761	42.333	118.460	1	-6.64	-1117.15	0.00592	-2	0.47633	331.921	40
SZ2166	A	1.4399	10	0.2323	0.10914	61.985	131.925	4	-6.97	50926.9	0.00680	-1	0.64837	211.906	45
SZ2167	A	1.9587	15	0.04618	0.09164	42.418	115.955	1	-6.62	-191.579	0.00569	-2	0.47414	344.239	40
SZ2168	D	1.8018	16	0.04214	0.10761	42.756	81.409	1	-4.38	16.497	0.00628	-1	0.33936	286.911	38
SZ2169	D	1.8334	15	0.03596	0.10845	50.985	87.077	1	-4.71	-18.901	0.00640	-1	0.37462	286.464	37
SZ2170	A	1.5414	13	0.03315	0.10308	46.500	119.304	4	-8.07	439.452	0.006759	-1	0.7687	228.051	52
SZ2171	A	1.3671	11	0.02444	0.1002	55.948	106.302	5	-5.41	-37.346	0.006198	-1	0.52748	220.571	43
SZ2172	D	1.8979	16	0.04438	0.10823	42.769	94.671	1	-5.26	2.849	0.00633	-3	0.22628	299.825	39
SZ2173	D	1.9045	16	0.04318	0.10823	44.108	96.637	1	-5.32	3.702	0.00637	-3	0.23274	298.976	39
SZ2174	D	1.8926	16	0.04263	0.09457	44.397	92.280	1	-5.16	9.395	0.00639	-3	0.21499	296.186	39
SZ2175	A	1.3697	11	0.02649	0.10914	51.700	121.713	5	-6.91	-1886.77	0.006719	-1	0.64206	203.855	50
SZ2176	A	1.8081	14	0.03631	0.09458	49.799	107.073	1	-5.37	454.132	0.00560	-1	0.44726	322.877	37
SZ2177	A	1.8247	16	0.04478	0.0948	40.745	95.597	1	-4.64	-11.165	0.00567	-1	0.36839	321.755	38
SZ2178	A	1.8982	16	0.04807	0.10908	39.487	115.972	1	-5.34	1.709	0.00550	-1	0.45849	345.127	38
SZ2179	D	1.8213	16	0.04381	0.10909	41.573	102.229	1	-4.60	0.023	0.00575	1	0.58761	316.849	37
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.5.4. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2160 al SZ-2179 (Re = 1 E6).

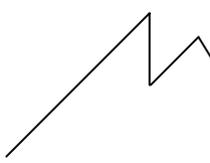
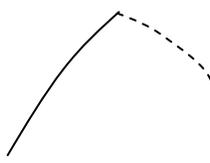
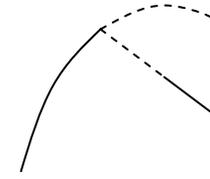
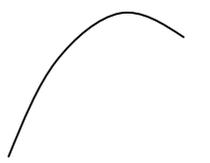
Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	C_{Dmin}	α_D [°]	$C_{L(Dmin)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dmin}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
SZ2180	D	1.8403	17	0.04076	0.1081	45.148	80.161	5	-3.85	-3.810	0.00624	1	0.4893	294.923	37
SZ2181	B	1.7815	17	0.03949	0.10848	45.110	74.312	6	-3.25	3.814	0.006593	1	0.427	270.340	37
SZ2182	B	1.7854	17	0.04073	0.10652	43.835	69.909	6	-3.39	-20.825	0.00656	-1	0.21971	272.169	37
SZ2183	B	1.7714	17	0.04065	0.1081	43.582	70.595	5	-3.26	17.018	0.00676	-2	0.09473	262.043	37
SZ2184	A	1.4396	10	0.02324	0.10177	61.949	131.748	4	-6.97	-3.068	0.006806	-1	0.64809	211.519	45
SZ2185	B	2.2321	16	0.04467	0.09748	49.966	138.975	0	-8.20	4495.70	0.00611	-1	0.76913	365.318	40
SZ2186	A	1.4287	12	0.02763	0.10914	51.699	120.047	5	-6.60	-4.024	0.006966	-1	0.60759	205.096	49
SZ2187	A	1.4622	12	0.02761	0.10914	52.966	130.282	5	-6.90	1.613	0.006926	-1	0.64117	211.118	49
SZ2188	A	1.3798	12	0.02785	0.10914	49.553	109.104	3	-6.15	-237.201	0.006468	-3	0.45189	213.327	48
SZ2189	A	1.8912	17	0.04800	0.09465	39.403	95.469	1	-4.36	679.442	0.00566	1	0.54064	334.134	37
SZ2190	A	2.1037	18	0.05081	0.10957	41.404	102.709	1	-5.91	-35.985	0.00675	-1	0.52943	311.652	40
SZ2191	A	1.2870	12	0.02630	0.10914	48.932	103.831	4	-5.31	-0.559	0.006688	-2	0.34807	192.434	48
SZ2192	B	1.8137	16	0.04107	0.10762	44.163	95.934	1	-4.54	21.304	0.00555	-1	0.35798	326.789	38
SZ2193	A	1.685	16	0.03699	0.10784	45.548	66.519	6	-2.89	5.668	0.00679	-1	0.17006	248.159	36
SZ2194	A	1.6841	16	0.03722	0.10784	45.247	66.028	5	-2.89	-6.644	0.00660	-1	0.16665	255.168	36
SZ2195	D	2.0981	16	0.04520	0.10823	46.419	127.444	2	-7.13	-2437.96	0.00693	0	0.75211	302.756	39
SZ2196	B	1.8962	16	0.04247	0.09458	44.641	89.665	1	-5.29	20.753	0.00648	-1	0.43911	294.897	39
SZ2197	A	1.8974	16	0.04397	0.09458	43.167	93.396	1	-5.17	23.661	0.00625	-1	0.42541	303.590	39
SZ2198	A	1.2231	12	0.02547	0.10914	48.014	94.815	6	-4.68	3.253	0.006792	-1	0.38991	180.080	48
SZ2199	A	1.4560	12	0.02992	0.10943	48.659	117.553	3	-6.72	379.610	0.006559	-2	0.51084	221.985	48
Formas de las Curvas de C_L vs. α															
A				B				C				D			
															

Tabla 5.5.5. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles SZ-2180 al SZ-2199 (Re = 1 E6).

5.6 Propiedades Aerodinámicas de los perfiles Base (Perfiles FX):

Una vez que se probaron y analizaron los perfiles de las series SZ – 2000 y SZ – 2100 se realizó el análisis correspondiente para los 65 perfiles de la familia FX contenidos en la librería de perfiles de Visual Foil 4.1®. Este análisis arrojó los datos que se presentan a continuación y que se organizaron en la misma forma que se evaluaron y organizaron todas las propiedades para los perfiles de las distintas series generadas.

Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L/\Delta\alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	C_{Dmin}	α_D [°]	$C_{L(Dmin)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dmin}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
FX049915	A	1,46797	10	0,0124	0,10937	119,9812	119,9812	10	-3,72	-0,129	0,007928	2	0,61957	185,16271	30
FX05188	A	1,25854	7	0,01348	0,10131	93,33581	116,0656	5	-5,33	73,079	0,00729	-3	0,36783	172,63923	39
FX05191	A	1,3829	13	0,02927	0,074955	47,23987	101,686	5	-5,33	76,515	0,006647	-1	0,55791	208,04874	47
FX057816	A	1,1888	8	0,01018	0,10696	116,8009	122,6548	6	-3,97	-0,080	0,007408	1	0,54206	160,475198	34
FX05H126	A	0,82092	7	0,00744	0,10966	110,3684	110,3684	7	-0,99	0,008	0,005868	1	0,21815	139,89775	26
FX082512	A	1,83629	10	0,02548	0,09532	72,08205	118,3529	0	-7,31	6,149	0,006282	-3	0,45403	292,309773	38
FX08S176	D	1,38646	8	0,01163	0,10943	119,2346	124,5416	6	-5,43	25,457	0,007562	-1	0,47955	183,345675	35
FX2	A	1,64958	20	0,06546	0,070714	25,2002	111,811	5	-5,71	61,767	0,007315	1	0,65283	225,506493	53
FX3	A	1,90953	18	0,05446	0,091444	35,06556	121,3237	3	-6,91	-36674,56	0,006824	-4	0,62551	279,8256	47
FX38153	B	1,89976	16	0,05217	0,07257	36,41759	118,1146	1	-5,32	-86,117	0,005761	-2	0,51543	329,762194	39
FX60100	B	1,49369	12	0,02559	0,10967	58,37006	111,3284	4	-4,67	-0,127	0,006227	-1	0,40287	239,87313	39
FX601001	A	1,48102	11	0,02257	0,10966	65,61606	100,8125	4	-4,59	-0,126	0,006102	-2	0,28381	242,7105867	37
FX60100S	B	1,47759	12	0,02512	0,10966	58,81892	110,3811	4	-4,66	-0,127	0,00631	-2	0,29196	234,1664	39
FX60126	B	1,48665	12	0,02310	0,10966	64,34879	99,92901	4	-4,67	-0,127	0,006813	-2	0,29322	218,207838	39
FX601261	A	1,64622	10	0,01995	0,10966	82,50489	114,7628	5	-5,75	-0,156	0,007107	-3	0,30197	231,6336	36
FX60157	A	1,80524	14	0,03374	0,09938	53,50603	99,37209	1	-6	-204,199	0,006257	-3	0,41289	288,515263	40
FX60160	D	1,46663	12	0,02553	0,10877	57,43832	102,4829	4	-4,42	1,324	0,007033	-2	0,25639	208,535476	39
FX60177	B	1,88451	15	0,03924	0,085228	48,02401	128,1775	0	-6,84	-554,549	0,006596	-3	0,73577	285,704973	42
FX61140	C	1,62558	10	0,02320	0,10967	70,08321	112,806	5	-5,72	239,340	0,006544	-3	0,298	248,40770	36
FX61147	D	1,84211	11	0,02772	0,1094	66,44939	119,0071	5	-6,87	388,783	0,006729	-3	0,41527	273,756873	37
FX61163	A	1,558	9	0,01773	0,10942	87,87862	117,8895	5	-5,65	-560,508	0,007519	-2	0,39383	207,208405	35

Formas de las Curvas de C_L vs. α

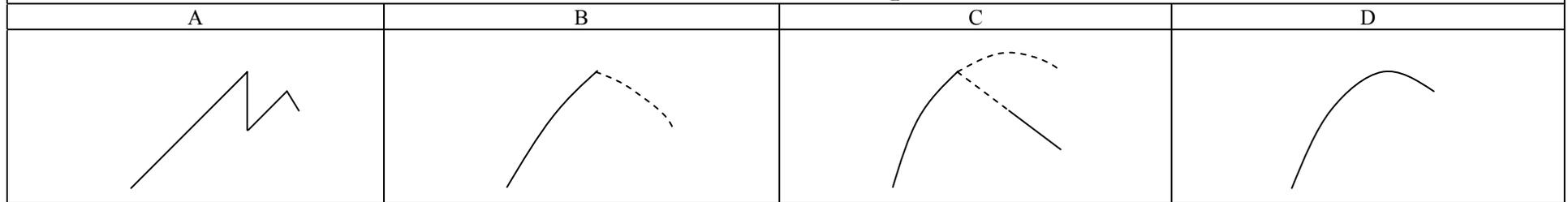


Tabla 5.6.1. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles Base FX049915 al FX05188 (Re = 1 E6).

Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	C_{Dmin}	α_D [°]	$C_{L(Dmin)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dmin}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
FX61168	B	1,74043	10	0,02458	0,10941	70,79523	121,6969	5	-6,65	540,40	0,007899	-3	0,39117	220,335486	36
FX61184	A	1,5329	8	0,01629	0,10941	94,10891	116,3614	5	-6,05	-102,965	0,007415	-3	0,32788	206,72960	36
FX62K131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FX62K153	C	1,5656	11	0,02756	0,10941	56,79945	144,1198	3	-7,76	2748,486	0,00694	-1	0,7334	225,5907781	47
FX63100	B	1,57537	11	0,02284	0,10966	68,96813	115,34	3	-6,28	-0,169	0,006791	-2	0,4692	231,97909	41
FX63110	D	1,57223	11	0,02312	0,10565	67,99126	115,4389	2	-6,28	-0,169	0,007084	0	0,68846	221,940994	41
FX63120	A	1,68593	9	0,01939	0,10915	86,96636	123,2095	2	-7,56	-0,204	0,007316	-2	0,60489	230,444232	39
FX63137	D	1,94508	8	0,01708	0,10941	113,8704	138,7051	3	-9,44	-1261,148	0,007666	-2	0,80806	253,72815	38
FX63137S	A	1,86165	9	0,02170	0,10911	85,78637	133,4795	3	-9,28	-1638,296	0,007959	-3	0,67079	233,905032	40
FX63143	D	1,31261	10	0,02053	0,10943	63,94865	108,584	6	-3,88	34,708	0,007103	0	0,42123	184,79656	36
FX63145	A	1,83676	10	0,01958	0,10966	93,78881	121,5385	6	-6,70	-109911,3	0,00799	-1	0,62508	229,88235	34
FX63147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FX63158	A	1,76717	9	0,0215	0,10942	82,20542	122,996	6	-7,20	-7418,607	0,007884	-2	0,56264	224,13965	36
FX6617A2	A	1,33541	9	0,01265	0,10208	105,6077	105,6077	9	-3,70	1,247	0,008054	-3	0,0635	165,80705	33
FX6617AI	A	1,27387	9	0,01262	0,10916	100,9806	103,1293	7	-3,64	-2,041	0,008268	-1	0,28045	154,07233	34
FX66182	A	1,50023	9	0,02686	0,11159	55,86409	97,4757	6	-4,26	-13,585	0,007833	-3	0,15393	191,526873	31
FX66196V	A	1,29281	9	0,01149	0,10943	112,4867	112,4867	9	-4,58	-38,176	0,008551	-4	0,05844	151,188165	38
FX66A175	A	1,31551	8	0,01241	0,10826	106,0468	107,5786	7	-4,47	-8,336	0,008467	-1	0,36956	155,36908	34
FX66S161	A	1,40379	9	0,01338	0,10462	104,9249	121,2221	6	-4,42	3,330	0,00808	-2	0,26135	173,7363861	34
FX66S171	A	1,40471	9	0,01301	0,10916	107,9716	119,4955	8	-4,40	0,458	0,008187	-2	0,25956	171,578112	38
FX66S196	B	1,17657	9	0,01268	0,10827	92,80408	97,50817	8	-3,87	-10,121	0,00801	-3	0,08029	146,88764	38

Formas de las Curvas de C_L vs. α

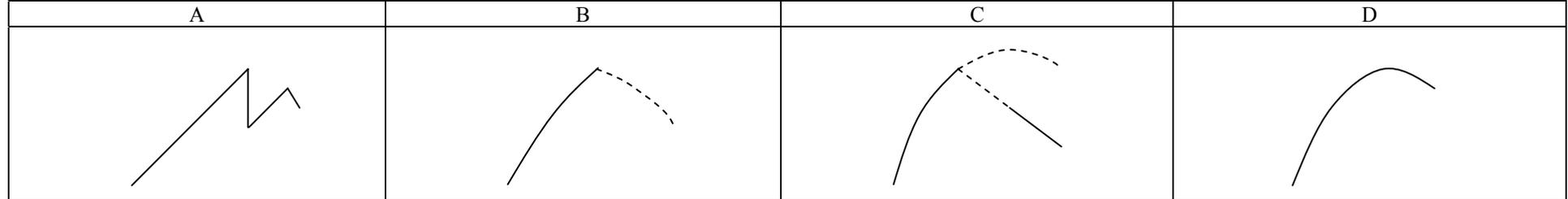


Tabla 5.6.2. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles Base FX61168 al FX66S196 (Re = 1 E6).

Perfil	Tipo curva C_L	$C_{Lm\acute{a}x}$	α_M [°]	$C_{D(Lm\acute{a}x)}$	$\Delta C_L / \Delta \alpha$	ϵ_{α_M}	ϵ_M	α_{ϵ_M} [°]	α_O [°]	C_{mo}	C_{Dmin}	α_D [°]	$C_{L(Dmin)}$	$C_{Lm\acute{a}x} / C_{Dmin}$	c. p. para $C_{Lm\acute{a}x}$ (% c)
FX67K150	A	1,14479	6	0,00905	0,10528	126,5241	126,5241	6	-4,60	-2293,208	0,006822	-1	0,39152	167,808561	35
FX67K170	A	0,99715	14	0,03167	0,10315	31,48166	98,65514	6	-4,32	0,748	0,007165	-1	0,35637	139,16957	60
FX69H083	B	1,14177	11	0,02019	0,11123	56,54006	85,64467	5	-1,13	-0,014	0,005062	0	0,12353	225,557092	30
FX69H098	B	1,30301	13	0,02532	0,11686	51,46779	83,9844	8	-0,75	-0,021	0,005809	1	0,19974	224,308831	29
FX71089A	A	1,24804	13	0,02383	0,10967	52,36385	72,13535	9	0	0	0,007008	0	0,00001	178,0788995	29
FX71120	B	1,33173	14	0,02251	0,10828	59,17222	72,59481	9	0	0	0,007515	0	0,00002	177,209581	29
FX711520	A	0,6556	6	0,01069	0,10967	61,34262	61,34262	6	0	0	0,006934	0	0,00002	94,5486011	25
FX711525	A	0,75703	7	0,01270	0,10967	59,63214	61,3012	6	0	0	0,007018	0	0,00002	107,869763	25
FX71L150	A	0,6556	6	0,01069	0,10966	61,34262	61,34262	6	0	0	0,006934	0	0,00003	94,5486011	25
FX72150A	B	1,68747	9	-	0,0926	-	135,4525	6	-9,18	-11423,68	0,009562	0	0,96656	176,476679	74
FX72150B	A	2,57449	13	0,38767	-0,19472	6,640915	6,640915	13	-10,70	1047,201	0,38767	13	2,57449	6,640915	36
FX74CL51	A	2,50478	11	0,02044	0,10909	122,561	137,182	4	-12,54	-164537,9	0,011252	-1	1,2424	222,607536	38
FX74MODS	A	2,46516	10	0,01942	0,10908	126,9589	139,1116	3	-12,15	-2708,653	0,010802	-2	1,10223	228,213294	37
FX77W153	A	1,24026	12	0,01529	0,11912	81,09455	92,38861	10	-0,50	-0,280	0,007118	1	0,16863	174,242765	26
FX77W258	-	14,0547	-9	0,01935	-5,46775	726,301	726,301	-9	-7,23	171,248	0,009335	-2	-1,06081	1505,59186	-5
FXW77343	-	6,59562	-6	0,01277	-	516,5742	517,0278	-7	-49,75	-69294,76	0,01261	-7	6,51972	523,04679	38
FX79K144	A	1,01906	15	0,03162	0,10878	32,22935	75,50488	4	-0,77	-0,581	0,005506	-1	-0,0357	185,081729	44
FXL142K	B	1,01642	10	0,01634	0,10966	62,2044	66,35092	9	0	0	0,007155	0	0,00001	142,057303	27
FXLV152	D	0,87391	9	0,01534	0,10967	56,98051	62,5201	6	-0,14	-0,004	0,007036	0	0,01538	124,2055145	29
FXM2	A	1,92333	15	0,02921	0,14768	65,85619	109,6141	6	-5,42	-2455,600	0,008955	0	0,59451	214,77722	35
FXS02196	B	1,27625	9	0,01358	0,10113	93,96629	109,7716	8	-4,83	-0,123	0,008401	-3	0,19719	151,917629	39
FXS03182	B	1,30086	10	0,02253	0,10876	57,75183	112,972	5	-4,92	25,991	0,007585	-3	0,20952	171,504285	42
FXS21158	A	1,37006	8	0,01087	0,10966	126,0521	126,0521	8	-4,55	-0,115	0,009117	-3	0,16949	150,275310	33

Formas de las Curvas de C_L vs. α

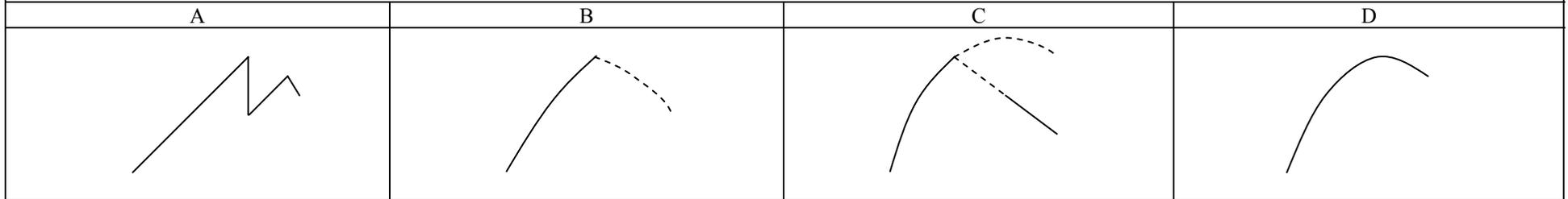


Tabla 5.6.3. Propiedades Aerodinámicas para los perfiles Base FX67K150 al FXS21158 (Re = 1 E6).

CAPÍTULO 6: EXPRESIONES DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y CÁLCULO DE LAS FUERZAS HIDRODINÁMICAS

En este capítulo se presentan las ecuaciones generales, entendiéndose por estas el potencial complejo, la función de corriente, la función de potencial de velocidades, la velocidad radial y tangencial, el coeficiente de presión, las fuerzas hidrodinámicas (sustentación y arrastre) y la velocidad inducida para cada uno de los modelos matemáticos propuestos por el Profesor Stefan Zarea.

Para el desarrollo de los cálculos requeridos por estos modelos se emplea como herramienta el programa Scientific WorkPlace 3.0 (R).

A continuación se describe en detalle cada modelo, incluyendo el modelo Clásico. De ahora en adelante, los modelos matemáticos propuestos se mencionarán como SZ-I, SZ-II y SZ-III. Cabe señalar que cada uno de estos modelos matemáticos han sido elaborados con el propósito de eliminar la paradoja de d'Alembert, es decir, se puede calcular la fuerza de arrastre, aparte de la fuerza de sustentación.

6.1 Modelo Matemático Clásico

Este es el modelo de flujo de traslación con circulación alrededor de un cilindro (Fig.-6.1.1), el potencial complejo de éste tiene la expresión:

$$F(z) = V_0 z + V_0 \frac{a^2}{z} + \frac{\Gamma}{2} i - \ln \frac{z}{a} \quad 6.1.1$$

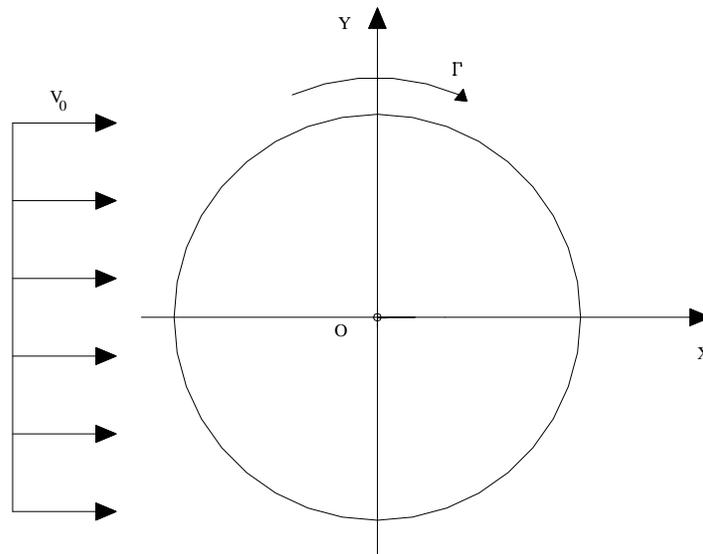


Fig 6.1.1: Esquema general del modelo Clásico

El potencial de velocidades y la función de corriente tienen las siguientes expresiones:

$$V_o \left(R \cos \theta - \frac{a^2}{R} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} \rho V_o^2 \quad 6.1.2$$

$$V_o \left(R \sin \theta - \frac{a^2}{R} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} \rho V_o^2 \ln \frac{R}{a} \quad 6.1.3$$

Las velocidades del flujo tienen las siguientes expresiones:

$$V_R = -V_o \left(\cos \theta - \frac{a^2}{R^2} \cos \theta \right) \quad 6.1.4$$

$$V_\theta = \left(V_o \sin \theta + V_o \frac{a^2}{R^2} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} \frac{\rho V_o^2}{R} \quad 6.1.5$$

Las velocidades sobre el círculo son

$$V_R = 0 \quad 6.1.6$$

$$V_\theta = 2V_o - \frac{1}{2} \frac{\rho V_o^2}{R} \quad 6.1.7$$

El Coeficiente de Presión se define como

$$C_p = 1 - \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \quad 6.1.8$$

Evaluando sobre el cilindro, se toma la ecuación (6.1.5) y se sustituye en la ecuación anterior.

Para las fuerzas aerodinámicas se utiliza el teorema de Blasius (Milne-Thomson, 1.958)

$$X - iY = \frac{1}{2} \rho i \int \left(\frac{dF}{dz} \right)^2 dz \quad 6.1.9$$

Para resolver la integral del Teorema de Blasius se utiliza el Teorema del Residuo (Murray, 1.971; Hauser, 1.973).

En el caso donde $z = a$ es un polo de orden k existe una fórmula simple para a_n dada por

$$a_n = \lim_{z \rightarrow a} \frac{1}{(k-1)!} \frac{d^{k-1}}{dz^{k-1}} \left[(z-a)^k f(z) \right] \quad 6.1.10$$

Si $k = 1$ (polo simple) el resultado es muy sencillo y está dado por

$$a_n = \lim_{z \rightarrow a} \frac{d}{dz} (z-a) f(z) \quad 6.1.11$$

el cual es un caso especial de (6.1.10) con $k = 1$, si definimos $0! = 1$.

Entonces, se obtienen las siguientes expresiones de:

Fuerza de Arrastre

$$X = 0 \quad 6.1.12$$

Fuerza de Sustentación

$$Y = V_o \quad 6.1.13$$

Para los Coeficientes Aerodinámicos se tiene:

El Coeficiente de Arrastre se define como

$$F_D = C_D \frac{\rho}{2} V_o^2 c_l \quad X = C_D = \frac{X}{\frac{\rho}{2} V_o^2 2a_1} \quad 6.1.14$$

donde X se sustituye por su expresión (6.1.12)

El Coeficiente de Sustentación se define como

$$F_L = C_L \frac{\rho}{2} V_o^2 c_l \quad Y = C_L = \frac{Y}{\frac{\rho}{2} V_o^2 2a_1} \quad 6.1.15$$

donde Y se sustituye por su expresión (6.1.13). Para ambos casos $c = 2a$

6.1.1 Espectros hidrodinámicos del flujo alrededor de un obstáculo cilindro

A continuación se presenta el espectro hidrodinámico del modelo clásico (fig.-6.1.2). Los cálculos de estos se llevan a cabo con una rutina elaborada con el programa Mathcad 11 (R), la representación gráfica de las líneas de corriente se realizan con la ayuda del programa Surfer 6.04 (R).

Los valores de los parámetros son:

$$4.568, aV_{oo} = 3.448$$

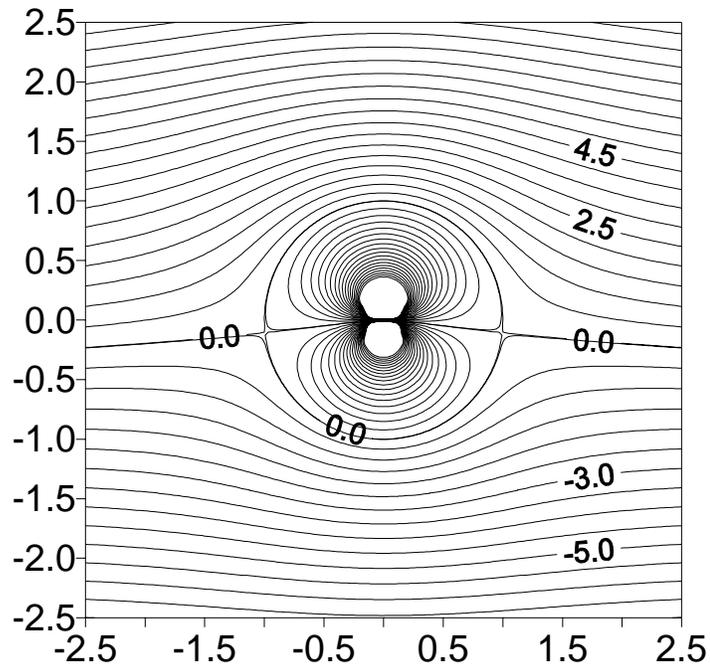


Fig 6.1.2 Modelo Clásico

De igual forma se presenta el perfil de velocidades (fig.-6.1.3) sobre el cilindro para diversos valores del ángulo θ , que varían desde 0° hasta 360° en intervalos de 30° . Para el cálculo, se utiliza una rutina elaborada en el programa Mathcad 2.001 (R) y su representación gráfica es elaborada en Grapher 1.30 (R)

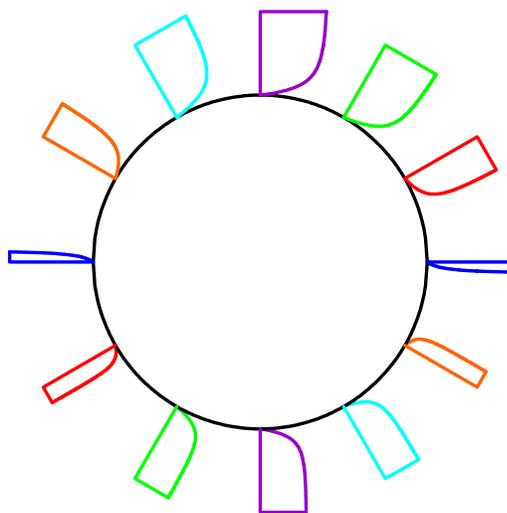


Fig 6.1.3 Perfiles de Vel. Tang. mod. Clásico

Para el Coeficiente de Presión se obtiene la siguiente representación gráfica (fig.-6.1.4) elaborada en Grapher 1.30 (R)

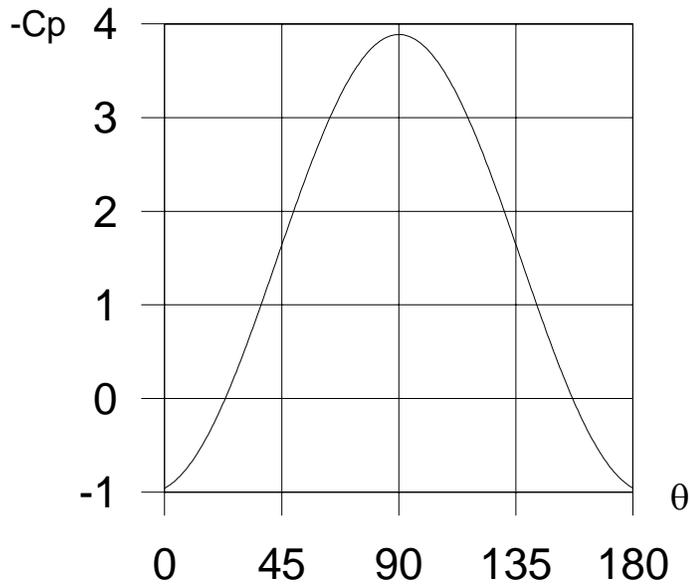


Fig 6.1.4 Coef. de Presión mod. Clásico

Observe en la figura (6.1.4) que el valor del Coeficiente de Presión para un ángulo de 90° es de 3.8878692385

El valor del coeficiente de arrastre y de sustentación, utilizando las ecuaciones (6.1.14) y (6.1.15) respectivamente son

$$C_D = 0$$

$$C_L = 1.32483$$

6.2 Modelo Matemático SZ-I

Este es una combinación del modelo matemático Clásico (flujo de traslación con circulación alrededor de un cilindro) al cual se le agrega una singularidad del tipo fuente o sumidero situada en un punto $z = be^i$. Para conservar el círculo como línea de corriente, como se sabe, se requiere colocar una singularidad igual en el punto $z = \frac{a^2}{b}e^i$ y una singularidad de signo contrario en el centro del cilindro (Fig.- 6.2.1). El potencial complejo de éste tiene la expresión:

$$F(z) = V_0 z + V_0 \frac{a^2}{z} - \frac{1}{2} i - \ln \frac{z}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{a} \ln \left(\frac{(z - be^i)(z - \frac{a^2}{b} e^i)}{az} \right) - \frac{Q}{2} i \quad 6.2.1$$

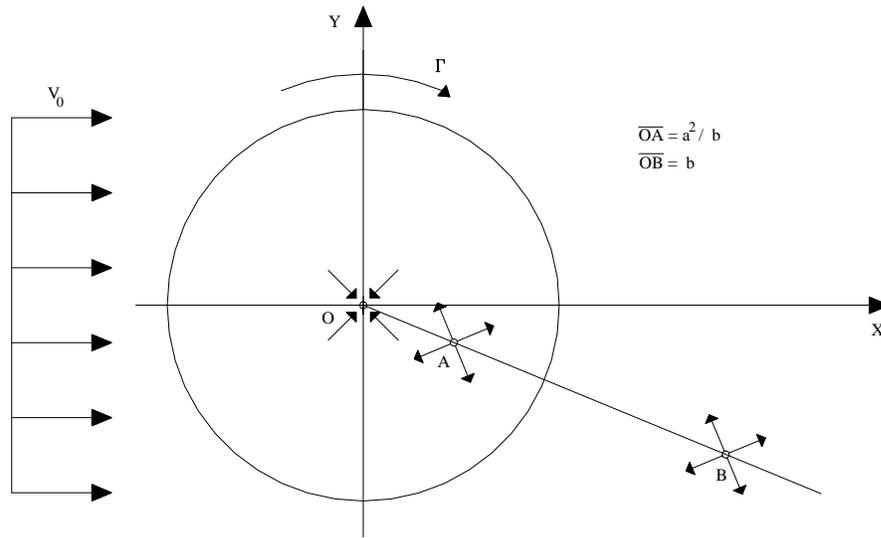


Fig 6.2.1 Ubic. de las singularidades mod. SZ-I

donde (Fig.- 6.2.2):

$$z = Re^i$$

$$z - \frac{a^2}{b} e^i = R_a e^{i \alpha}$$

$$z - be^i = R_b e^{i \beta}$$

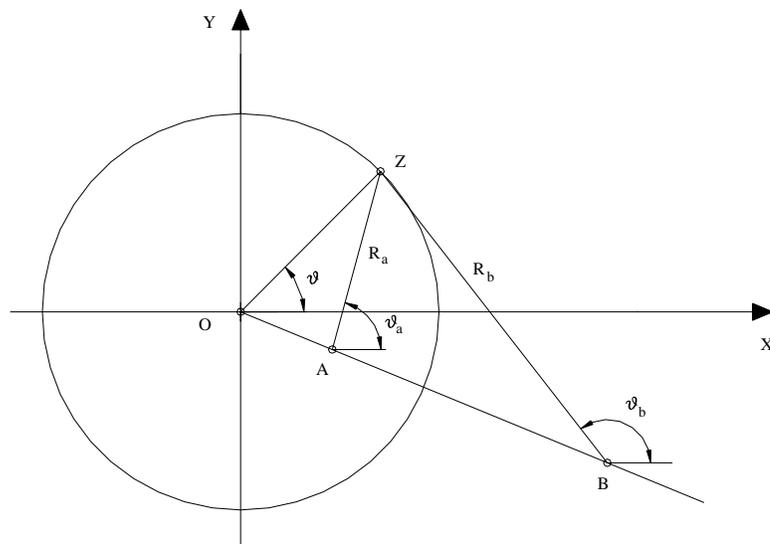


Fig 6.2.2 Notaciones Parciales

El potencial de velocidades y la función de corriente tienen las siguientes expresiones:

$$V_o \left(R \cos \theta - \frac{a^2}{R} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} Q - \frac{1}{2} \frac{Q}{a} \ln \left(\frac{R_b R_a}{a R} \right) \quad 6.2.2$$

$$V_o \left(R \sin \theta - \frac{a^2}{R} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} Q - \ln \frac{R}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \left(b - a \right) - \frac{1}{2} Q \quad 6.2.3$$

Donde:

$$R_a = \sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta} \quad \text{y} \quad \theta = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - \frac{a^2}{b} \cos \theta}{\sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta}} \right)$$

$$R_b = \sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta} \quad \text{y} \quad \theta = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - b \cos \theta}{\sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta}} \right)$$

Las velocidades del flujo tienen las siguientes expresiones:

$$V_R = -V_o \left(\cos \theta - \frac{a^2}{R^2} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} Q \left(\frac{R - b \cos \theta}{R^2 - 2Rb \cos \theta - b^2} - b \frac{bR - a^2 \cos \theta}{R^2 b^2 - 2Rb a^2 \cos \theta - a^4} - \frac{1}{R} \right) \quad 6.2.4$$

$$V_\theta = V_o \left(\sin \theta - \frac{a^2}{R^2} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} \frac{Q}{R} - \frac{1}{2} Q \left(b \frac{\sin \theta}{R^2 - 2Rb \cos \theta - b^2} - b a^2 \frac{\sin \theta}{R^2 b^2 - 2Rb a^2 \cos \theta - a^4} \right) \quad 6.2.5$$

Las velocidades sobre el círculo son

$$V_R = 0 \quad 6.2.6$$

$$V_\theta = 2V_o \sin \theta - \frac{1}{2} \frac{Q}{a} - Qb \frac{\sin \theta}{a^2 - 2ab \cos \theta - b^2} \quad 6.2.7$$

El Coeficiente de Presión se define como

$$C_p = 1 - \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \quad 6.2.8$$

Evaluando sobre el cilindro, se toma la ecuación (6.2.7) y se sustituye en la ecuación anterior.

Para las fuerzas aerodinámicas se utiliza el teorema de Blasius (Milne-Thomson, 1.958). Para el modelo se obtienen las siguientes expresiones de:

Fuerza de Arrastre

$$X = -\frac{V_o a^2 Q \cos 2\alpha}{b^2} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \left(\frac{\cos 2\alpha}{b^2 - a^2} \right) Q^2 b - \frac{1}{2} \frac{Q^2}{b} \cos 2\alpha \quad 6.2.9$$

Observe que en la ecuación (6.2.9) se obtiene una expresión para el cálculo de la fuerza de arrastre, eliminándose de esta manera la paradoja de d'Alembert.

Fuerza de Sustentación

$$Y = V_o a^2 Q \frac{\sin 2\alpha}{b^2} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \cos 2\alpha - \frac{1}{2} Q^2 \frac{b}{b^2 - a^2} \sin 2\alpha - \frac{1}{2} \frac{Q^2}{b} \sin 2\alpha \quad V_o$$

6.2.10

Coefficientes Aerodinámicos

El Coeficiente de Arrastre se define como

$$F_D = C_D \frac{\rho V_o^2 c_l}{2} \quad X = C_D \frac{X}{\frac{\rho V_o^2 c_l}{2}} \quad 6.2.11$$

donde X se sustituye por su expresión (6.2.9)

El Coeficiente de Sustentación se define como:

$$F_L = C_L \frac{\rho V_o^2 c_l}{2} \quad Y = C_L \frac{Y}{\frac{\rho V_o^2 c_l}{2}} \quad 6.2.12$$

donde Y se sustituye por su expresión (6.2.10). Para ambos casos $c_l = 2a$

Cálculo de los parámetros Q y b

Velocidad Inducida

La expresión que permite obtener el valor de Q en función de b es:

$$Q = \frac{-V_o a^2 \frac{\sin 2\alpha}{b^2} - \frac{1}{2} \frac{\cos 2\alpha}{b}}{\left(\frac{1}{2} \frac{\sin 2\alpha}{b} - \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \frac{b}{(b^2 - a^2)} \right)} \quad 6.2.13$$

A continuación se puede observar el gráfico de la función anterior

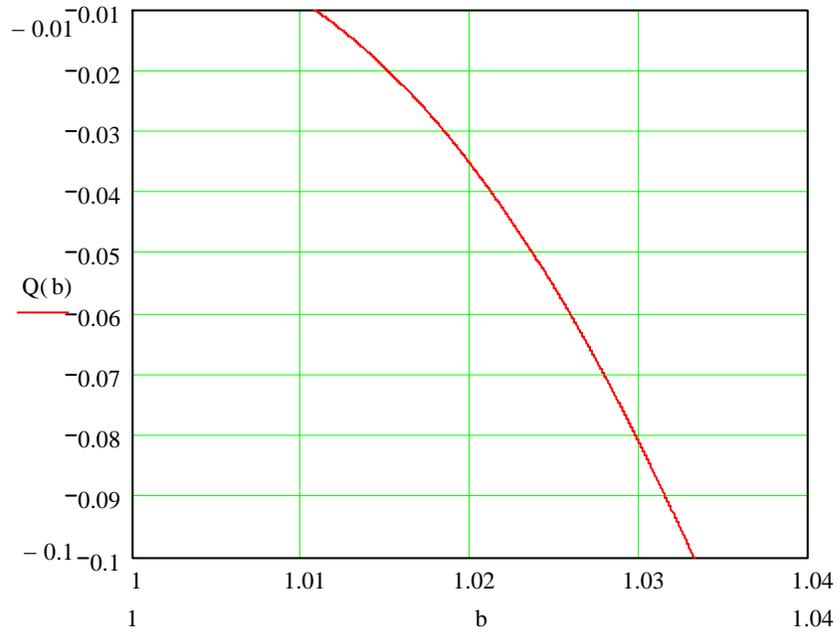


Fig 6.2.3 Rango de aplicación del mod. SZ-I

6.2.1 Espectros hidrodinámicos del flujo alrededor de un obstáculo cilindro

A continuación se presenta el espectro hidrodinámico del modelo SZ-I (fig.-6.2.4). Los cálculos de estos se llevan a cabo con una rutina elaborada con el programa Mathcad 11 (R), la representación gráfica de las líneas de corriente se realizan con la ayuda del programa Surfer 6.04 (R).

Los valores de los parámetros son:

$$4.568, aV_{oo} \quad 3.448, b \quad 1.01988066867, Q \quad -0.035138881$$

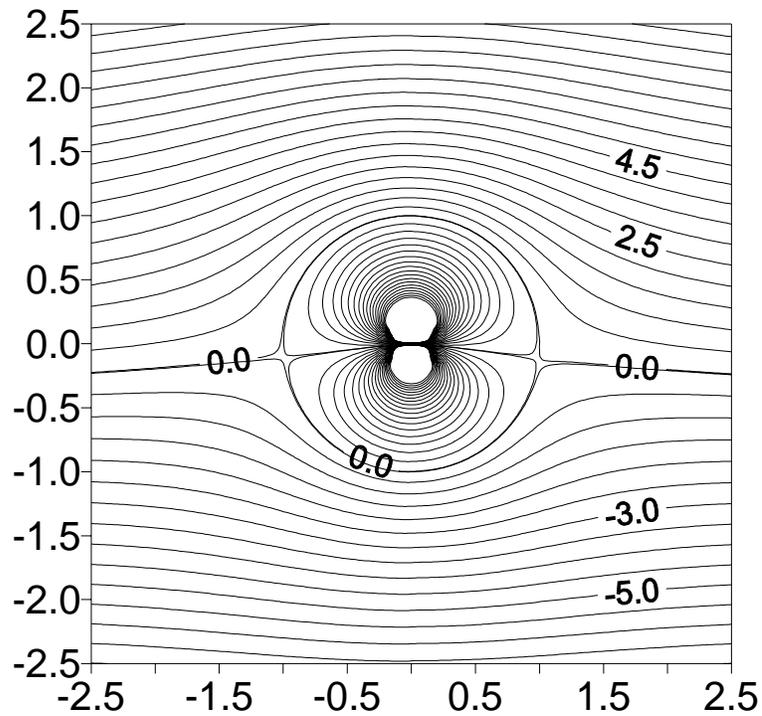


Fig 6.2.4 Modelo SZ-I

Estos valores se obtienen de la siguiente manera, en primer lugar se selecciona un valor de $\frac{Q}{b}$, posteriormente utilizando la figura 6.2.3 se ubica un valor de b que cumpla con lo establecido anteriormente, entonces se obtiene Q .

De igual forma se presenta el perfil de velocidades (fig.-6.2.5) sobre el cilindro para diversos valores del ángulo θ , que varían desde 0° hasta 360° en intervalos de 30° . Para el cálculo, se utiliza una rutina elaborada en el programa Mathcad 2.001 (R) y su representación gráfica es elaborada en Grapher 1.30 (R)

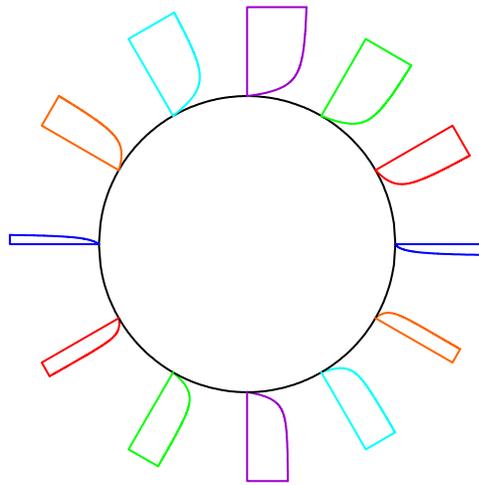


Fig 6.2.5 Perfiles de Vel. Tang. mod. SZ-I

Para el Coeficiente de Presión (fig.-6.2.6) se obtiene la siguiente representación gráfica realizada en el programa Grapher 1.30 (R)

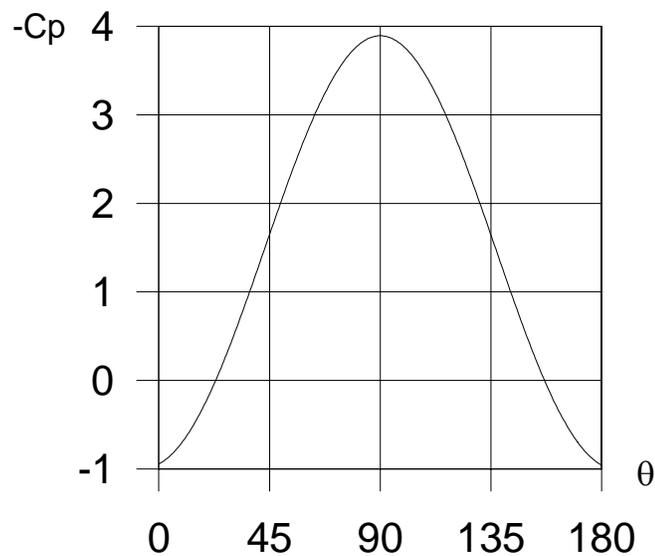


Fig 6.2.6 Coef. de Presión mod. SZ-I

Observe en la figura (6.2.6) que el valor del Coeficiente de Presión para un ángulo de 90° es de 3.8943219312, al compararlo con el valor del modelo clásico, se aprecia que este modelo difiere en un 0.165695 %.

El valor del coeficiente de arrastre y de sustentación, utilizando las ecuaciones (6.2.11) y (6.2.12) respectivamente son:

$$C_D = 0.00947$$

$$C_L = 1.32482$$

6.3 Modelo Matemático SZ-II

Este es una combinación del modelo matemático Clásico (flujo de traslación con circulación alrededor de un cilindro) al cual se le agrega dos singularidades del tipo fuente o sumidero situadas en los puntos $z = be^{i p}$ y $z = be^{i n}$ otra. Para conservar el círculo como línea de corriente, como se sabe, se requiere colocar una singularidad igual en el punto $z = \frac{a^2}{b} e^{i p}$ y otra en el punto $z = \frac{a^2}{b} e^{i n}$ y dos singularidades de signo contrario en el centro del cilindro (Fig.- 6.3.1). El potencial complejo de éste tiene la expresión:

$$F(z) = V_0 z + V_0 \frac{a^2}{z} + \frac{1}{2} i \Gamma \ln \frac{z}{a} + \frac{1}{2} \frac{Q}{a} \ln \left(\frac{(z - be^{i p})(z - \frac{a^2}{b} e^{i p})}{az} \right) + \frac{1}{2} \frac{Q}{a} \ln \left(\frac{(z - be^{i n})(z - \frac{a^2}{b} e^{i n})}{az} \right) - Qi \quad 6.3.1$$

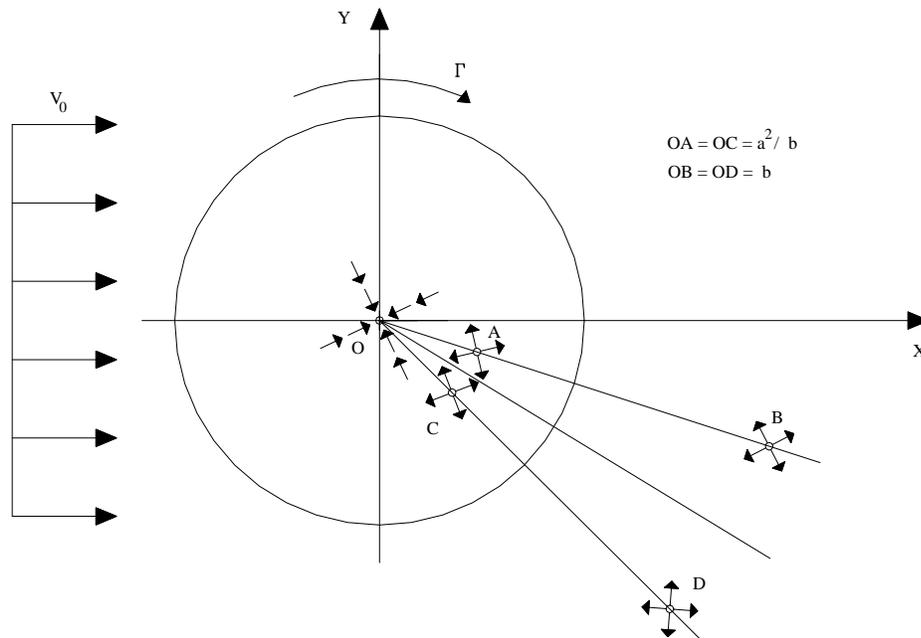


Fig 6.3.1 Ubic. de las singularidades mod. SZ-II

Donde (Fig.- 6.3.2 y 6.3.3):

$$z = Re^{i \theta}$$

$$z - \frac{a^2}{b} e^{i p} = R_a e^{i a}$$

$$z - b e^{i p} = R_b e^{i b}$$

$$z - \frac{a^2}{b} e^{i n} = R_c e^{i c}$$

$$z - b e^{i n} = R_d e^{i d}$$

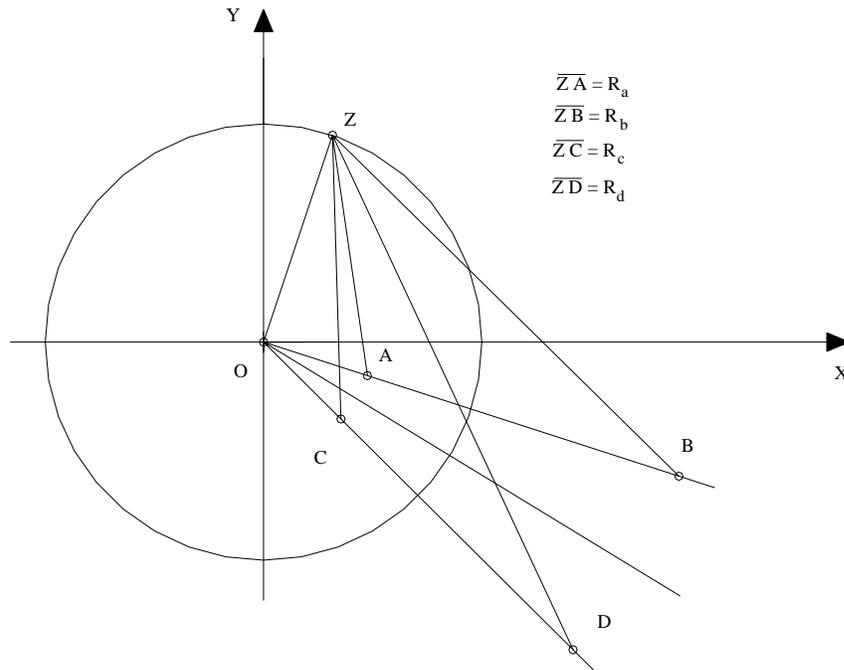


Fig 6.3.2 Notaciones Parciales 1

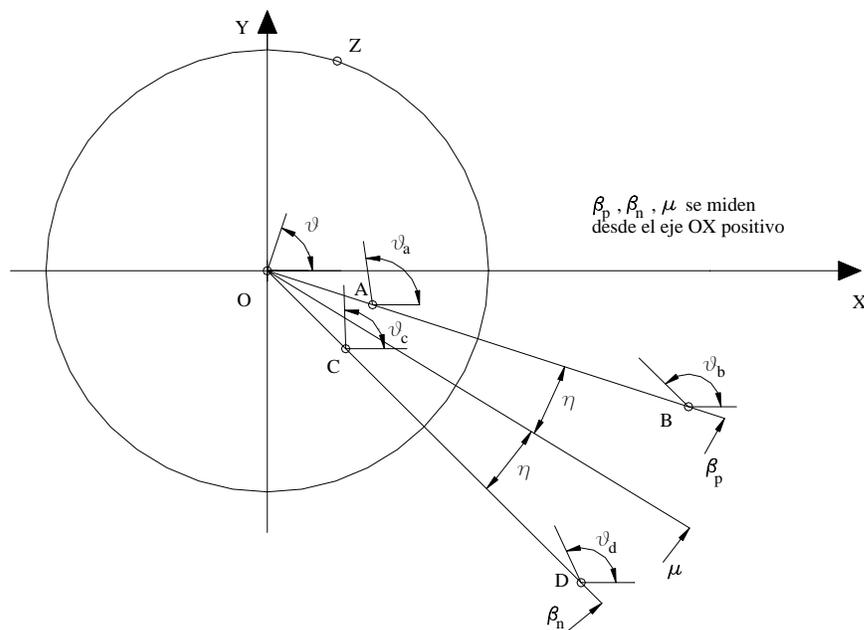


Fig 6.3.3 Notaciones Parciales 2

El potencial de velocidades y la función de corriente tienen las siguientes expresiones:

$$V_o \left(R \cos \theta - \frac{a^2}{R} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \ln \left(\frac{R_b R_a}{aR} \right) - \frac{1}{2} \frac{Q}{d} \ln \left(\frac{R_d R_c}{aR} \right) \quad 6.3.2$$

$$V_o \left(R \sin \theta - \frac{a^2}{R} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} - \ln \frac{R}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \theta - \frac{1}{2} \frac{Q}{d} \theta - Q \quad 6.3.3$$

donde

$$R_a = \sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta - p} \quad y \quad a = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - \frac{a^2}{b} \cos \theta - p}{\sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta - p}} \right)$$

$$R_b = \sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta - p} \quad y \quad b = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - b \cos \theta - p}{\sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta - p}} \right)$$

$$R_c = \sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta - n} \quad y \quad c = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - \frac{a^2}{b} \cos \theta - n}{\sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos \theta - n}} \right)$$

$$R_d = \sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta - n} \quad y \quad d = \arccos \left(\frac{R \cos \theta - b \cos \theta - n}{\sqrt[2]{R^2 - b^2 - 2bR \cos \theta - n}} \right)$$

Las velocidades del flujo tienen las siguientes expresiones:

$$V_R = -V_o \left(\cos \theta - \frac{a^2}{R^2} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} Q \left(\frac{R - b \cos \theta - p}{R^2 - 2Rb \cos \theta - p} \frac{1}{b^2} - b \frac{bR - a^2 \cos \theta - p}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - p} \frac{1}{a^4} - \frac{1}{R} \right) - \frac{1}{2} Q \left(\frac{R - b \cos \theta - n}{R^2 - 2Rb \cos \theta - n} \frac{1}{b^2} - b \frac{bR - a^2 \cos \theta - n}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - n} \frac{1}{a^4} - \frac{1}{R} \right) \quad 6.3.4$$

$$V_\theta = V_o \left(\sin \theta - \frac{a^2}{R^2} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} \frac{Q}{R} - \frac{1}{2} Q \left(b \frac{\sin \theta - p}{R^2 - 2Rb \cos \theta - p} \frac{1}{b^2} - ba^2 \frac{\sin \theta - p}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - p} \frac{1}{a^4} \right) - \frac{1}{2} Q \left(b \frac{\sin \theta - n}{R^2 - 2Rb \cos \theta - n} \frac{1}{b^2} - ba^2 \frac{\sin \theta - n}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - n} \frac{1}{a^4} \right) \quad 6.3.5$$

Las velocidades sobre el círculo son:

$$V_R = 0 \quad 6.3.6$$

$$V = 2V_o \sin \frac{1}{2} \frac{\pi - \theta}{a} - Qb \frac{\sin \frac{\pi - \theta}{a}}{a^2 - 2ab \cos \frac{\pi - \theta}{a} - b^2} - Qb \frac{\sin \frac{\pi - \theta}{a}}{a^2 - 2ab \cos \frac{\pi - \theta}{a} - b^2} \quad 6.3.7$$

El Coeficiente de Presión se define como

$$C_p = 1 - \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \quad 6.3.8$$

Evaluando sobre el cilindro, se toma la ecuación (6.3.7) y se sustituye en la ecuación anterior.

Para las fuerzas aerodinámicas se utiliza el teorema de Blasius (Milne-Thomson, 1.958)

Para el modelo se obtienen las siguientes expresiones de:

Fuerza de Arrastre

$$\begin{aligned} X &= - \frac{1}{b^2} V_o a^2 Q \cos 2 \theta_p - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \sin \theta_p - \frac{1}{2} \frac{Q^2 b}{a^2 - b^2} \cos \theta_p - \frac{Q^2}{b} \cos \theta_p - \\ &\frac{1}{2} Q^2 b \frac{a^2 \cos \theta_p - b^2 \cos \theta_p}{a^4 - 2a^2 b^2 \cos \theta_p - b^4} - \frac{1}{2} Q^2 b \frac{a^2 \cos \theta_p - b^2 \cos \theta_p}{a^4 - 2a^2 b^2 \cos \theta_p - b^4} - \frac{Q V_o a^2 \cos 2 \theta_n}{b^2} \\ &\frac{1}{2} \frac{Q}{b} \sin \theta_n - \frac{Q^2}{b} \cos \theta_n - \frac{1}{2} \frac{Q^2 b}{a^2 - b^2} \cos \theta_n \quad 6.3.9 \end{aligned}$$

Observe que en la ecuación (6.3.9) se obtiene una expresión para el cálculo de la fuerza de arrastre, eliminándose de esta manera la paradoja de d'Alémbert.

Fuerza de Sustentación

$$\begin{aligned} Y &= - \frac{1}{b^2} V_o a^2 Q \sin 2 \theta_p - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} \cos \theta_p - \frac{1}{2} \frac{Q^2 b}{a^2 - b^2} \sin \theta_p - \frac{Q^2}{b} \sin \theta_p - \\ &\frac{1}{2} Q^2 b \frac{a^2 \sin \theta_p - b^2 \sin \theta_p}{a^4 - 2a^2 b^2 \cos \theta_p - b^4} - \frac{1}{2} Q^2 b \frac{a^2 \sin \theta_p - b^2 \sin \theta_p}{a^4 - 2a^2 b^2 \cos \theta_p - b^4} - \frac{Q V_o a^2 \sin 2 \theta_n}{b^2} \\ &\frac{1}{2} \frac{Q}{b} \cos \theta_n - \frac{Q^2}{b} \sin \theta_n - \frac{1}{2} \frac{Q^2 b}{a^2 - b^2} \sin \theta_n \quad V_o \quad 6.3.10 \end{aligned}$$

Coeficientes Aerodinámicos

El Coeficiente de Arrastre se define como

$$F_D = C_D \frac{1}{2} V_o^2 c_1 \quad X = C_D \frac{X}{\frac{1}{2} V_o^2 2a_1} \quad 6.3.11$$

donde X se sustituye por su expresión (6.3.9)

El Coeficiente de Sustentación se define como:

$$F_L = C_L \frac{1}{2} V_o^2 c_1 \quad Y = C_L \frac{Y}{\frac{1}{2} V_o^2 2a_1} \quad 6.3.12$$

donde Y se sustituye por su expresión (6.3.10). Para ambos casos $c = 2a$

Cálculo de los parámetros Q y b

Velocidad Inducida

En este modelo $Q = 2q$

La expresión que permite obtener el valor de q en función de b es:

$$q = \frac{-V_o a^2 \frac{\sin^2 p}{b^2} - \frac{1}{2} \frac{\cos p}{b}}{\left(\frac{\sin p}{b} - \frac{1}{2} \frac{b}{(a^2 - b^2)} \sin p - \frac{1}{2} \frac{b \sin p - b \sin n}{b \cos p - b \cos n} - \frac{1}{2} b \frac{a^2 \sin n - b^2 \sin p}{(a^4 - b^4 - 2b^2 a^2 \cos p - n)} \right)} \quad 6.3.13$$

A continuación se puede observar el gráfico de la función anterior

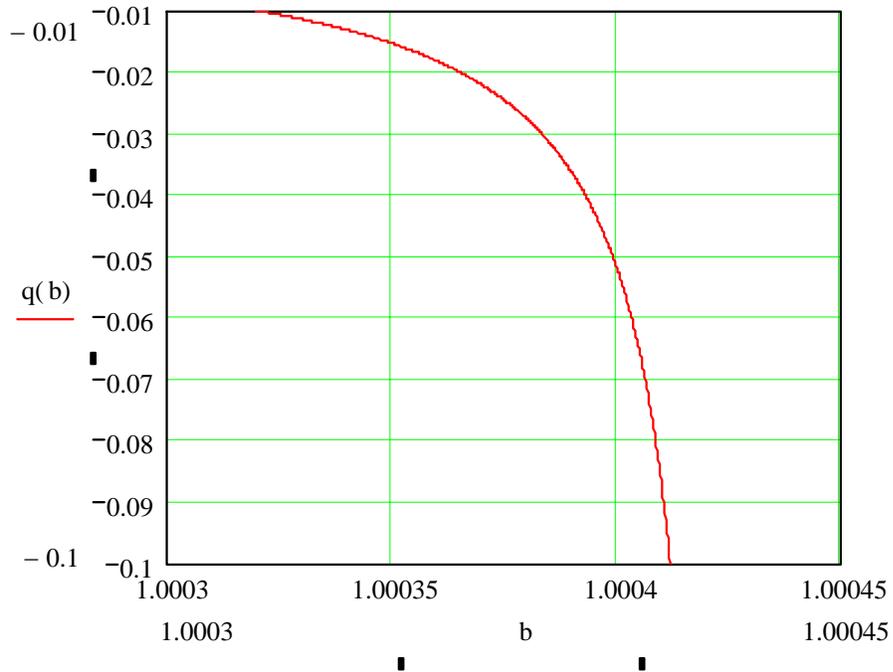


Fig 6.3.4 Rango de aplicación del modelo SZ-II

6.3.1 Espectros hidrodinámicos del flujo alrededor de un obstáculo cilindro

A continuación se presenta el espectro hidrodinámico del modelo SZ-II (fig.-6.3.5). Los cálculos de estos se llevan a cabo con una rutina elaborada con el programa Mathcad 11 (R), la representación gráfica de las líneas de corriente se realizan con la ayuda del programa Surfer 6.04 (R).

Los valores de los parámetros son:

$$4.568, aV_{oo} \quad 3.448, b \quad 1.00038878986, Q \quad -0.0351389987$$

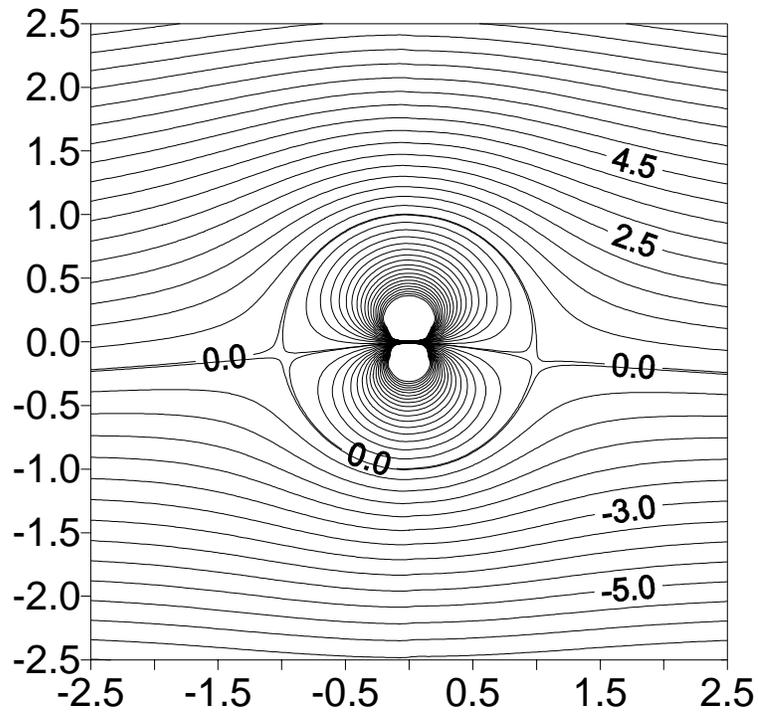


Fig 6.3.5 Modelo SZ-II

Estos valores se obtienen de la siguiente manera, en primer lugar se selecciona un valor de $\frac{Q}{b}$, posteriormente utilizando la figura () se ubica un valor de b que cumpla con lo establecido anteriormente, entonces se obtiene Q .

De igual forma se presenta el perfil de velocidades (fig.-6.3.6) sobre el cilindro para diversos valores del ángulo θ , que varían desde 0° hasta 360° en intervalos de 30° . Para el cálculo, se utiliza una rutina elaborada en el programa Mathcad 2.001 (R) y su representación gráfica es elaborada en Grapher 1.30 (R)

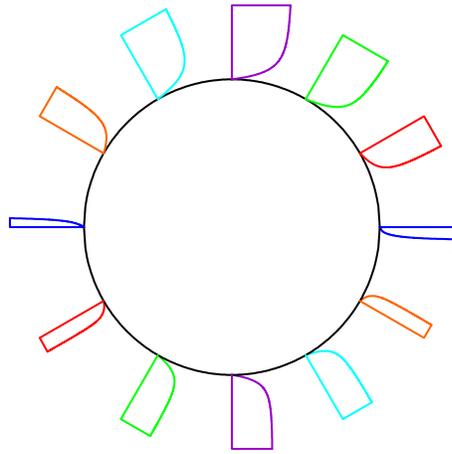


Fig 6.3.6 Perfiles de Vel. Tang. mod. SZ-II

Para el Coeficiente de Presión (fig.-6.3.7) se obtiene la siguiente representación gráfica realizada en el programa Grapher 1.3 (R)

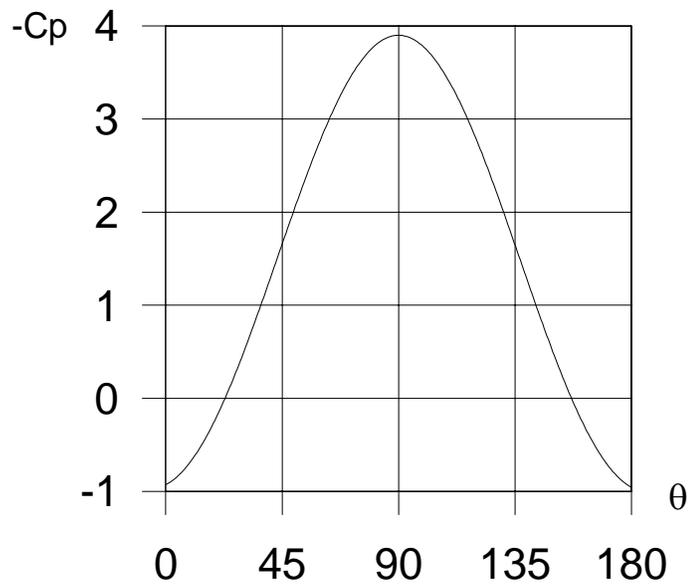


Fig 6.3.7 Coef de Presión mod. SZ-II

Observe en la figura (6.3.7) que el valor del Coeficiente de Presión para un ángulo de 90° es de 3.9007816295, al compararlo con el valor del modelo clásico, se aprecia que este modelo

difiere en un 0.331021 %.

El valor del coeficiente de arrastre y de sustentación, utilizando las ecuaciones (6.3.11) y (6.3.12) respectivamente son:

$$C_D = 0.02076$$

$$C_L = 1.32371$$

6.4 Modelo Matemático SZ-III

Este es una combinación del modelo matemático Clásico (flujo de traslación con circulación alrededor de un cilindro) al cual se le agrega una singularidad del tipo fuente o sumidero situada en un punto $z = be^{i \cdot ab}$. Para conservar el círculo como línea de corriente, como se sabe, se requiere colocar una singularidad igual en el punto $z = \frac{a^2}{b} e^{i \cdot ab}$ y una singularidad de signo contrario en el centro del cilindro, a este modelo también se le agregan 4 vórtices, dos de ellos ubicados aguas abajo en los puntos $z = R_1 e^{i \cdot p}$ y en $z = R_1 e^{i \cdot n}$ y los otros dos aguas arriba en los puntos $z = -R_2 e^{i \cdot p}$ y en $z = -R_2 e^{i \cdot n}$, además de los respectivos puntos que se forman por inversión compleja, los cuales son ubicados en los puntos; aguas abajo en $z = \frac{a^2}{R_1} e^{i \cdot p}$ y en $z = \frac{a^2}{R_1} e^{i \cdot n}$, aguas arriba en $z = \frac{a^2}{R_2} e^{i \cdot p}$ y en $z = \frac{a^2}{R_2} e^{i \cdot n}$ (Fig.- 6.4.1) El potencial complejo de éste tiene la expresión:

$$F(z) = V_o z + V_o \frac{a^2}{z} - \frac{1}{2} i - \ln \frac{z}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{z} \ln \left(\frac{(z - be^{i \cdot ab})(z - \frac{a^2}{b} e^{i \cdot ab})}{az} \right) - \frac{Q}{2} i + \frac{i}{2} \ln \left(\frac{z - z_1}{z - \bar{z}_1} \right) - \frac{i}{2} \ln \left(\frac{z - z_2}{z - \bar{z}_2} \right) \quad 6.4.1$$

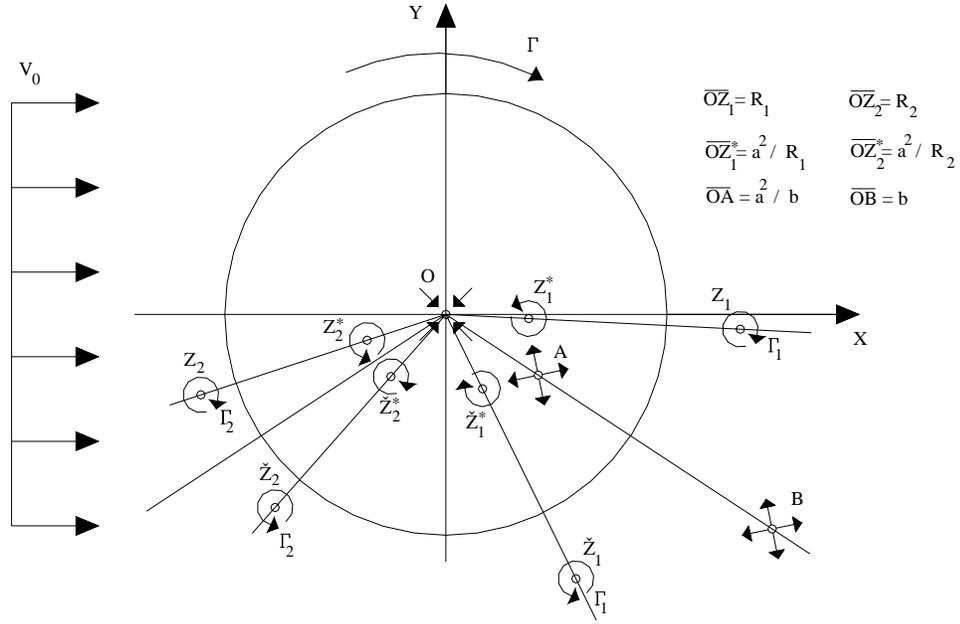


Fig 6.4.1 Ubic. de las singularidades mod. SZ-III

Donde (Fig.- 6.4.2, 6.4.3,6.4.4, 6.4.5 y 6.4.6):

$$z_1 \quad R_1 e^{i p}$$

$$z_1 \quad \frac{a^2}{R_1} e^{i p}$$

$$\check{z}_1 \quad R_1 e^{i n}$$

$$\check{z}_1 \quad \frac{a^2}{R_1} e^{i n}$$

$$z_2 \quad R_2 e^{i \acute{n}} \quad R_2 e^{i n} \quad -R_2 e^{i n}$$

$$z_2 \quad \frac{a^2}{R_2} e^{i \acute{n}} \quad \frac{a^2}{R_2} e^{i n} \quad -\frac{a^2}{R_2} e^{i n}$$

$$\check{z}_2 \quad R_2 e^{i \acute{p}} \quad R_2 e^{i p} \quad -R_2 e^{i p}$$

$$\check{z}_2 \quad \frac{a^2}{R_2} e^{i \acute{p}} \quad \frac{a^2}{R_2} e^{i p} \quad -\frac{a^2}{R_2} e^{i p}$$

$$p \quad ab$$

$$n \quad ab^-$$

$$p \quad ar$$

$$n \quad ar^-$$

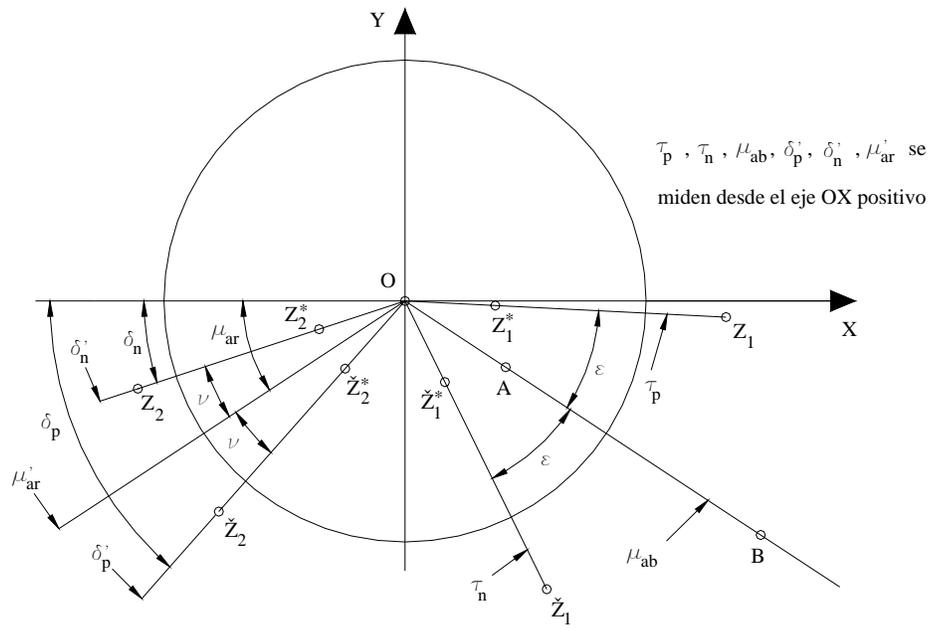


Fig 6.4.2 Notaciones Parciales1

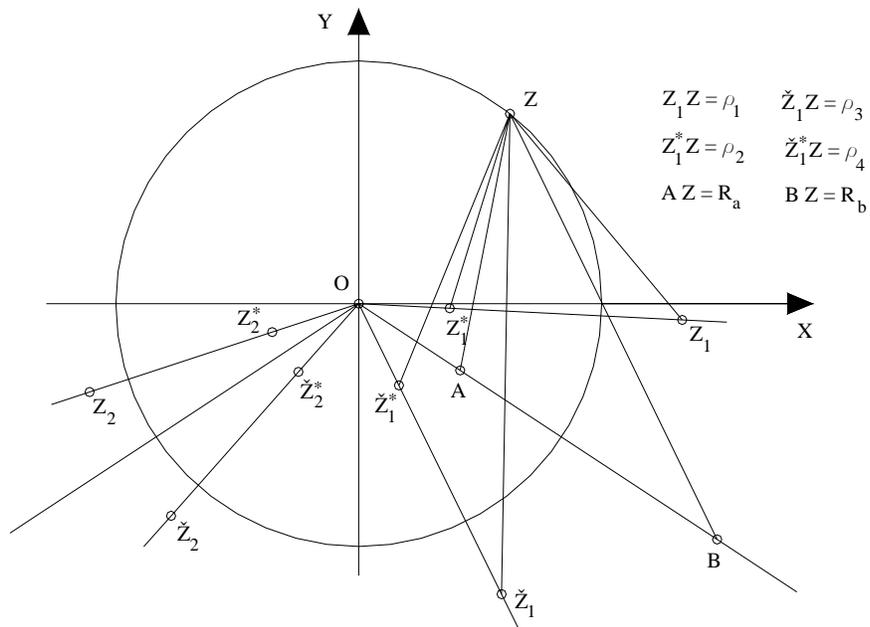


Fig 6.4.3 Notaciones Parciales 2

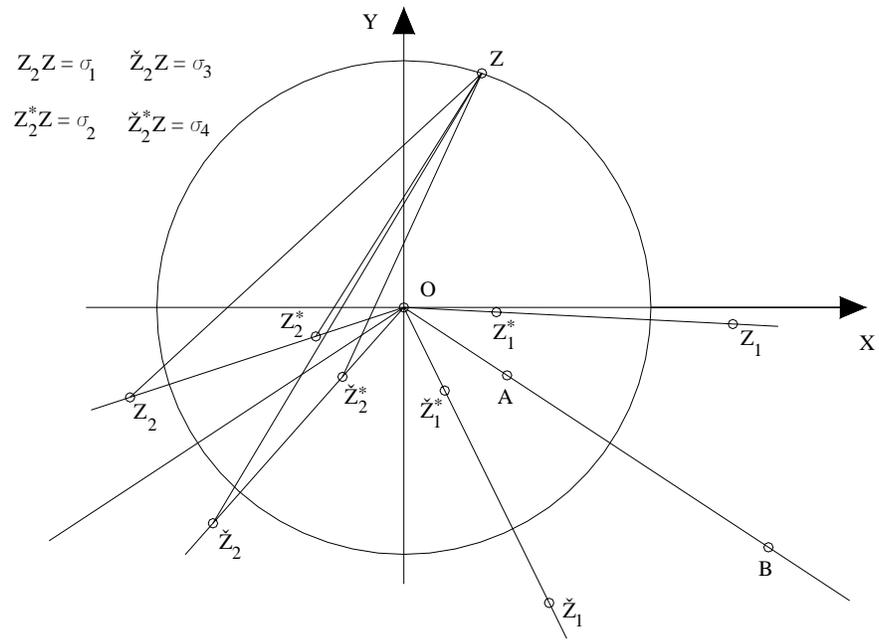


Fig 6.4.4 Notaciones Parciales 3

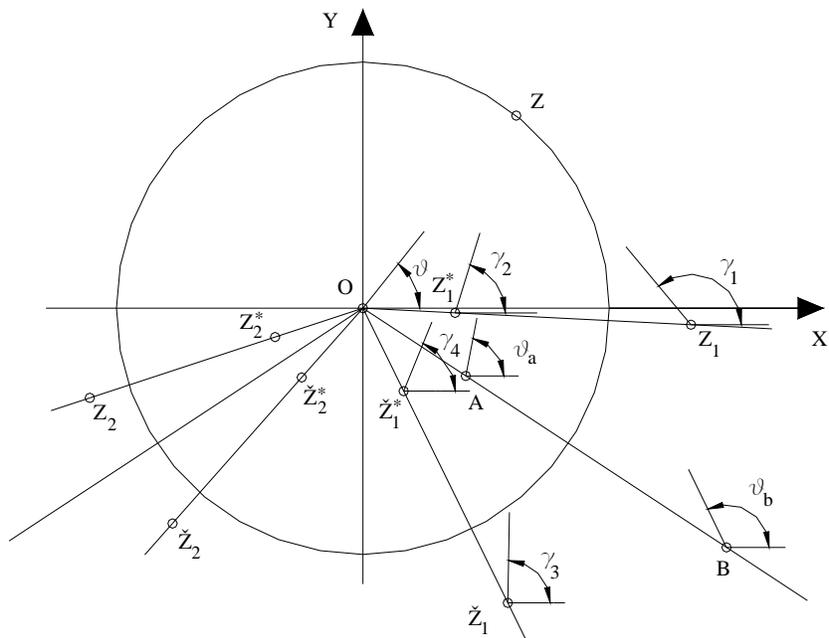


Fig 6.4.5 Notaciones Parciales 4

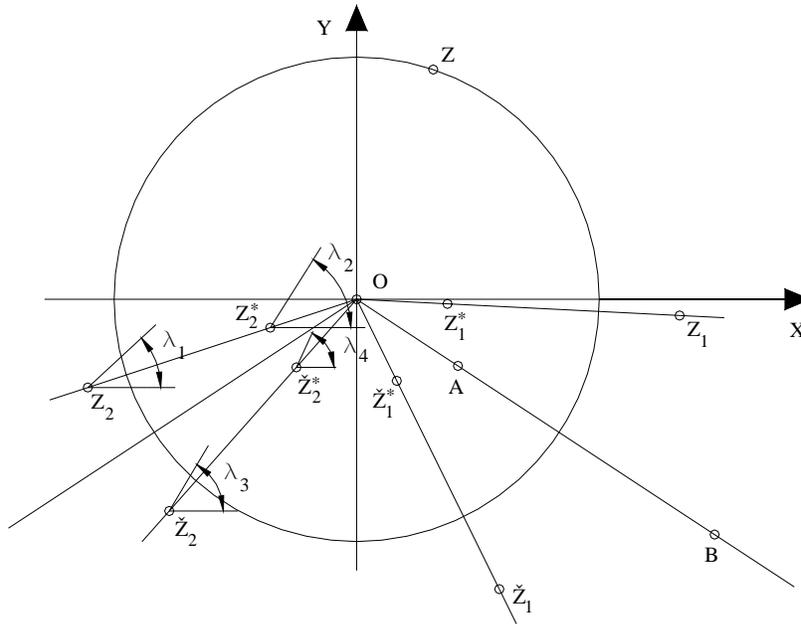


Fig 6.4.6 Notaciones Parciales 5

Entonces

$$F(z) = V_0 z - V_0 \frac{a^2}{z} - \frac{1}{2} i - \ln \frac{z}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{a} \ln \left(\frac{(z - be^{i ab})(z - \frac{a^2}{b} e^{i ab})}{az} \right) - \frac{Q}{2} i$$

$$\frac{i}{2} \ln \left(\frac{(z - R_1 e^{i p})(z - \frac{a^2}{R_1} e^{i n})}{(z - R_1 e^{i n})(z - \frac{a^2}{R_1} e^{i p})} \right) - \frac{i}{2} \ln \left(\frac{(z - R_2 e^{i n})(z - \frac{a^2}{R_2} e^{i p})}{(z - R_2 e^{i p})(z - \frac{a^2}{R_2} e^{i n})} \right) \quad 6.4.2$$

El potencial de velocidades y la función de corriente tienen las siguientes expresiones:

$$V_o \left(R \cos \left(\frac{a^2}{R} \cos \right) - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{Q}{aR} \ln \left(\frac{R_b R_a}{aR} \right) - \frac{1}{2} \frac{1}{3} - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right)$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} - \frac{1}{3} - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \quad 6.4.3$$

$$V_o \left(R \sin \left(- \frac{a^2}{R} \sin \right) - \frac{1}{2} - \ln \frac{R}{a} - \frac{1}{2} \frac{Q}{b} - a - - \frac{1}{2} Q \right)$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{3} \ln \left(\frac{1}{3} \frac{4}{2} \right) - \frac{1}{2} \frac{1}{2} \ln \frac{1}{3} \frac{4}{2} \quad 6.4.4$$

Donde

$$R_a = \sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos - ab} \quad \text{y} \quad a = \arccos \left(\frac{R \cos - \frac{a^2}{b} \cos ab}{\sqrt[2]{R^2 - \frac{a^4}{b^2} - 2 \frac{a^2}{b} R \cos - ab}} \right)$$

$$R_b \sqrt[3]{R^2 b^2 - 2bR \cos - ab} \quad y \quad b \arccos\left(\frac{R \cos - b \cos ab}{\sqrt[3]{R^2 b^2 - 2bR \cos - ab}}\right)$$

$$1 \sqrt[3]{R^2 R_1^2 - 2R_1 R \cos - p} \quad y \quad 1 \arccos\left(\frac{R \cos - R_1 \cos p}{\sqrt[3]{R^2 R_1^2 - 2R_1 R \cos - p}}\right)$$

$$2 \sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_1^2} - 2 \frac{a^2}{R_1} R \cos - p} \quad y \quad 2 \arccos\left(\frac{R \cos - \frac{a^2}{R_1} \cos p}{\sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_1^2} - 2 \frac{a^2}{R_1} R \cos - p}}\right)$$

$$3 \sqrt[3]{R^2 R_1^2 - 2R_1 R \cos - n} \quad y \quad 3 \arccos\left(\frac{R \cos - R_1 \cos n}{\sqrt[3]{R^2 R_1^2 - 2R_1 R \cos - n}}\right)$$

$$4 \sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_1^2} - 2 \frac{a^2}{R_1} R \cos - n} \quad y \quad 4 \arccos\left(\frac{R \cos - \frac{a^2}{R_1} R \cos n}{\sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_1^2} - 2 \frac{a^2}{R_1} R \cos - n}}\right)$$

$$1 \sqrt[3]{R^2 R_2^2 - 2R_2 R \cos - n} \quad y \quad 1 \arccos\left(\frac{R \cos - R_2 \cos n}{\sqrt[3]{R^2 R_2^2 - 2R_2 R \cos - n}}\right)$$

$$2 \sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_2^2} - 2 \frac{a^2}{R_2} R \cos - n} \quad y \quad 2 \arccos\left(\frac{R \cos - \frac{a^2}{R_2} \cos n}{\sqrt[3]{R^2 \frac{a^4}{R_2^2} - 2 \frac{a^2}{R_2} R \cos - n}}\right)$$

$$3 \sqrt[3]{R^2 R_2^2 - 2R_2 R \cos - p} \quad y \quad 3 \arccos\left(\frac{R \cos - R_2 \cos p}{\sqrt[3]{R^2 R_2^2 - 2R_2 R \cos - p}}\right)$$

$$4 \sqrt{R^2 - \frac{a^4}{R^2} - 2\frac{a^2}{R^2} R \cos \theta - p} \quad \text{y} \quad 4 \arccos \left(\frac{R \cos \theta - \frac{a^2}{R^2} \cos \theta}{\sqrt{R^2 - \frac{a^4}{R^2} - 2\frac{a^2}{R^2} R \cos \theta - p}} \right)$$

Las velocidades del flujo tienen las siguientes expresiones:

$$V_{oR} = -V_o \left(\cos \theta - \frac{a^2}{R^2} \cos \theta \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{2 \sin^2 \theta - 1 - 1 \sin^2 \theta}{1 \cdot 2} - \frac{3 \sin^2 \theta - 4 - 4 \sin^2 \theta}{3 \cdot 4} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{2 \sin^2 \theta - 1 - 1 \sin^2 \theta}{1 \cdot 2} - \frac{3 \sin^2 \theta - 4 - 4 \sin^2 \theta}{3 \cdot 4} \right) - \frac{1}{2} Q \left(\frac{R - b \cos \theta - \frac{ab}{b^2}}{R^2 - 2Rb \cos \theta - ab} - b \frac{bR - a^2 \cos \theta - \frac{ab}{a^4}}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - ab} - \frac{1}{R} \right) \quad 6.4.5$$

$$V_o = V_o \left(\sin \theta - \frac{a^2}{R^2} \sin \theta \right) - \frac{1}{2} \frac{1}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{2 \cos^2 \theta - 1 - 1 \cos^2 \theta}{1 \cdot 2} - \frac{3 \cos^2 \theta - 4 - 4 \cos^2 \theta}{3 \cdot 4} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{2 \cos^2 \theta - 1 - 1 \cos^2 \theta}{1 \cdot 2} - \frac{3 \cos^2 \theta - 4 - 4 \cos^2 \theta}{3 \cdot 4} \right) - \frac{1}{2} Q \left(b \frac{\sin \theta - \frac{ab}{b^2}}{R^2 - 2Rb \cos \theta - ab} - ba^2 \frac{\sin \theta - \frac{ab}{a^4}}{R^2 b^2 - 2Rba^2 \cos \theta - ab} \right) \quad 6.4.6$$

Las velocidades sobre el círculo son

$$V_R = 0 \quad 6.4.7$$

$$V = 2V_o \sin \theta - \frac{1}{2} \frac{1}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{R_1^2 - a^2}{R_1} \right) \left(\frac{1}{1 \cdot 2} - \frac{1}{3 \cdot 4} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{R_2^2 - a^2}{R_2} \right) \left(\frac{1}{1 \cdot 2} - \frac{1}{3 \cdot 4} \right) - Qb \frac{\sin \theta - \frac{ab}{b^2}}{a^2 - 2ab \cos \theta - ab} \quad 6.4.8$$

El Coeficiente de Presión se define como:

$$C_p = 1 - \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \quad 6.4.9$$

Evaluando sobre el cilindro, se toma la ecuación (6.4.8) y se sustituye en la ecuación anterior.

Para las fuerzas aerodinámicas se utiliza el teorema de Blasius (Milne-Thomson, 1.958)

Para el modelo se obtienen las siguientes expresiones de:

Fuerza de Arrastre

$$X = -\frac{1}{R^2} \left(2V_o a^2 \sin^2 \theta - \frac{1}{2} Qb \left(\frac{a^2 \sin \theta - bR_1 \sin \theta}{(a^4 - 2a^2 R_1 b \cos \theta - ab - R_1^2 b^2)} - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{1}{2} \left(2R_2 Q \frac{a^2 \sin \theta - R_2 b \sin \theta}{(a^4 - 2a^2 R_2 b \cos \theta - ab - R_2^2 b^2)} \right)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} 2bQ \frac{a^2 \sin_{ab} bR_2 \sin_n}{(a^4 2a^2 R_2 b \cos_{ab-n} R_2^2 b^2)} - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 \cos_p \frac{1}{2} \frac{Q^2 b \cos_{ab}}{b^2 - a^2} - \frac{1}{2} \\
& \frac{1}{R_2} 2 \cos_p \frac{1}{2} \frac{1}{(R_1^2 - a^2)} 2 R_1 \cos_n - \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \cos_p R_1 R_2 \cos_n}{(a^4 2a^2 R_1 R_2 \cos_{n-p} R_2^2 R_1^2)} - \\
& \frac{1}{2} 2 R_1 \frac{R_1^2 \cos_p - a^2 \cos_n}{(a^4 - 2a^2 R_1^2 \cos_{p-n} R_1^4)} - \frac{1}{2} R_1 1 Q \frac{R_1 b \sin_{ab} - a^2 \sin_p}{(a^4 - 2a^2 R_1 b \cos_{ab-p} R_1^2 b^2)} \\
& \frac{1}{2} R_1 1 Q \frac{R_1 b \sin_{ab} - a^2 \sin_n}{(a^4 - 2a^2 b R_1 \cos_{ab-n} R_1^2 b^2)} - \frac{1}{2} R_2 2 Q \frac{a^2 \sin_p R_2 b \sin_{ab}}{(a^4 2a^2 b R_2 \cos_{ab-p} R_2^2 b^2)} - \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2 Q \sin_p \\
& - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 Q \sin_p - \frac{1}{2} 2bQ \frac{a^2 \sin_{ab} bR_2 \sin_p}{(a^4 2a^2 b R_2 \cos_{ab-p} R_2^2 b^2)} - \\
& \frac{1}{2} Qb 1 \frac{bR_1 \sin_n - a^2 \sin_{ab}}{(a^4 - 2a^2 b R_1 \cos_{ab-n} R_1^2 b^2)} \\
& \frac{1}{R_2^2} 2 V_o a^2 \sin 2_p - \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2 \cos_n - \frac{1}{2} 2 R_1 \frac{R_1^2 \cos_n - a^2 \cos_p}{(a^4 - 2a^2 R_1^2 \cos_{p-n} R_1^4)} - \frac{1}{2} \frac{1}{b} Q^2 \cos_{ab} - \frac{1}{R_1^2} \\
& \frac{1}{2} 1 2 R_2 \frac{a^2 \cos_n R_2 R_1 \cos_n}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{n-n} R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \cos_n R_1 R_2 \cos_n}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{n-n} R_2^2 R_1^2)} \\
& \frac{1}{2} 1 2 R_2 \frac{a^2 \cos_p R_2 R_1 \cos_n}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{p-n} R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \cos_n R_1 R_2 \cos_p}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{p-n} R_2^2 R_1^2)} - \\
& \frac{1}{2} R_2 2 1 \frac{a^2 \cos_p R_2 R_1 \cos_p}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{p-p} R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \cos_p R_1 R_2 \cos_p}{(a^4 2a^2 R_2 R_1 \cos_{p-p} R_2^2 R_1^2)} \\
& \frac{1}{2} 1 2 R_2 \frac{a^2 \cos_n R_2 R_1 \cos_p}{(a^4 2a^2 R_1 R_2 \cos_{n-p} R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} \frac{1}{(R_2^2 - a^2)} R_2 2 \cos_p \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 \cos_n - \\
& \frac{1}{2} \frac{1}{(R_2^2 - a^2)} R_2 2 \cos_n - \frac{1}{b^2} Q V_o a^2 \cos 2_{ab} - \frac{1}{R_1^2} 1 V_o a^2 \sin 2_n - \frac{1}{2} \frac{1}{(R_1^2 - a^2)} 2 R_1 \cos_p \\
& \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 Q \sin_n - \frac{1}{2} 2 R_2 \frac{R_2^2 \cos_n - a^2 \cos_p}{(a^4 - 2a^2 R_2^2 \cos_{n-p} R_2^4)} - \frac{1}{2} \frac{1}{b} Q \sin_{ab} \quad 6.4.10
\end{aligned}$$

Observe que en la ecuación (6.4.10) se obtiene una expresión para el cálculo de la fuerza de arrastre, eliminándose de esta manera la paradoja de d'Alembert.

Fuerza de Sustentación

$$\begin{aligned}
Y & V_o \frac{1}{2} \frac{1}{(R_1^2 - a^2)} 2 R_1 \sin_n - \frac{1}{2} R_2 2 \frac{a^2 \sin_p - R_2^2 \sin_n}{(a^4 - 2a^2 R_2^2 \cos_{n-p} R_2^2)} - \\
& \frac{1}{2} \frac{1}{(R_2^2 - a^2)} R_2 2 \sin_p - \frac{1}{2} \frac{1}{(R_2^2 - a^2)} R_2 2 \sin_n - \frac{1}{2} 2 R_1 \frac{R_1^2 \sin_n - a^2 \sin_p}{(a^4 - 2a^2 R_1^2 \cos_{p-n} R_1^4)} - \\
& \frac{1}{2} \frac{1}{b} Q^2 \sin_{ab} - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 \sin_p - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 \sin_n - \frac{1}{b^2} Q V_o a^2 \sin 2_{ab} - \\
& \frac{1}{2} 2 R_1 \frac{R_1^2 \sin_p - a^2 \sin_n}{(a^4 - 2a^2 R_1^2 \cos_{p-n} R_1^4)} - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1 Q \cos_n - \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2 \sin_p
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2Q \cos p - \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2Q \cos n - \frac{1}{R_1^2} V_o a^2 \cos 2 p \\
& \frac{1}{2} \frac{1}{(R_1^2 - a^2)} 2R_1 \sin p - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} 1Q \cos p - \frac{1}{R_2^2} 2V_o a^2 \cos 2 n - \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} 2 \sin n - \\
& \frac{1}{R_2^2} 2V_o a^2 \cos 2 p - \frac{1}{2} \frac{1}{b^2 - a^2} Q^2 b \sin ab - \frac{1}{R_1^2} 1V_o a^2 \cos 2 n - \\
& \frac{1}{2} Qb 1 \frac{bR_1 \cos p - a^2 \cos ab}{(a^4 - 2a^2 R_1 b \cos ab - p R_1^2 b^2)} - \frac{1}{2} R_2 2 1 \frac{a^2 \sin p R_2 R_1 \sin p}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos p - p R_2^2 R_1^2)} - \\
& \frac{1}{2} 1R_1 2 \frac{a^2 \sin n R_1 R_2 \sin p}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos p - n R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 1 2R_2 \frac{a^2 \sin n R_2 R_1 \sin p}{(a^4 - 2a^2 R_1 R_2 \cos n - p R_2^2 R_1^2)} \\
& \frac{1}{2} 2bQ \frac{a^2 \cos ab - bR_2 \cos n}{(a^4 - 2a^2 R_2 b \cos ab - n R_2^2 b^2)} - \frac{1}{2} R_2 2Q \frac{a^2 \cos p R_2 b \cos ab}{(a^4 - 2a^2 b R_2 \cos ab - p R_2^2 b^2)} - \\
& \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \cos p R_1 R_2 \sin n}{(a^4 - 2a^2 R_1 R_2 \cos n - p R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} Qb 1 \frac{a^2 \cos ab - bR_1 \cos n}{(a^4 - 2a^2 b R_1 \cos ab - n R_1^2 b^2)} - \\
& \frac{1}{2} 2bQ \frac{a^2 \cos ab - bR_2 \cos p}{(a^4 - 2a^2 b R_2 \cos ab - p R_2^2 b^2)} - \frac{1}{2} R_1 1Q \frac{R_1 b \cos ab - a^2 \cos n}{(a^4 - 2a^2 b R_1 \cos ab - n R_1^2 b^2)} \\
& \frac{1}{2} 1R_1 2 \frac{a^2 \sin n R_1 R_2 \sin n}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos n - n R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 2R_2 Q \frac{a^2 \cos n R_2 b \cos ab}{(a^4 - 2a^2 R_2 b \cos ab - n R_2^2 b^2)} \\
& \frac{1}{2} 1 R_1 2 \frac{a^2 \sin p R_1 R_2 \sin p}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos p - p R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} R_1 1Q \frac{R_1 b \cos ab - a^2 \cos p}{(a^4 - 2a^2 R_1 b \cos ab - p R_1^2 b^2)} \\
& \frac{1}{2} R_2 2 1 \frac{a^2 \sin p R_2 R_1 \sin n}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos p - n R_2^2 R_1^2)} - \frac{1}{2} 1 2R_2 \frac{a^2 \sin n R_2 R_1 \sin n}{(a^4 - 2a^2 R_2 R_1 \cos n - n R_2^2 R_1^2)} \\
& \quad - \frac{1}{2} \frac{1}{b} Q \cos ab \quad \quad \quad 6.4.11
\end{aligned}$$

Coefficientes Aerodinámicos

El Coeficiente de Arrastre se define como:

$$F_D = C_D \frac{\rho}{2} V_o^2 c l \quad X = C_D \frac{X}{\frac{\rho}{2} V_o^2 2a l} \quad 6.4.12$$

donde X se sustituye por su expresión (6.4.10)

El Coeficiente de Sustentación se define como:

$$F_L = C_L \frac{\rho}{2} V_o^2 c l \quad Y = C_L \frac{Y}{\frac{\rho}{2} V_o^2 2a l} \quad 6.4.13$$

donde Y se sustituye por su expresión (6.4.11). Para ambos casos $c = 2a$

Cálculo de los parámetros Q y b

Velocidad Inducida

La siguiente expresión recibe el nombre de A

$$\begin{aligned}
 A = & V_o \frac{a^2}{b^2} \sin 2 \frac{ab}{ab} - \frac{1}{2} \frac{1}{b} \cos \frac{ab}{ab} - \frac{1}{2} \frac{1}{1} \frac{R_1 \cos p - b \cos ab}{(b^2 - 2bR_1 \cos ab - p R_1^2)} \\
 & \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} \frac{R_1 b \cos ab - a^2 \cos n}{(b^2 R_1^2 - 2bR_1 a^2 \cos n - ab a^4)} - \frac{1}{2} \frac{1}{1} \frac{R_1 \cos n - b \cos ab}{(b^2 - 2bR_1 \cos n - ab R_1^2)} \\
 & - \frac{1}{2} \frac{1}{R_1} \frac{R_1 b \cos ab - a^2 \cos p}{(b^2 R_1^2 - 2bR_1 a^2 \cos ab - p a^4)} \\
 & \frac{1}{2} \frac{2}{2} \frac{b \cos ab R_2 \cos n}{(b^2 - 2bR_2 \cos n - ab R_2^2)} - \frac{1}{2} \frac{2}{2} \frac{R_2 b \cos ab a^2 \cos p}{(b^2 R_2^2 - 2bR_2 a^2 \cos ab - p a^4)} - \frac{1}{2} \frac{2}{2} \frac{b \cos ab R_2 \cos p}{(b^2 - 2bR_2 \cos ab - p R_2^2)} \\
 & - \frac{1}{2} \frac{R_2}{2} \frac{2}{2} \frac{R_2 b \cos ab a^2 \cos n}{(b^2 R_2^2 - 2bR_2 a^2 \cos n - ab a^4)} \quad 6.4.14
 \end{aligned}$$

A continuación se presenta la expresión que permite obtener el valor de Q en función de b , siendo esta:

$$Q = \frac{A}{\left(\frac{1}{2} b \frac{\sin ab}{(a^2 - b^2)} - \frac{1}{2} \frac{\sin ab}{b} \right)} \quad 6.4.15$$

A continuación se puede observar el gráfico de la función anterior

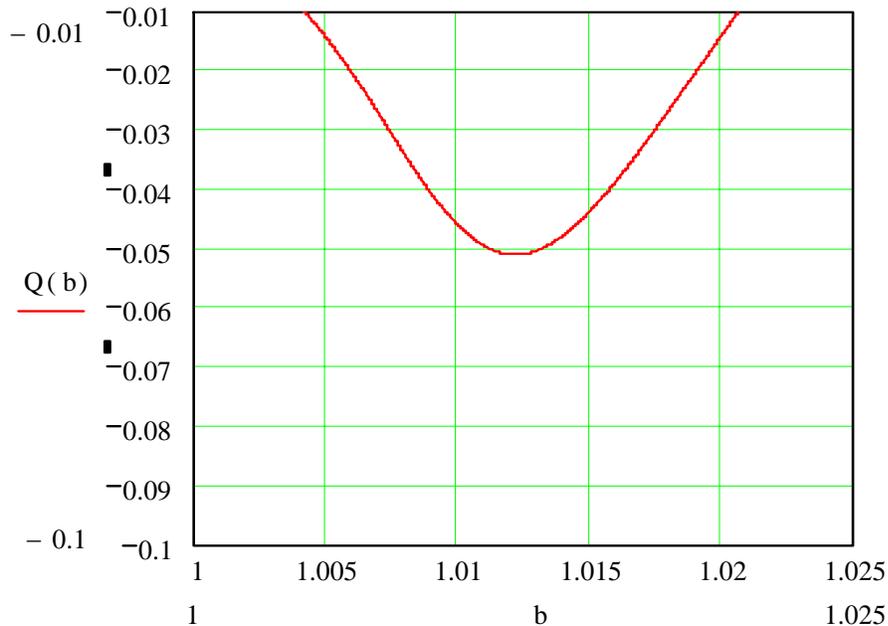


Fig 6.4.7 Rango de aplicación del modelo SZ-III

6.4.1 Espectros hidrodinámicos del flujo alrededor de un obstáculo cilíndrico

A continuación se presenta el espectro hidrodinámico del modelo SZ-III (fig.-6.4.8 y 6.4.9). Los cálculos de estos se llevan a cabo con una rutina elaborada con el programa Mathcad 11 (R), la representación gráfica de las líneas de corriente se realizan con la ayuda del programa Surfer 6.04 (R).

Los valores de los parámetros son:

Para el primer rango (fig.-6.4.8)

$$4.568, aV_{oo} \quad 3.448, b \quad 1.00809461564, Q \quad -0.0351389275$$

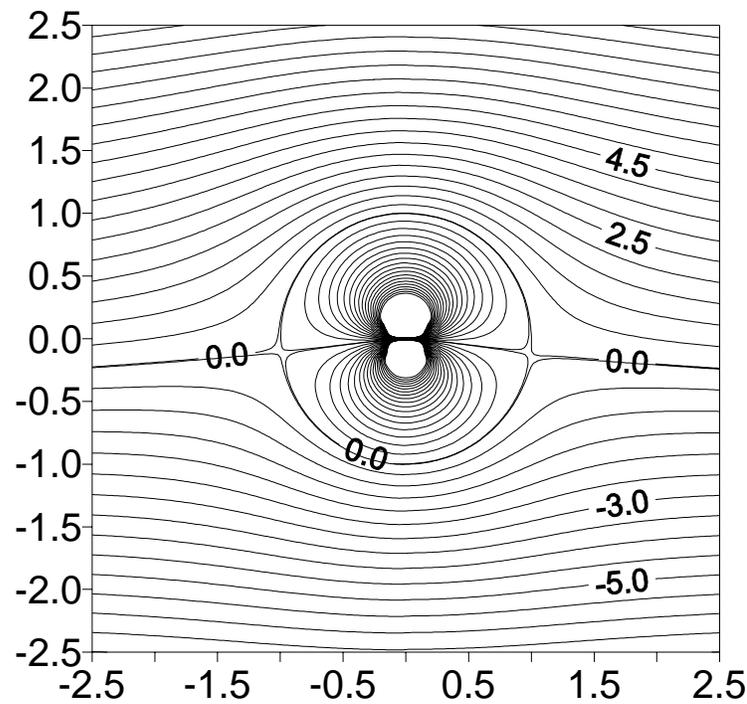


Fig 6.4.8 Modelo SZ-III 1er Rango

Para el segundo rango (fig.-6.4.9)

$$4.568, aV_{oo} \quad 3.448, b \quad 1.01659234779, Q \quad -0.0351389099$$

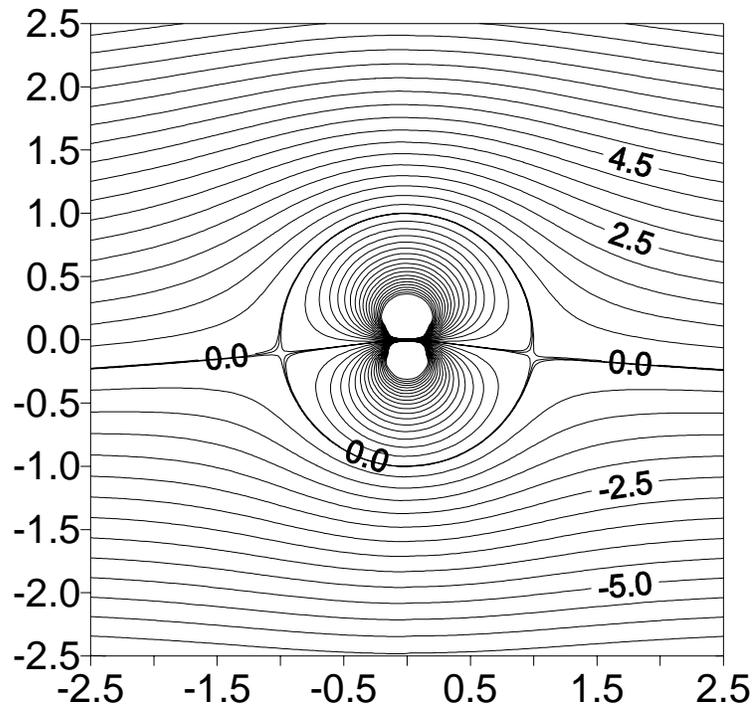


Fig 6.4.9 Modelo SZ-III 2do Rango

En ambos casos, los valores se obtienen de la siguiente manera, en primer lugar se selecciona un valor de \overline{Q} , posteriormente utilizando la figura (6.4.7) se ubica un valor de b que cumpla con lo establecido anteriormente, entonces se obtiene Q .

De igual forma se presentan el perfil de velocidades sobre el cilindro (fig.-6.4.10 y 6.4.11) para diversos valores del ángulo θ , que varían desde 0° hasta 360° en intervalos de 30° . Para el cálculo, se utiliza una rutina elaborada en el programa Mathcad 2.001 (R) y su representación gráfica es elaborada en Grapher 1.30 (R)

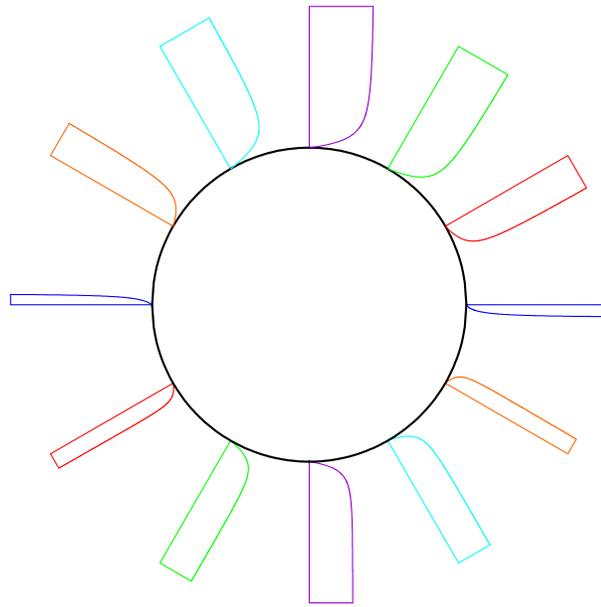


Fig 6.4.10 Perfiles de Vel. Tang. mod. SZ-III 1er Rango

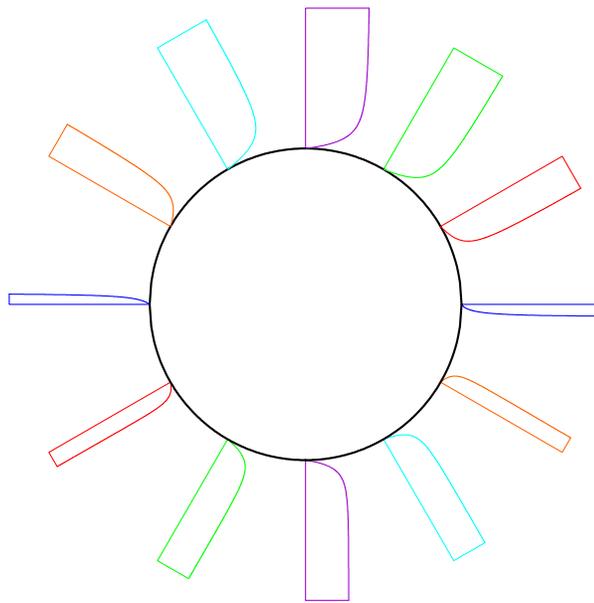


Fig 6.4.11 Perfiles de Vel. Tang. Mod. SZ-III 2do

Para el Coeficiente de Presión se obtiene la siguiente representación gráfica realizada en el programa Grapher 1.3 (R)

Primer rango

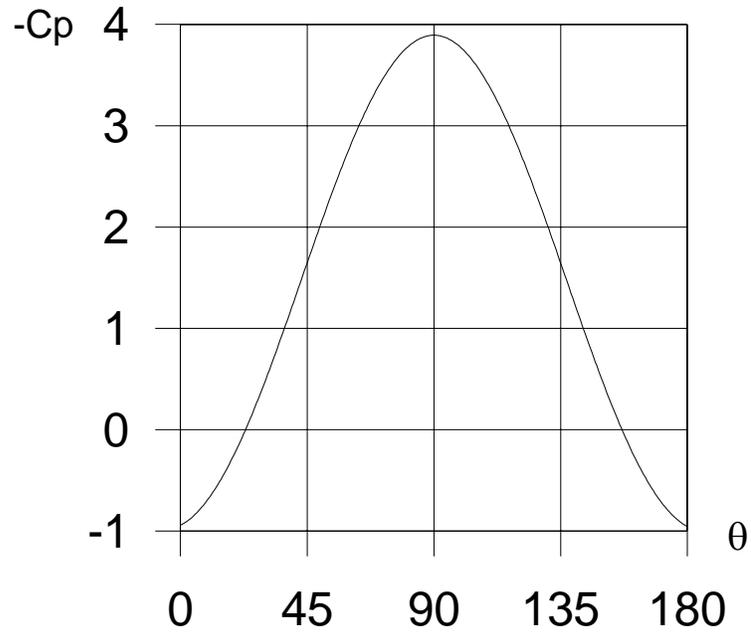


Fig 6.4.12 Coef. de Presión mod. SZ-III

Observe en la figura (6.4.12) que el valor del Coeficiente de Presión para un ángulo de 90° es de 3.8943224456, al compararlo con el valor del modelo clásico, se aprecia que este modelo difiere en un 0.165708 %.

Segundo rango

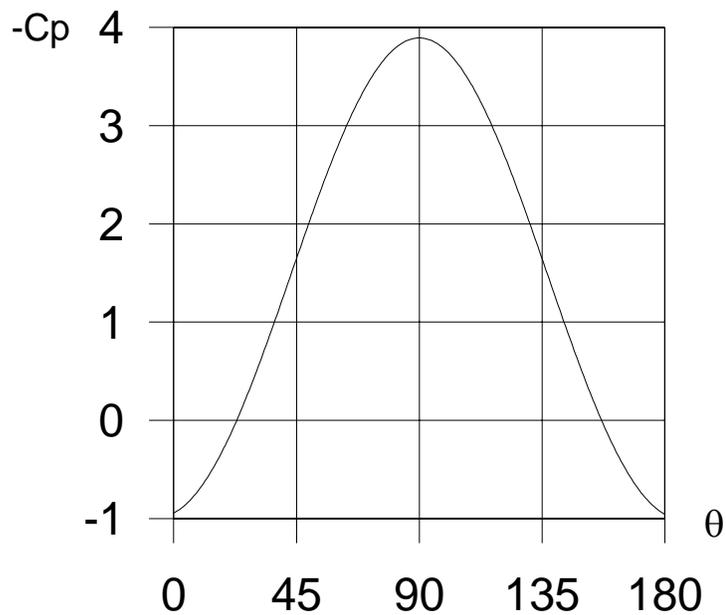


Fig 6.4.13 Coef. de Presión mod. SZ-III

Observe en la figura (6.4.13) que el valor del Coeficiente de Presión para un ángulo de 90° es de 3.8943218414, al compararlo con el valor del modelo clásico, se aprecia que este modelo

difiere en un 0.165693 %.

El valor del coeficiente de arrastre y de sustentación, utilizando las ecuaciones (6.4.12) y (6.4.13) respectivamente son

Para el primer rango

$$C_D = 0.01039$$

$$C_L = 1.3286$$

Para el segundo rango

$$C_D = 0.0100015$$

$$C_L = 1.32864$$

CONCLUSIONES

La investigación realizada permite formular las conclusiones siguientes:

- El Método Paramétrico Modificado utilizado para trazar perfiles aerodinámicos es eficiente y permitió obtener unos 200 nuevos perfiles.
- El uso sistemático del código Visual Foil 4.1® facilitó la obtención de las cuatro curvas características aerodinámicas para varios números de Reynolds, ofreciendo una amplia caracterización de los nuevos perfiles.
- Los perfiles trazados con el Método Paramétrico Modificado tienen características aerodinámicas distintas y en la mayoría de los casos mejores que los perfiles base.
- El programa elaborado para el cálculo de los parámetros geométricos han permitido determinar los valores adimensionales de las magnitudes de interés para cálculo de resistencia de materiales de los perfiles estudiados.
- La aproximación del intradós y del extradós de los nuevos perfiles utilizando polinomios y el programa Grapher 1.3® logró la representación de los contornos con errores pequeños que fueron cuantificados.
- Los tres modelos matemáticos desarrollados con detalles permitieron obtener las expresiones de la fuerza de sustentación y de arrastre eliminando la paradoja de d'Alembert.
- Los perfiles de velocidades, la variación del coeficiente de presión y el espectro hidrodinámico del flujo alrededor del círculo pone en evidencia que los modelos matemáticos utilizados permiten mejorar la modelación de los flujo reales utilizando hipótesis del fluido ideal necesaria para estudios de la capa límite.

RECOMENDACIONES

Para estudios futuros se sugiere:

- Profundizar la modelación matemática del flujo alrededor del círculo utilizando la hipótesis del flujo ideal.
- Trazar espectros hidrodinámicos con un paso más pequeño de variación de las coordenadas.
- Estudiar casos concretos para otros valores que fueron utilizados en el presente trabajo especial.
- Aplicar el Método Paramétrico Modificado a otras clases de perfiles conocidos distintos a las que han sido consideradas hasta el presente, en estudios previos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abbot, I. H., Von Doenhohoff A. E., 1950, "Theory of Wing Section" Dover Publications, Inc. New York.
2. Alarcón, Mariano A. y Pérez V. Froilán R., 1995, "Estudio de Flujos Rotacionales Planos por el Método Zarea" Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, U.C.V.
3. Albornoz M., J. H., 1985, "Generación de Perfiles Hidrodinámicos utilizando Curvas Generatrices abiertas y cerradas", Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
4. Bokser, V. D. and Zhigulyov, S. V., 1994, "Experimental Investigation of the Features of the Boundary Layer Development on an Airfoil". TsAGI 1 (4) pág. 30 – 40.
5. Castro C., G. y Falcón G., Juan; 1989, "Estudios del Comportamiento del fluido alrededor de los Perfiles Aerodinámicos Zarea con borde de fuga agudo", Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
6. Cimbala J. M. And Park, W. J., 1990, "An Experimental of the Turbulent Structure in a Two Dimensional momentumless wake", J. Fluid Mech. Vol. 213, pág. 479 – 509.
7. Chao D. D. and Van Dam C. P., 1999, "Airfoil Drag Prediction and Descomposition". J Aircraft. 36 (4) pág. 675 – 681.
8. Davidson, L., 1995, "Prediction of the Flow Around an Airfoil Using a Reynolds Stress Transport Model" J. Fluid 18 (5) pág. 50 – 57.
9. Ganes, R. K., 1994, "Minimum Drag Profile in Laminar Flow: a Numerical Way" J. Fluid Eng. 116 (3) pág. 456 – 462.
10. Fertis, D. G., 1994, "New Airfoil – Design Concept With Improved Aerodynamic", J. Aerospace Eng. 7 (3) pág. 328 – 341.
11. Fuchs, R., 1930, "Aerodynamic Theorie des Luftkrafte" Springer; Berlin.
12. Hanley, P., 1989, "Aerodynamic and Airfoil Analysis Software", MIT Course.
13. Jacob, C., 1950, "Introduction Mathematique a la mécanique des Fluides Gauthier", Villars, Paris.
14. Jameson, A., 1993, "Computational algoritmos for Aerodynamic Análisis and Design", Appl Numer Math 13 (5) pág. 383 – 422.

15. Keller, H. B., 1978, "Numerical Methods in Boundary – Layer Theory", Annual Review Fluid Mech, 10, pág. 417 – 433.
16. Kocin, N. E.; Kibel, I. A. y Rose, N. V., 1951, "Hidromecanica Teoretica" Editura Tehnica, Bucarest.
17. Kuethe, A. M. and Chow, Ch., 1976, "Foundations of Aerodynamics", John Wiley & Sons, Third Edition.
18. Martins, F. A. y Montoya L., J. L.; 1982, "Cálculo de las Curvas Características de Perfiles Zarea Modificados", Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
19. Milne – Thomson, L. M., 1958, "Theoretical Hydrodynamic" McMillan, London.
20. Pelaez U., F. A., 1985, "Desarrollo de Perfiles Aerodinámicos mediante dos Curvas Generatrices cerradas" Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
21. Rebuffet, 1968, "Aerodynamique Experimentale" Tomo I, II, Mason, Paris.
22. Reshortko, E., 1975, "Boundary – Layer Stability and Transition", Annual Reviews Fluid Mech, 9, pág. 311 – 376.
23. Rodríguez, I., 1983, "Generación de Perfiles Aerodinámicos mediante el Método Zarea" Tesis. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
24. Spence, D. A., 1954, "Prediction of the Characteristics of Two – Dimensional Airfoil", J. of the Aeronautical sciences. Vol. 21. 9, pág. 577 – 621.
25. Thwaites, B., 1969, "Incompressible Aerodynamics", Oxford Univ. Press., Oxford.
26. Truckenbrodt, E., 1959, "Fluid Mechanics", Dover Publications Inc., New York.
27. Von Mises, R. 1959. "Theory of Flight", Dover Publications, Inc. New York.
28. Williams, K. and Gharib, M., 1990, "Transition from order to chaos in the Wake of an airfoil", J. Fluid Mech. Vol. 213, pp. 29 – 57.
29. Williams, J. A. III, 1977, "Incompressible Boundary Layer Separation", Annual Review Fluid Mech., 9, pág. 113 – 144.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beer, F. P. y Jhonston, E. R. Jr. 1997, “Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática” Mc. Graw – Hill, México.
2. Carafoli, E., Constantinescu V. N., 1952, “Dinamica Fluidelor incompresibile” Edit. Academia. Bucarest. Vols. 1 y 2.
3. Carafoli, E. y Ororveanu, T., 1955, “Mecanica Fluidelor” Editura Academiei, Republicii Populare Romine.
4. Churchill, R. V.; Brown, J. W. y Verhey, R. F. 1978, “Variable Compleja y sus aplicaciones” Mc Graw – Hill, México.
5. Gutiérrez S., E. C. 2002, “Influencia de las hendiduras en el borde de fuga sobre las curvas características de los perfiles hidrodinámicos SZ 1 – 20” Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, U.C.V., Caracas.
6. Hanley, P., 1999, “User’s Guide. VisualFoil Wing Sections Model Foil”, Hanley Innovations; Ocala Florida.
7. Hauser, Jr. Arthur A., 1973, “Variable Compleja” Fondo Educativo Interamericano, S. A. New York.
8. Mathsoft™. 1999. “Mathcad® 11. User’s Guide”, Mathsoft Engineering & Education, Inc., Cambrige, USA.
9. Milne – Thomson, L. M., 1966, “Theoretical Aerodynamic” Dover Publications, N. Y.
10. Murray, R. S. 1971, “Teoría y problemas de variable compleja”, Mc Graw – Hill, México.
11. Ordoñez R.-R., Carlos. 1961, “Aerodinámica”, UTEHA, México. Tomos I, II y III.
12. Perera T., José L. 1995, “Flujo alrededor de un perfil utilizando la transformación de Joukowski Modificada” Trabajo de Ascenso. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. U.C.V.
13. Riegels, F. W., 1961, “Airfoil Sections”, Butterworths, London.
14. Robertson, J. M., 1965, “Hydrodynamics in theory and aplicaciones”, Prentice – Hall Interamericana, London.
15. Timoshenko, S. P. y Gere, J. M. 1986, “Mecánica de Materiales” Grupo Editorial Iberoamericana. México.

16. Vennard, John K., 1961, "Elementary Fluid Mechanics" John Wiley and Sons, Inc. 4th Edition, New York.
17. Zarea, S. 1995. "New Methods in Aero-Hydrodynamics Profile Generation". Proceedings of the third Latin American on Fluids Mechanics, U. S. B., Caracas.
18. Zarea, S.; Irausquín, I. y Leañez, E. 2002 "Evaluación experimental de ocho perfiles aerodinámicos serie SZ – 1500 para bajos números de reynolds". En: Revista de la Facultad de Ingeniería de la U. C. V., Vol. 17, N° 2, págs. 39 – 58.