

## 6. Estudio sección bidimensional de una góndola con un perfil

El presente estudio consistirá en añadir a lo hecho e la sección 5.2 un perfil con su correspondiente estela, para así ver la influencia del perfil sobre la toma y viceversa. La geometría del nuevo problema viene dada por la Figura 26.

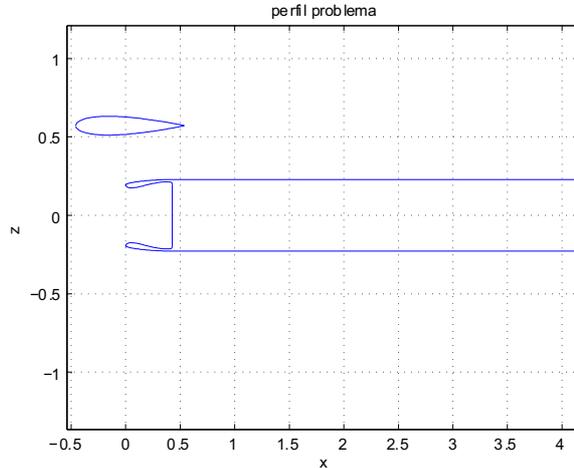


Figura 26: Contorno del dominio fluido del problema a estudiar

En este nuevo análisis se podrán sacar nuevos datos, tales como la sustentación del perfil para los distintos tipos de configuraciones que se supondrán. El coeficiente de sustentación del perfil vendrá dado por:

$$C_l = \frac{2\Gamma}{U_\infty c_{perfil}}$$

### 6.1. Comprobación del modelo bidimensional con un perfil

De nuevo se hará un análisis previo para ver la variación del problema con parámetros con los cuales no deberían variar si el problema estuviera bien formulado. Estos parámetros serán de nuevo la posición final del chorro y el tamaño de la discretización. El perfil elegido para hacer esta comprobación es un perfil simétrico NACA 0012, la velocidad en el infinito será  $120m/s$  y la de entrada en el motor será de  $70m/s$ .

Las velocidades sobre el obstáculo y los distintos  $c_p$  obtenidos sobre los labios del motor y los perfiles en las Figuras 27 y 28.

En las Figuras 27 y 28 se observa que la discretización apenas influye en la solución del problema, además cuanto más pequeña sea la discretización menos se diferencian discretizaciones sucesivas. También se observa como apenas varían los coeficientes de sustentación del perfil con las distintas geometrías. En el Cuadro 6 se puede comprobar:

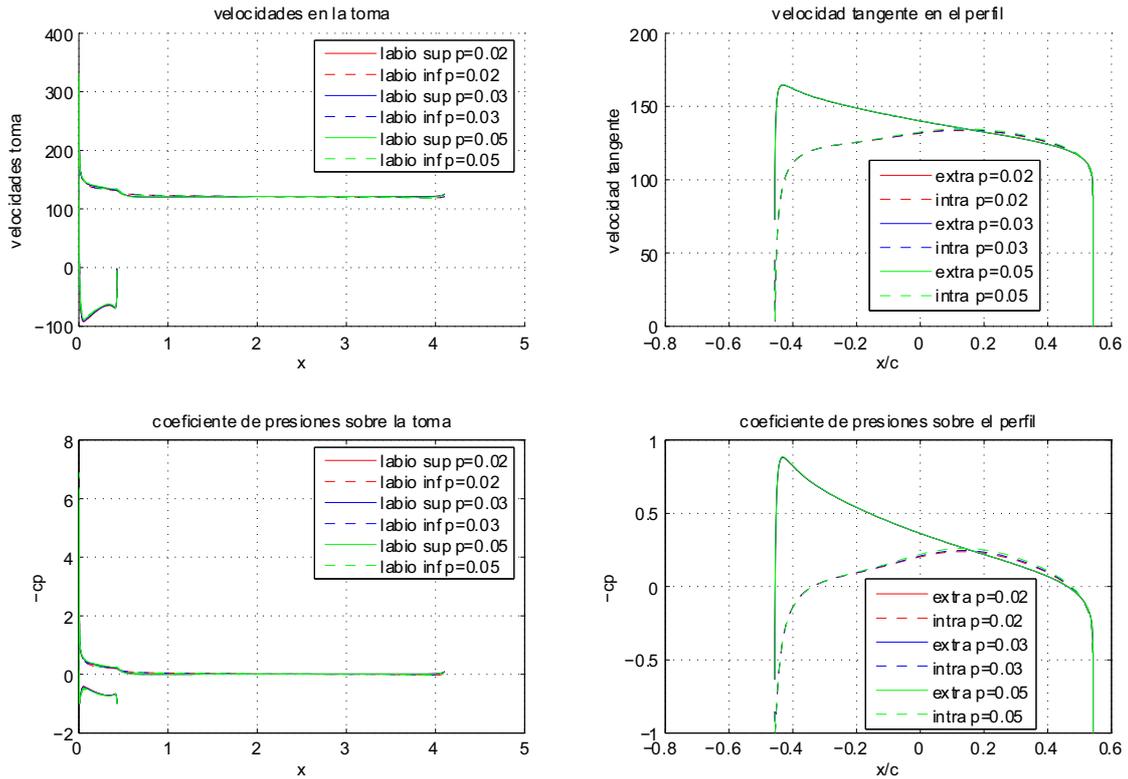


Figura 27: Solución al problema para distintas discretizaciones

Paso	$C_{l\text{perfil}}$
0.05	0.2574
0.03	0.2631
0.02	0.2661

Cuadro 6: Variación del  $C_l$  del perfil con la discretización

Si se procede a evaluar el método para distintas posiciones finales del chorro, se obtendrán las soluciones mostradas en las Figuras 29 y 31.

Se observa como casi no hay cambios al variar la posición final del chorro, lo que muestra que la resolución numérica al problema se ha hecho bien.

Finalmente resulta importante notar el hecho de que la presencia del perfil hace que el campo de velocidades y presiones sobre el labio superior e inferior no sea igual tal como se muestra en la Figura 31.

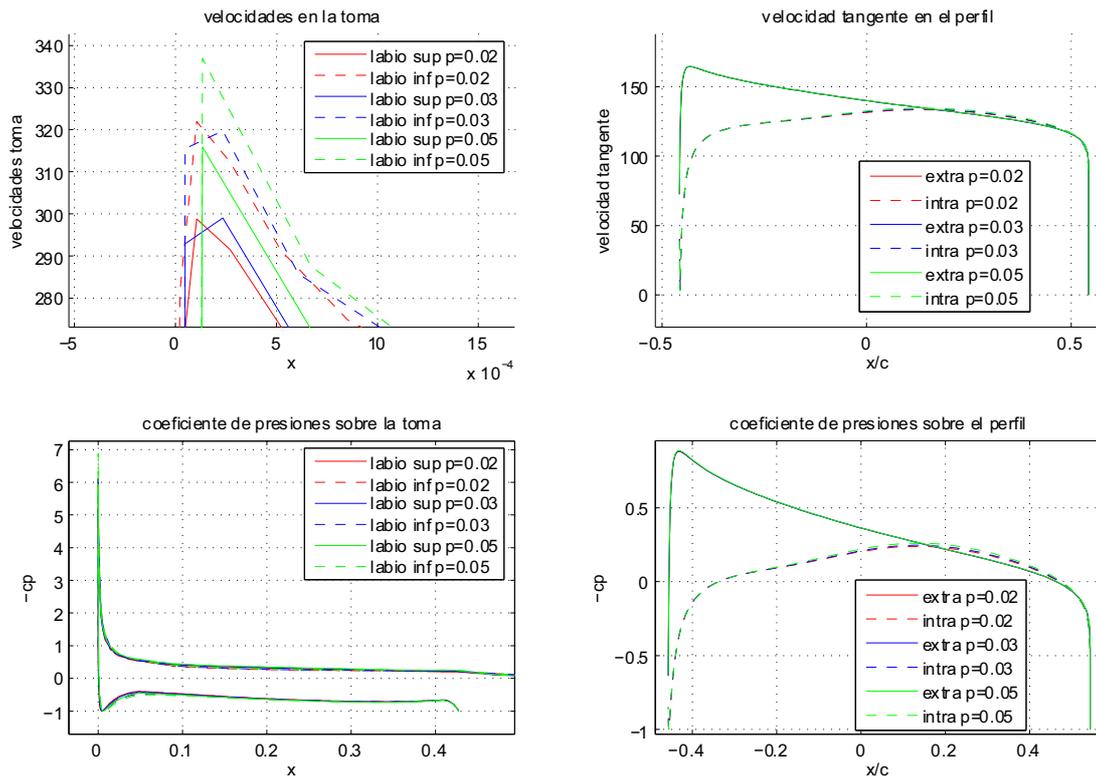


Figura 28: Solución al problema para distintas discretizaciones. Zoom

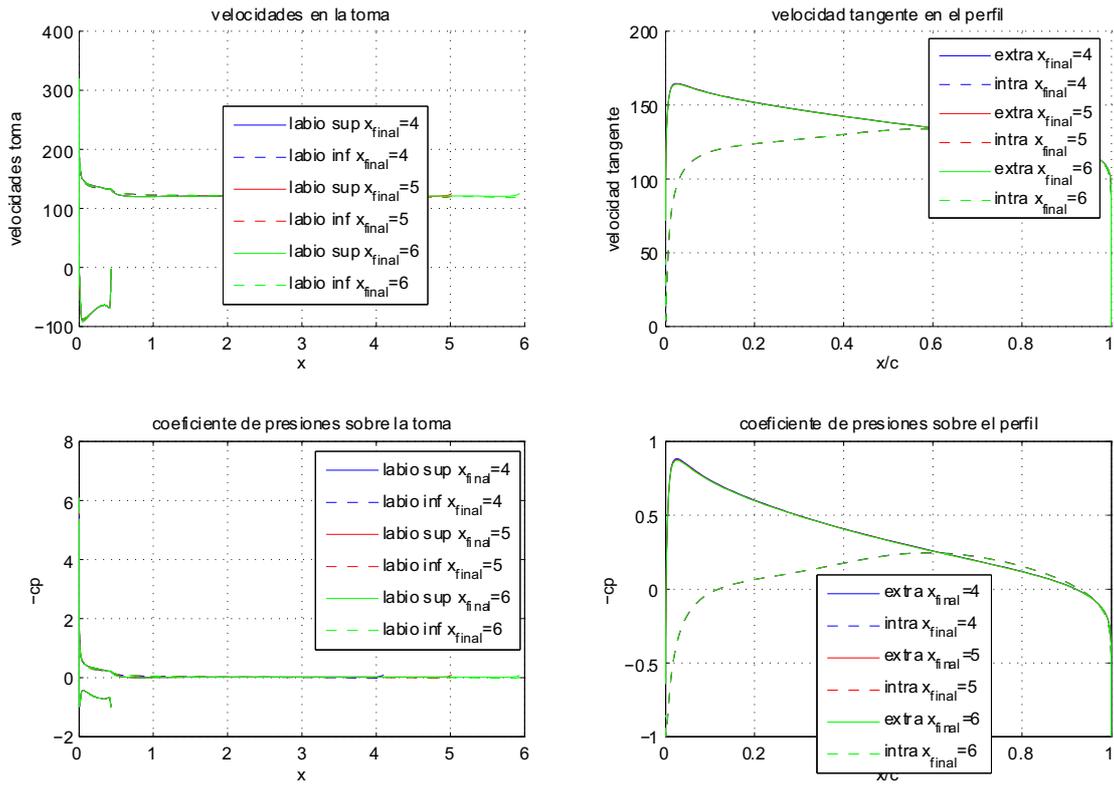


Figura 29: Solución al problema para distintas posiciones del final del chorro

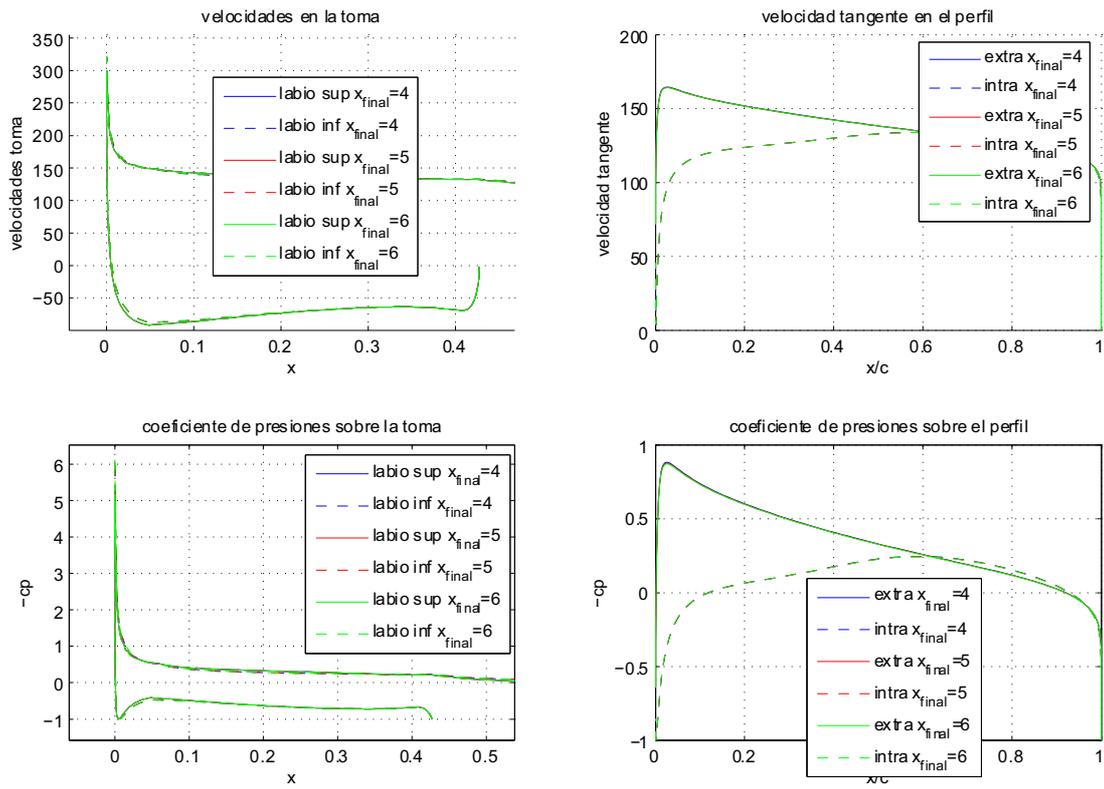


Figura 30: Solución al problema para distintas posiciones del final del chorro. Zoom

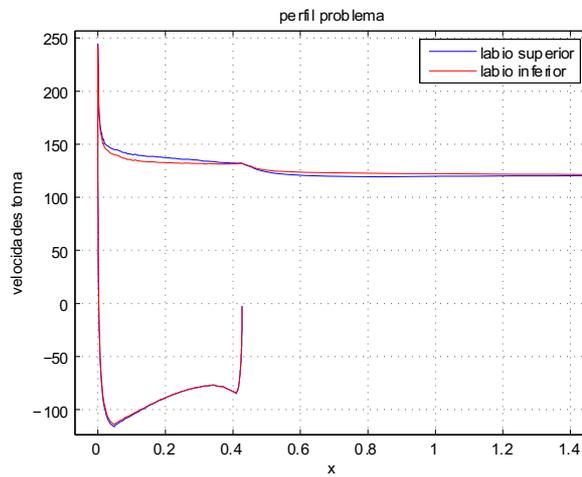


Figura 31: Velocidad sobre labios para  $u_{motor} = 85m/s$  y  $U_{\infty} = 120m/s$

## 6.2. Estudio del modelo bidimensional en función del gasto absorbido por el motor

El estudio se hará para varios gastos absorbidos por el motor. La altura en la que actuará el motor será nuevamente de  $10000m$  sobre el nivel del mar y la velocidad incidente será de  $120m/s$  y se usarán gastos típicos para motores civiles. El Cuadro siguiente muestra los distintos gastos:

$U_{motor} \text{ m/s}$	Gasto $kg/(m^2 s)$	$U_{motor}/U_{\infty}$
70	26.04	0.5833
85	31.62	0.7033
100	37.2	0.8333

La solución del problema adimensionalizado depende del cociente  $U_{motor}/U_{\infty}$ , de manera que la solución presentada de aquí en adelante se parametrizará con este cociente adimensional (en este caso se representará solución adimensional) o bien se dará en términos de la velocidad de entrada del flujo en el motor (en este caso se representará solución dimensional apta para compararla con los resultados de CFD).

En la Figura 32 y en 33 se observan las distintas soluciones para los respectivos gastos.

En la Figura 33 se ve como al aumentar el gasto el pico de succión se hace menos severo como ocurría en el problema bidimensional sin la presencia del perfil, fruto de la distinta expansión del tubo de corriente absorbido por el motor. El perfil podrá servir de medidor de este ángulo de ataque inducido por el tubo de corriente absorbido por el motor. Cuánto mayor sea la compresión del tubo, mayor será el ángulo de ataque inducido por el tubo de manera que debido a la posición geométrica del perfil sobre el motor, la sustentación de éste debería aumentar.

En el Cuadro 7, se muestra la variación de la sustentación del perfil con el parámetro adimensional  $\frac{u_m}{U_{\infty}}$ .

$\frac{u_m}{U_{\infty}}$	$C_{l\text{perfil}}$
0.583	0.2631
0.708	0.1842
0.833	0.1052

Cuadro 7: Variación del  $C_l$  del perfil con el cociente de velocidades

Se observa claramente como el ángulo de ataque que ve el perfil disminuye al aumentar el gasto caudal absorbido por el motor, además se observa como la relación entre  $C_{l\text{perfil}}$  y  $\frac{u_m}{U_{\infty}}$  es lineal.

Este distinto ángulo de ataque inducido por el flujo absorbido por el motor, también se manifiesta en distintos picos de succión para los distintos parámetros adimensionales  $\frac{u_m}{U_{\infty}}$ , como es lógico cuanto mayor sea el ángulo de ataque visto por el perfil mayor será el pico de succión que se producirá en él, tal como muestra la Figura 34.

Resulta interesante el estudio de los distintos puntos de remanso que nos indicarán la severidad del recorrido de la capa límite, el empuje aerodinámico debido a la inclinación del labio del motor, ...

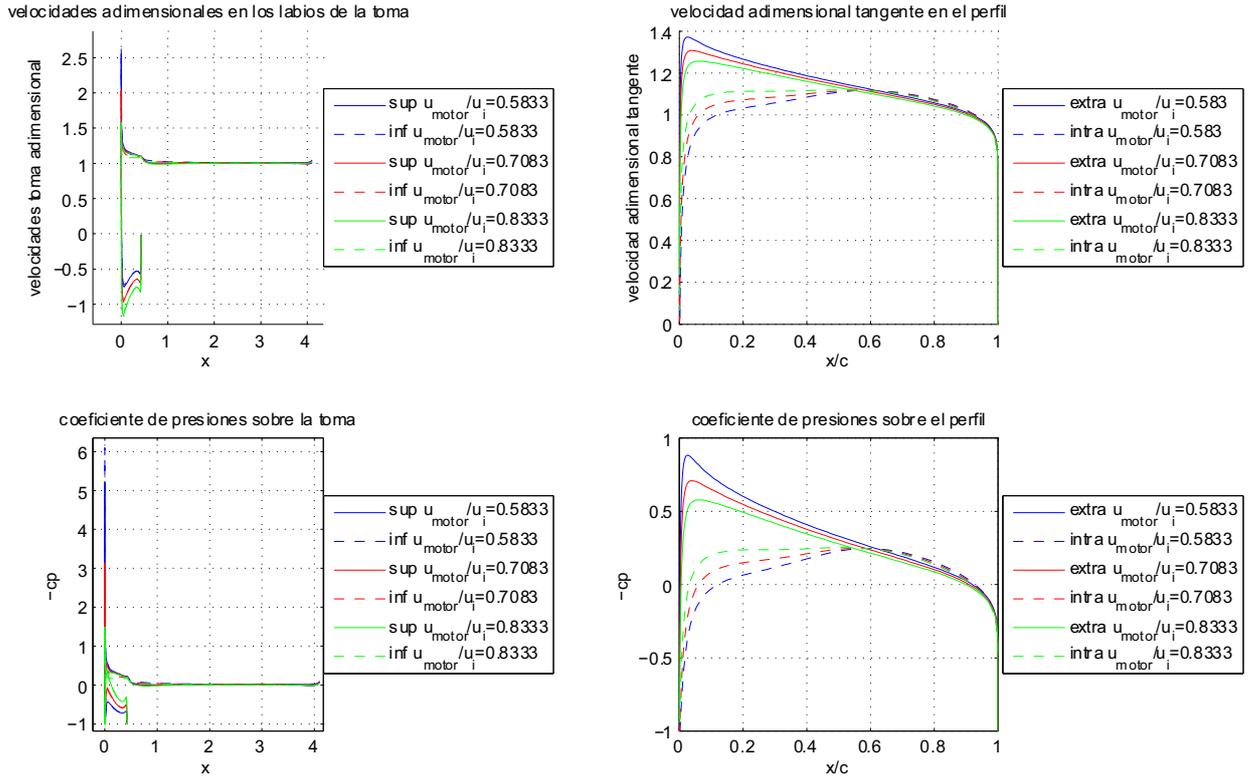


Figura 32: Solución del problema para distintos gastos

La posición de los puntos de remanso del labio superior, labio inferior y perfil vendrán de nuevo dados cualitativamente por la contracción del tubo de corriente absorbido por el motor.

	Puntos de remanso $10^{-3}$		
$\frac{u_m}{U_\infty}$	$x_{perfil}$	$x_{labio superior}$	$x_{labio inferior}$
0.583	1.4	5	6.2
0.708	0.67	2.7	2.6
0.833	0.26	1.2	1

Como era de esperar a medida que aumenta el gasto, el punto de remanso del perfil, del labio superior y del labio inferior se van desplazando hacia los respectivos bordes de ataque. Notar que estos puntos de remanso están medidos desde el borde de ataque del perfil, labio superior y labio inferior respectivamente.

Resulta interesante ver el comportamiento del empuje generado por los labios del motor a medida que se cambia el gasto absorbido por el motor. En el Cuadro 8 se muestra la componente de la fuerza de presión adimensionalizada

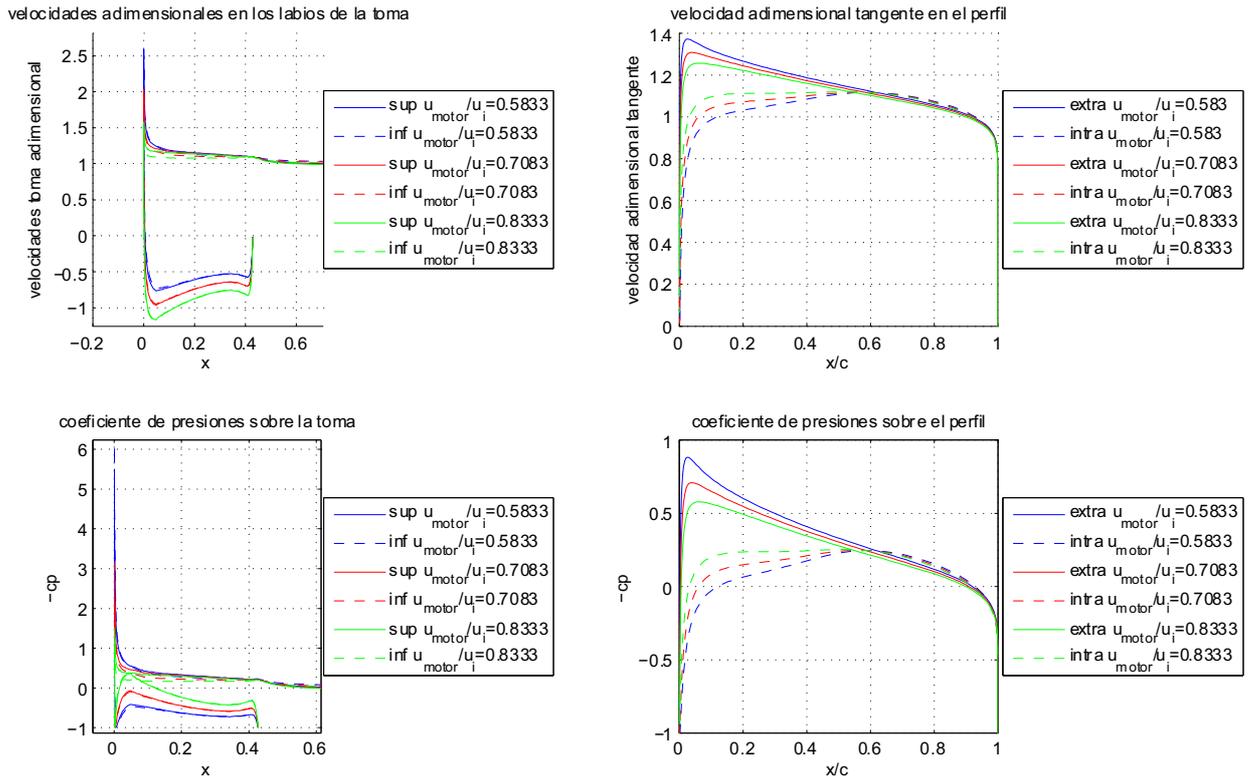


Figura 33: Solución del problema para distintos gastos. Zoom sobre labio

con  $c_{labio} \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2$  sobre los labios inferior y superior para los distintos gastos para los cuales se ha solucionado el problema:

	Empuje labio superior			Empuje labio inferior		
	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,8333$	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_{\infty}} = 0,8333$
Extradós	0.0582	0.0434	0.0306	0.0612	0.0374	0.0176
Intradós	0.0343	0.0151	0.0012	0.0389	0.0149	0.0014
Total	0.0925	0.0585	0.0318	0.1001	0.0523	0.019

Cuadro 8: Empuje adimensional para los distintos gastos absorbidos por el motor

Conviene señalar que estos empujes adimensionales están adimensionalizados con la cuerda del labio de la toma y no con el espesor (tal y como se hacía para el perfil) ya que no hay un espesor claro de referencia en la geometría del labio de la toma.

En el Cuadro 8 a pesar de usar un modelo potencial se ha hallado la componente de la fuerza aerodinámica según el eje 'x'. Se ha integrado en todo el labio, pero es preciso remarcar que los labios no han sido una superficie

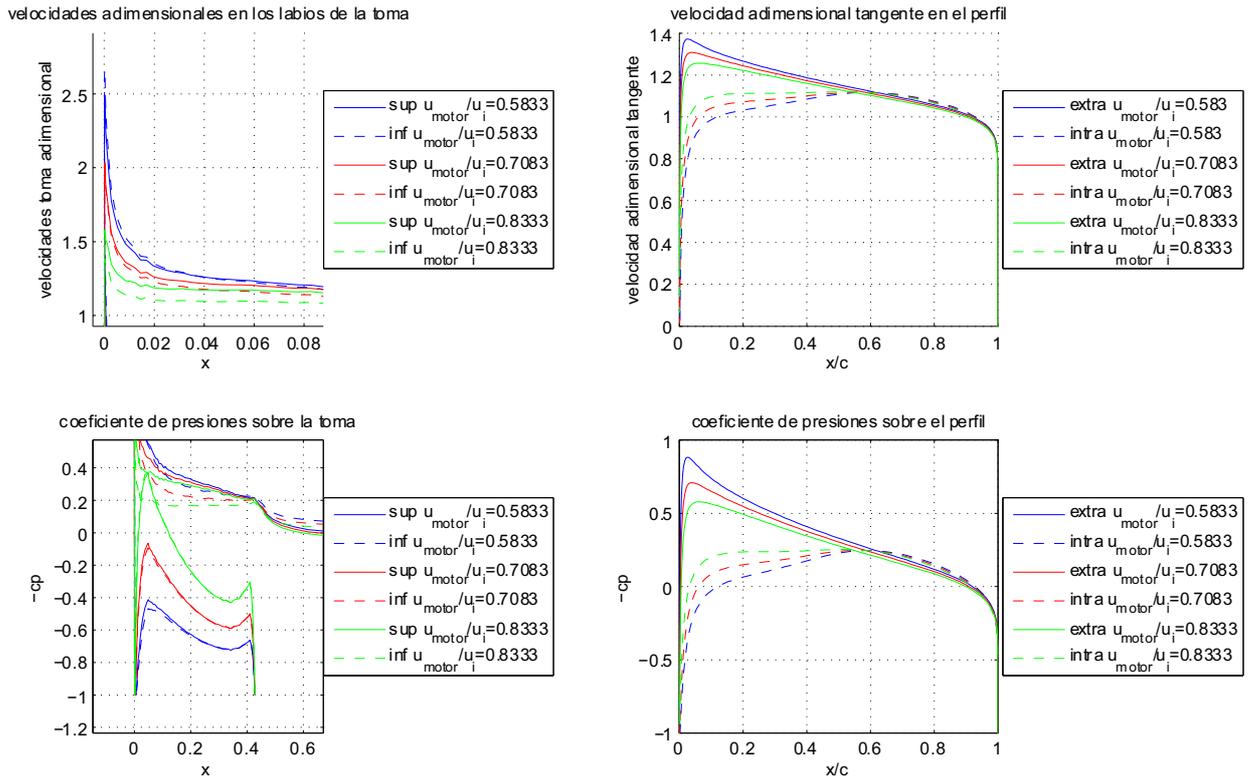


Figura 34: Solución del problema para distintos gastos. Zoom pico succión e intradós

cerrada porque se ha integrado por la parte del labio en contacto con el fluido, de manera que la unión del labio con el resto de la góndola no se ha tenido en cuenta para este análisis. El Cuadro 8 muestra como la influencia del perfil sobre la góndola hace que ahora ya no tenga el mismo comportamiento el labio superior que el labio inferior. Además se observa claramente como a medida que aumenta el gasto absorbido por el motor, la componente según el sentido negativo de 'x' de la fuerza Aerodinámica que actúa en el labio disminuye, debido a que la succión en el extradós del labio es inferior y la compresión del intradós también lo es.

La componente de la fuerza aerodinámica sobre los labios de la toma según el eje 'x' negativo, se le denominará empuje, éste se crea debido al ángulo de ataque del perfil del labio del difusor, que favorece que haya empuje en la parte de succión y en la parte de compresión.

### 6.3. Estudio de la capa límite en el modelo bidimensional con perfil

Tal y como se explicó en el capítulo dedicado al método de línea, se procederá al cálculo de la evolución de la capa límite a lo largo del perfil; conviene recordar que la capa límite usada será laminar e incompresible. Para el contorno de las góndolas no se aplicará el método de línea, debido a que como se ha podido ver, tras el estudio del método de paneles, los gradientes de presiones en el borde de ataque del perfil son elevados, de manera que una capa límite laminar e incompresible no aguantará este gradiente produciendo el desprendimiento cerca del borde de ataque, por lo que los resultados obtenidos no tendrán mucha validez. Para un estudio correcto de la evolución de la capa límite sobre los labios de la góndola, sería recomendable el uso de capas límites turbulentas, pero debido a su dificultad y a la falta de tiempo no se procedió al estudio.

La capa límite se integró para los siguientes casos:

$U_{motor} \text{ m/s}$	Gasto $kg/(m^2 s)$	$U_{motor}/U_{\infty}$
70	26.04	0.5833
85	31.62	0.7033
100	37.2	0.8333

Las Figuras 35, 36 y 37 muestran los perfiles del desprendimiento y la evolución de los coeficientes de resistencia debido a la presión y a la viscosidad hasta el punto de desprendimiento para los casos mostrados en el Cuadro superior.

Los resultados de los coeficientes de resistencia que se muestran en las Figuras 35, 36 y 37 son solo válidos hasta el desprendimiento de la corriente. Para el coeficiente viscoso se considerará que después del desprendimiento no habrá contribución, debido a que las variaciones de  $u$  se producirán en longitudes del orden la distancia del punto de desprendimiento al borde de salida, por lo que el esfuerzo en el obstáculo se despreciará. Para el caso del coeficiente de resistencia debido a la presión, la contribución de la parte del perfil de después del desprendimiento se tendrá en cuenta teniendo en cuenta la aproximación de que después del desprendimiento la presión se mantiene constante e igual a la del punto de desprendimiento. De esta manera en el Cuadro 9 se muestran los distintos coeficientes para el intradós y el extradós.

	Extradós			Intradós		
	$x_{ad}$ desprendimiento	$C_{dp}$	$C_{df} \left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_{\infty}}} \right]$	$x_{ad}$ desprendimiento	$C_{dp}$	$C_{df} \left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_{\infty}}} \right]$
$U_m = 70m/s$	0.4281	-0.1159	0.8749	0.7992	0.2954	1.5233
$U_m = 85m/s$	0.4798	-0.0649	0.9462	0.7751	0.2495	1.4689
$U_m = 100m/s$	0.5235	-0.0153	1.0094	0.7564	0.1944	1.3985

Cuadro 9: Valores de interés del estudio del estudio capa límite

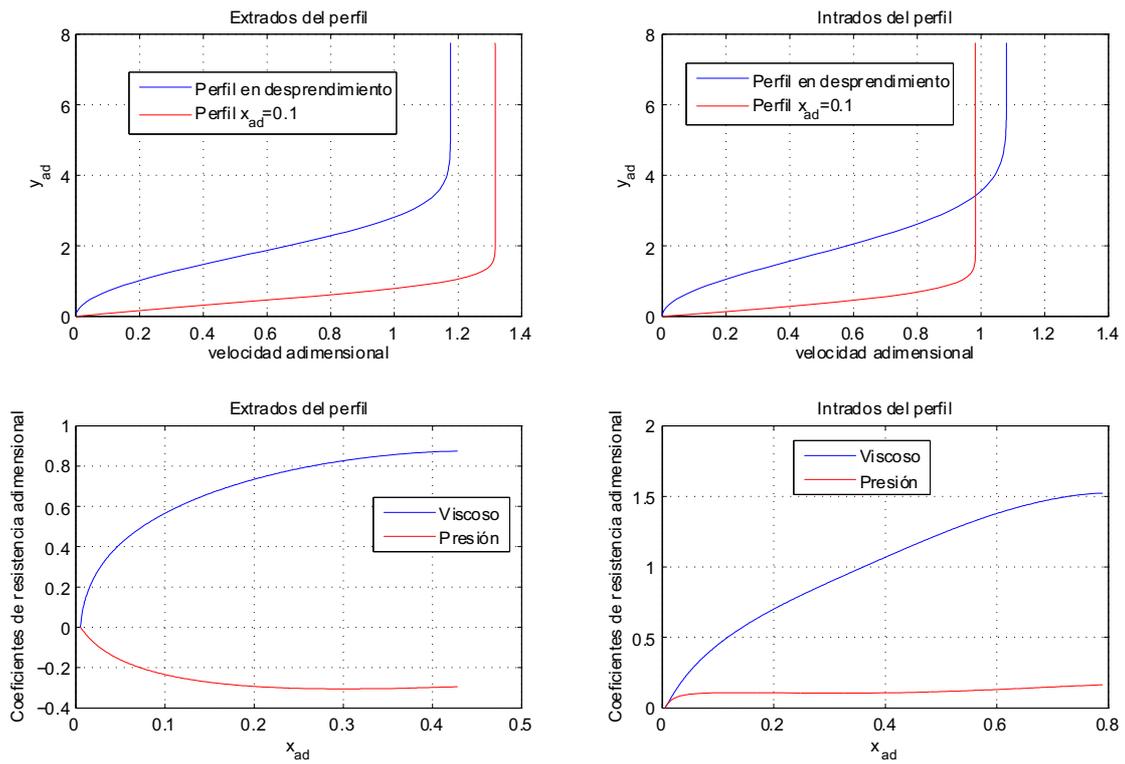


Figura 35: Resultados para el caso  $U_m = 70 \text{ m/s}$

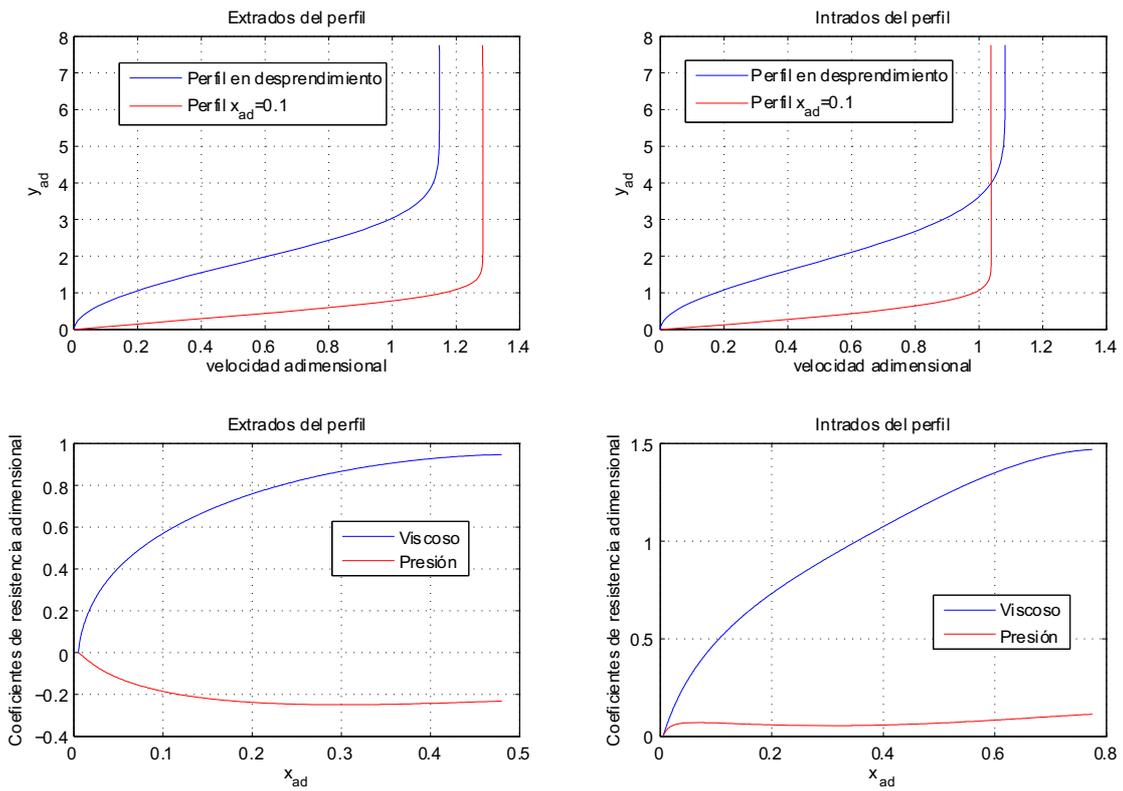


Figura 36: Resultados para el caso  $U_m = 85m/s$

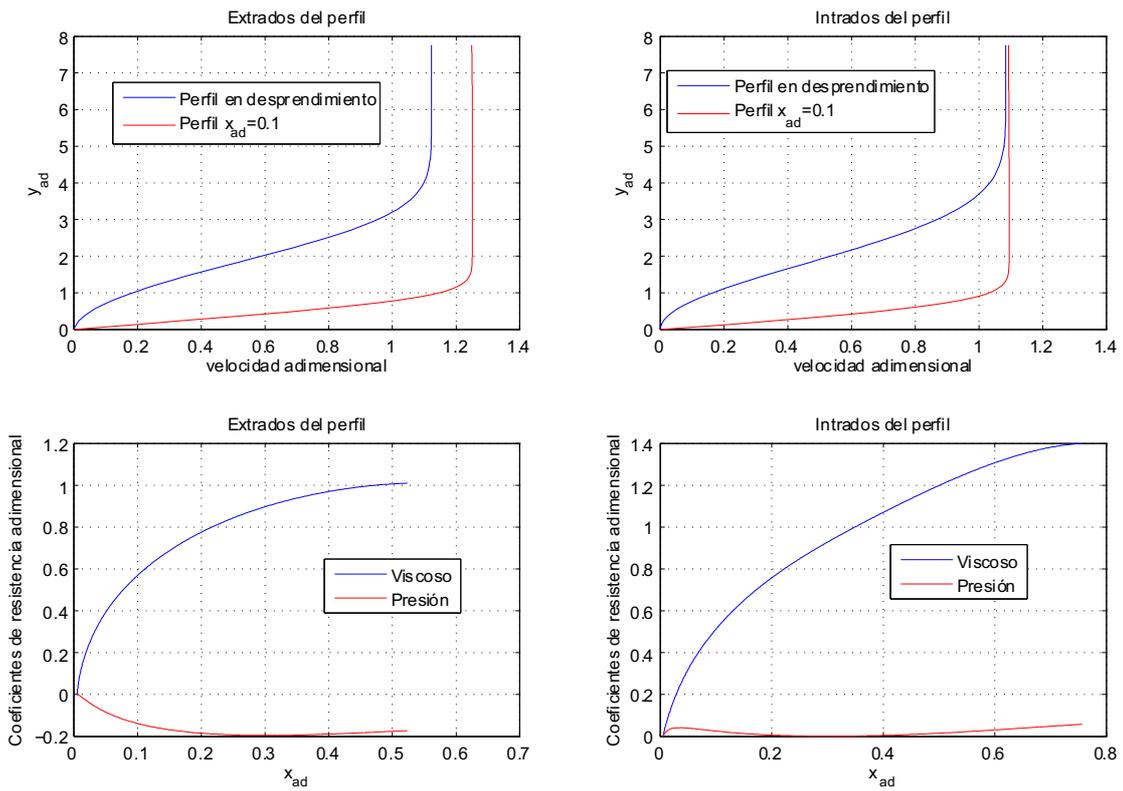


Figura 37: Resultados para el caso  $U_m = 100m/s$

## 6.4. Estudio del modelo bidimensional en función de la posición vertical del perfil

El propósito de este apartado es el de ver la influencia de la posición vertical del perfil respecto al motor. Para ello se procederá a resolver el método de paneles cambiando la coordenada 'y' del borde de ataque del perfil. Como es lógico el perfil será siempre el mismo, el NACA 0012. Los valores de las velocidades del problema serán:

$$U_{\infty} = 120m/s \quad u_{motor} = 85m/s$$

Se estudiará para coordenadas 'y' del borde de ataque del perfil NACA de valor 2, 3, 4, 5 veces el radio máximo del labio de la serie NACA s1 (0.2286 m), mientras que la coordenada 'x' del borde de ataque del perfil NACA estará fija, exactamente se situará dos veces el radio máximo del labio delante de la toma. En la Figura 38 se muestran las distintas soluciones obtenidas.

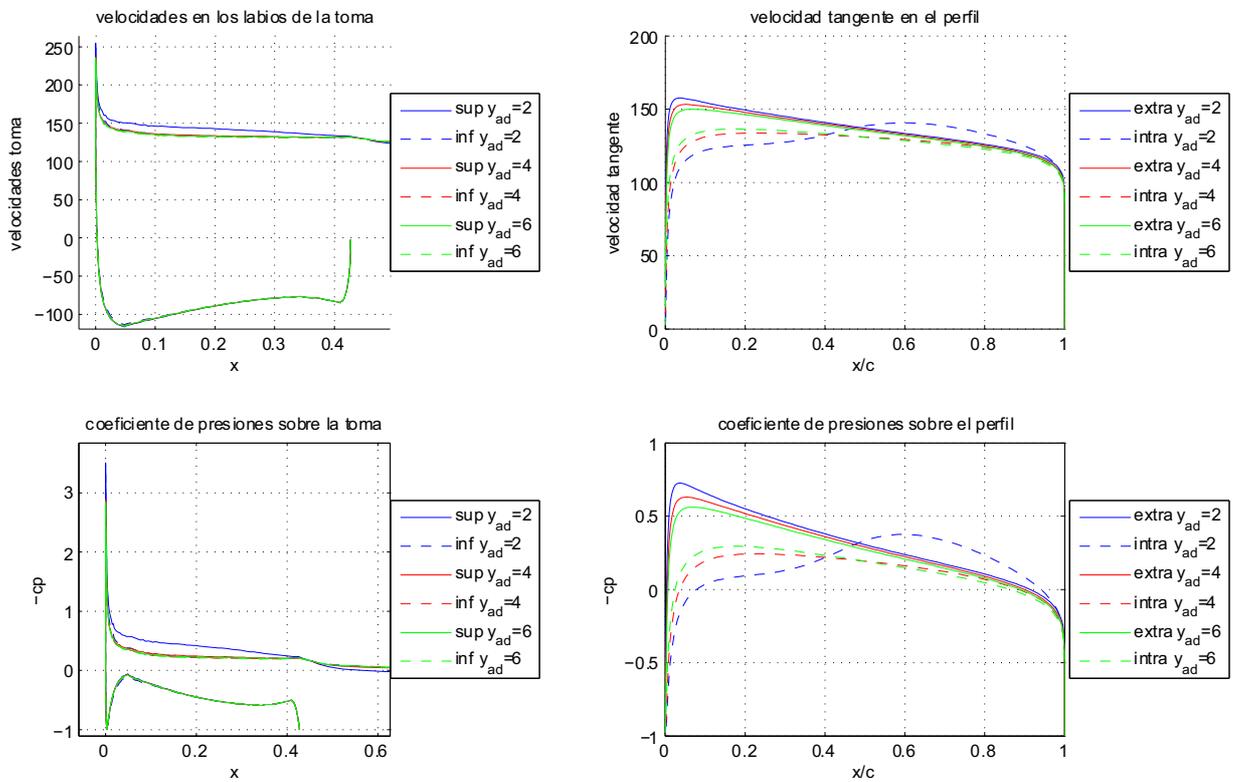


Figura 38: Solución para distintas posiciones verticales del perfil

En la Figura 38 se observa como a medida que se aleja el perfil las presiones en el extradós e intradós del perfil

se van juntando, propio del comportamiento de un perfil simétrico a ángulo de ataque nulo. También se observa como la variación en la posición del perfil apenas influye en la solución de los labios (sobretudo comparándola con la influencia en los labios del gasto absorbido), sin embargo el perfil si es muy influenciado por la variación de la posición de éste respecto al motor.

En el Cuadro 10 se muestra la variación de la sustentación del perfil con la posición vertical de éste.

	Posición vertical del perfil				
	$\frac{y_{\text{perfil}}}{R_{\text{max labio}}} = 2$	$\frac{y_{\text{perfil}}}{R_{\text{max labio}}} = 3$	$\frac{y_{\text{perfil}}}{R_{\text{max labio}}} = 4$	$\frac{y_{\text{perfil}}}{R_{\text{max labio}}} = 5$	$\frac{y_{\text{perfil}}}{R_{\text{max labio}}} = 6$
$C_{l\text{perfil}}$	0.1619	0.1806	0.1582	0.1358	0.1175

Cuadro 10:  $C_{l\text{perfil}}$  para distintas posiciones verticales del perfil

El Cuadro 10 muestra como si el perfil se sitúa muy cerca del labio puede generar menos sustentación que si estuviera un poco más alejado. Esto se puede deber a que la parte del intradós del perfil junto al labio superior de la toma forman un conducto convergente de manera que la presión baja en esa zona tuviéndose así menos presión en el intradós del perfil. Sin embargo esta fenómeno pierde importancia a distancias mayores de dos veces el radio máximo del labio, donde la sustentación del perfil simétrico viene gobernada por el ángulo de ataque inducido por el gasto absorbido por el motor. Como es lógico al aumentar la distancia de separación vertical entre la toma y el perfil, la sustentación de éste tenderá a cero.

Para finalizar con este apartado se representará en los Cuadros 39 y 40 la variación de algunos parámetros de interés de los labios del motor y del perfil con la posición horizontal del perfil. Se puede observar como a medida que  $y_{\text{perfil}} \rightarrow \infty$  las variables de la toma tienden al caso en que no haya perfil y los del perfil tienden al caso en que no existe la toma. En dichos Cuadros se ve como varían parámetros como el coeficiente de resistencia viscosa (modelo laminar), el coeficiente de resistencia de presión del perfil, el  $C_l$  del perfil, el punto de remanso de la toma y el empuje de la toma. En dichos Cuadros se observa como la variación de las magnitudes de la toma apenas varían con la posición del perfil en comparación con la variación de las magnitudes asociadas al perfil, demostrando que la toma difusiva está diseñada para una gran variedad de posiciones del perfil. El comportamiento de las variables es el esperado, como por ejemplo el del coeficiente de resistencia de presión del perfil, que disminuye a medida que se aleja el perfil de la toma, debido a que el pico de succión será menor y la capa límite de desprenderá más tarde.

Con los Cuadros 39 y 40 se puede realizar un estudio para colocar el perfil en el lugar más conveniente, dependiendo si lo que interesa es aumentar el empuje total debido al empuje de la toma o de si se quiere que el perfil sustente más gracias a la ayuda del motor o de si se quiere minimizar la resistencia del perfil. Conviene en estos momentos comentar que el valor de la resistencia viscosa se calculó con un modelo laminar de manera que la resistencia viscosa real será mayor a causa de la turbulencia.

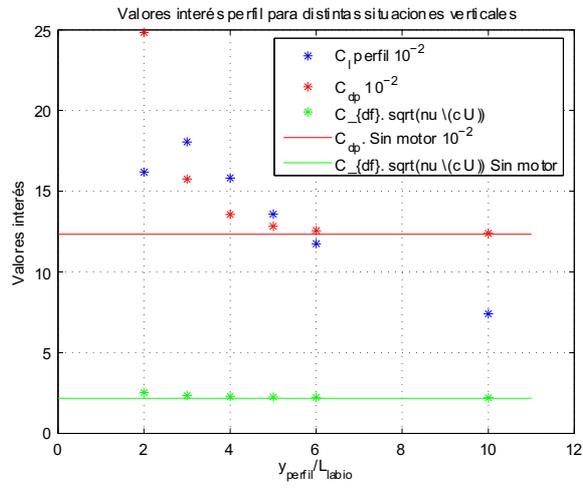


Figura 39: Parámetros globales de interés del perfil vs posición vertical del perfil

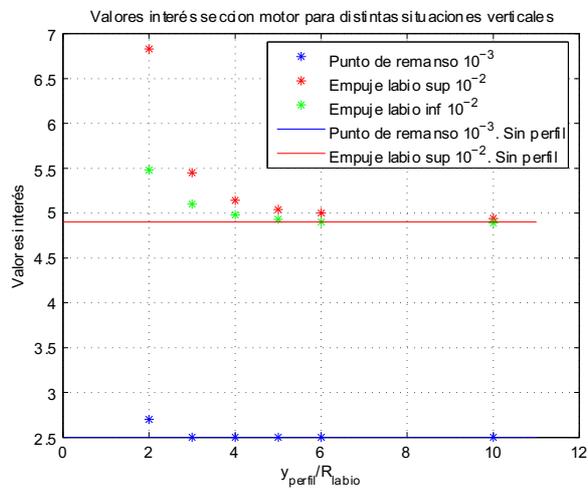


Figura 40: Parámetros globales de interés de la toma vs posición vertical del perfil

## 6.5. Estudio del modelo bidimensional en función de la posición horizontal del perfil

El objetivo de este apartado es el de ver la influencia de la posición horizontal del perfil respecto al motor. Para ello se procederá a resolver el método de paneles cambiando la coordenada 'x' del borde de ataque del perfil. Como es lógico el perfil será siempre el mismo, el NACA 0012. Los valores de las velocidades del problema serán:

$$U_{\infty} = 120m/s \quad u_{motor} = 85m/s$$

Se estudiará para coordenadas 'x' del borde de ataque del perfil NACA de 1, 2, 3, 4, 5 veces la longitud del labio de la serie NACA s1 (0.4572 m), mientras que la coordenada 'y' del borde de ataque del perfil NACA estará fija, exactamente se situará tres veces el radio máximo del labio delante de la toma. En la Figura 41 se muestran las distintas soluciones obtenidas.

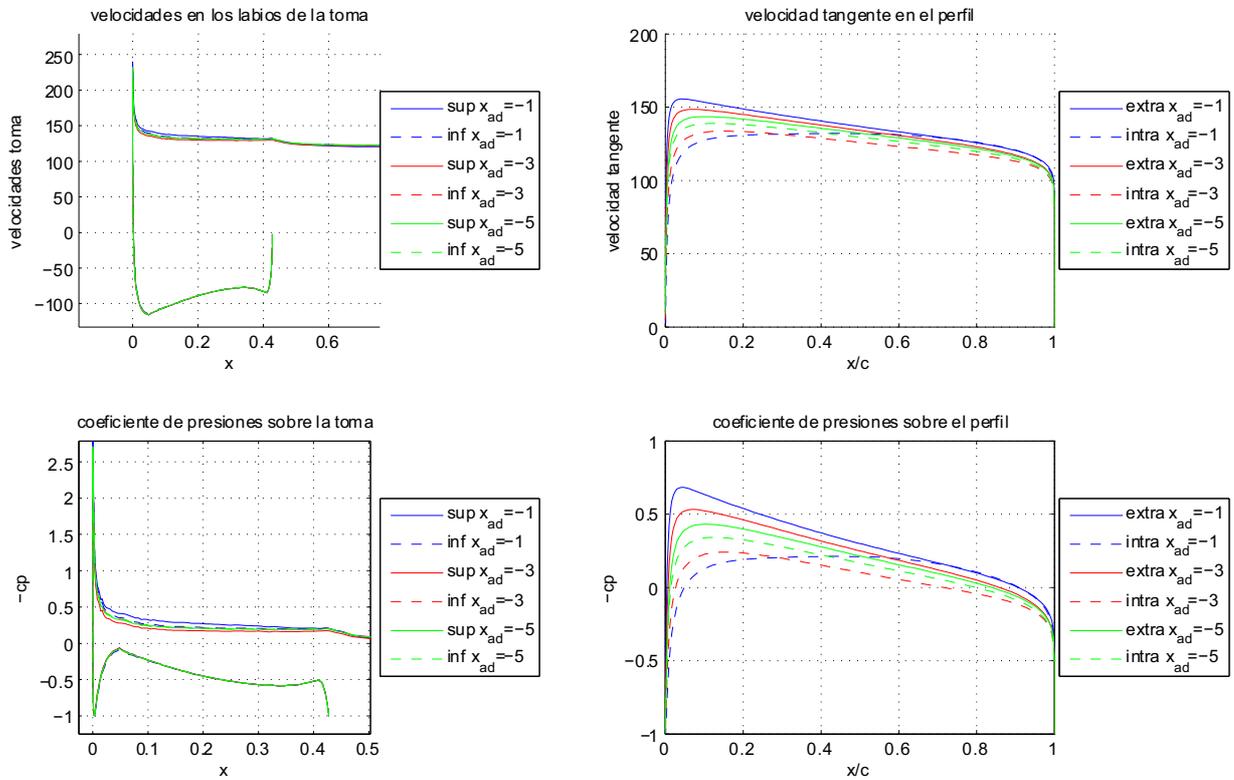


Figura 41: Solución para distintas posiciones horizontales del perfil

En la Figura 41 se observa como a medida que el perfil se aleja aguas arriba de la toma del motor, las presiones

en el extradós e intradós del perfil se van juntando, propio del comportamiento de un perfil simétrico a ángulo de ataque nulo. También se observa como en el caso anterior la posición del perfil apenas influye en la solución de los labios, sin embargo si influye en el motor.

En el Cuadro 11 se muestra la variación de la sustentación del perfil con la posición horizontal de éste.

	Posición horizontal del perfil				
	$\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -1$	$\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -2$	$\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -3$	$\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -4$	$\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -5$
$C_{l_{\text{perfil}}}$	0.1805	0.2514	0.1625	0.086	0.049

Cuadro 11:  $C_{l_{\text{perfil}}}$  para distintas posiciones horizontales del perfil

Es importante ver que la sustentación del perfil decae mucho más rápido al alejarnos horizontalmente que verticalmente, como es lógico debido a que la sustentación depende del ángulo de ataque inducido.

De nuevo puede resultar interesante el caso en el que la posición 'x' del borde de ataque del perfil es cercana al labio, en concreto para el caso  $\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = 0$ . La Figura 42 muestra las presiones en el perfil; en dicha figura se muestra que vuelve a suceder que el intradós del perfil forma un conducto convergente que hace que disminuya la presión en el intradós del perfil, siendo en este caso la sustentación del perfil de 0.0518 mucho menor que para el caso  $\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = -1$ .

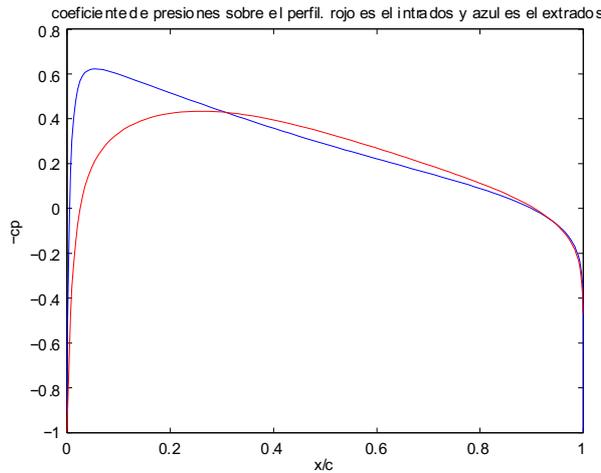


Figura 42:  $c_p$  en el perfil para  $U_{\infty} = 120\text{m/s}$ ,  $u_m = 85\text{m/s}$ ,  $\frac{x_{\text{perfil}}}{L_{\text{labio}}} = 0$

Para finalizar con este apartado se representará en las Figuras 43 y 44 la variación de algunos parámetros de interés de los labios del motor y del perfil con la posición horizontal del perfil. Se puede observar como a medida que  $x_{\text{perfil}} \rightarrow \infty$  las variables de la toma tienden al caso en que no haya perfil y los del perfil tienden al caso en que no existe la toma. Los Cuadros muestran de nuevo parámetros como el coeficiente de resistencia viscosa (modelo

laminar), el coeficiente de resistencia de presión del perfil, el  $C_l$  del perfil, el punto de remanso de la toma y el empuje de la toma. De nuevo los Cuadros anteriores muestran como la variación de las magnitudes de la toma apenas varían con la posición horizontal del perfil en comparación con la variación de las magnitudes asociadas al perfil, demostrando que la toma difusiva está diseñada para una amplia variedad de situaciones horizontales del perfil. De nuevo la evolución de los parámetros es la lógica, por ejemplo el coeficiente de resistencia de presión del perfil disminuye a medida que el perfil se aleja del motor, debido a que la capa límite se desprenderá más cada vez más tarde.

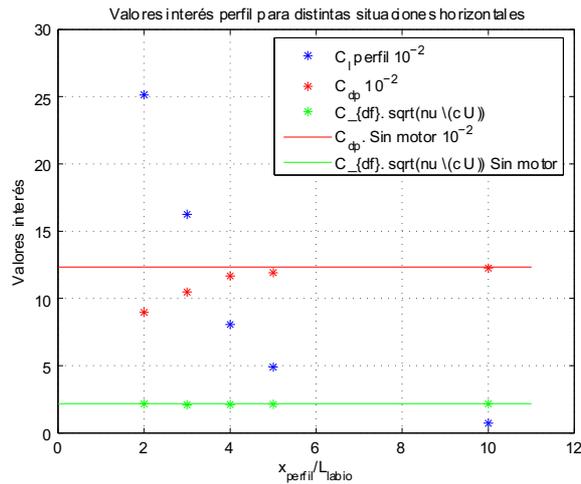


Figura 43: Parámetros globales de interés del perfil vs posición horizontal del perfil

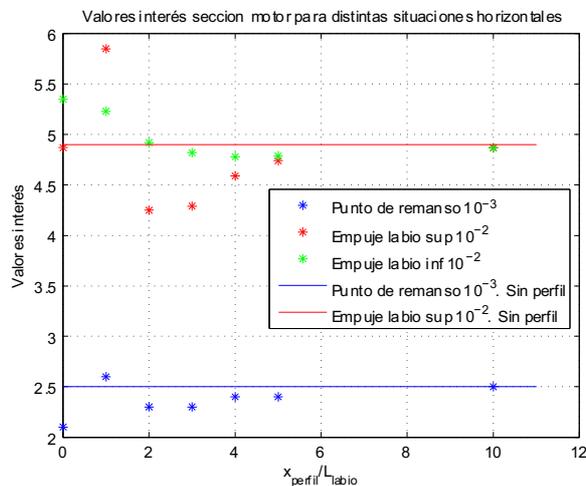


Figura 44: Parámetros globales de interés de la toma vs posición horizontal del perfil

En los Cuadros 43 y 44 se puede realizar un estudio junto a los Cuadros 39 y 40 para colocar el perfil en el lugar

más conveniente, dependiendo si lo que interesa es aumentar el empuje total debido al empuje de la toma o de si se quiere que el perfil sustente más gracias a la ayuda del motor o de si se quiere minimizar la resistencia del perfil.

## 6.6. Comparación de resultados con modelos CFD

Para comprobar la validez del modelo se volvió a resolver el problema con el software *Fluent*. Recordar que la principal diferencia del CFD será la inclusión de la viscosidad en el análisis, de manera que la resolución obtenida por este método será mucho más completa, sobre todo en cuestión de resistencia y desprendimiento que la obtenida por el método de paneles.

Tal como se hizo en el problema bidimensional sin perfil el modelo de viscosidad usado fue *Spalart-Allmaras*. El problema se volvió a resolver para dos casos:

1. Incompresible
2. Compresible

Es importante señalar que las distribuciones de presiones obtenidas mediante *CFD* a lo largo de los obstáculos tendrán validez excepto en los picos de succión, donde el tamaño de las discretizaciones requerido es muy pequeño y por falta de tiempo y de un profundo conocimiento de la herramienta *Fluent* no se ha podido discretizar con elementos apropiados los bordes de ataque de los labios y del perfil.

El problema se resolvió para velocidad aguas arriba de  $120m/s$ , una altura de  $10000m$  y para los gastos de entrada en el motor mostrados en el Cuadro 12

Gasto $kg/(sm^2)$	26.74	30.56	30.38
-------------------	-------	-------	-------

Cuadro 12: Valores de gastos para los que simuló el problema

Una vez presentado muy por encima los problemas resuelto por CFD (en secciones posteriores se explicarán con más detalle) se procede a la comparación de éstos modelos con las soluciones obtenidas a través del método de paneles.

En las Figuras 45, 46, 47, 48, 49 y 50 se muestra el valor de los distintos  $c_p$  obtenido por cada uno de los métodos.

En dichas Figuras se observa como para una velocidad de vuelo de  $120m/s$  se ha obtenido unos resultados muy semejantes tanto en modelos compresibles e incompresibles. Además se ajusta mejor el  $c_p$  del perfil que el del labio, esto se debe a que el labio es más estrecho y los gradientes de presiones son mayores de manera que la malla grosera usada en el CFD aproxima mejor la distribución del perfil que la del labio. Por otra parte el método de paneles simulado en este proyecto obtiene resultados muy parejos con los obtenidos mediante Mecánica de Fluidos Computacional. Como es lógico los coeficientes de sustentación para los perfiles son muy parecidos, ya que se ha visto anteriormente que las distribuciones de presiones son similares.

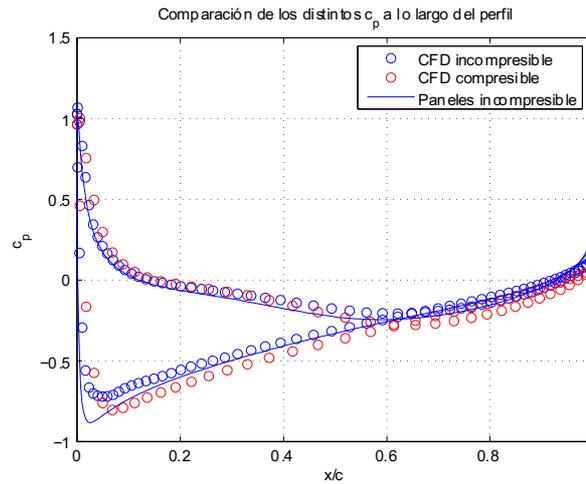


Figura 45: Coeficientes de presiones sobre el perfil para  $G = 26,74 \text{ kg}/(\text{sm}^2)$

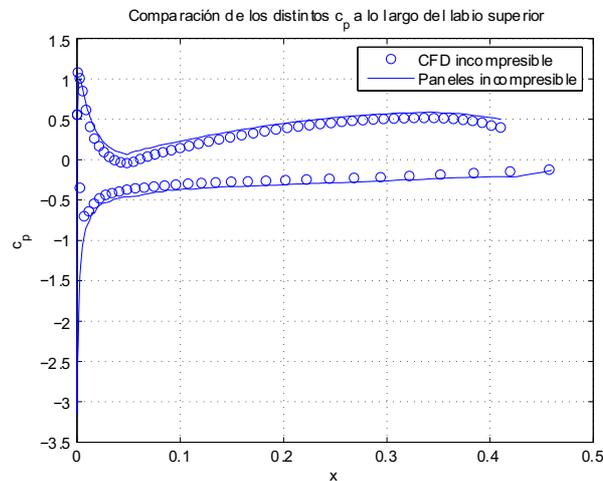


Figura 46: Coeficientes de presiones sobre el labio para  $G = 26,74 \text{ kg}/(\text{sm}^2)$

De nuevo el modelo compresible representa peor el pico de succión debido a que para conseguir la convergencia se ha tenido que usar un malla grosera en comparación con la malla usada en el modelo incompresible. De todos modos en éste último no se representa de manera adecuada tampoco el pico de succión, ya que para poder hacerlo deberíamos hacer la discretización mucho más pequeña en las inmediaciones del borde de ataque de los labios del motor.

La no buena representación del pico de succión hace que el empuje debido a la presión en los labios no sea el mismo para el modelo *CFD* que para el método de paneles. En los Cuadros 13 y en 14 muestran las discrepancias entre ambos métodos en el valor del empuje para el labio superior y para el inferior:

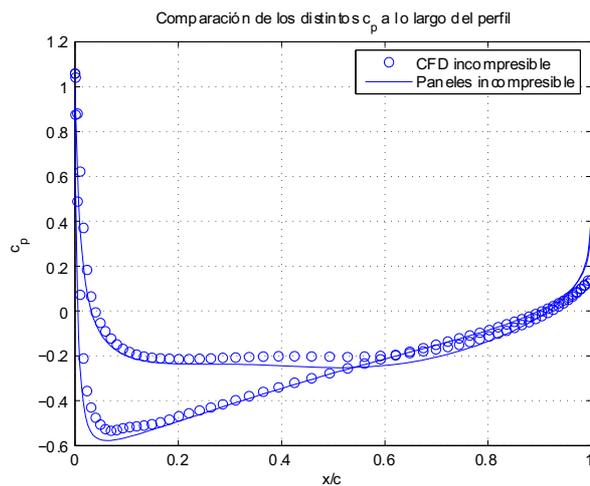


Figura 47: Coeficientes de presiones sobre el perfil para  $G = 32,47 \text{kg}/(\text{sm}^2)$

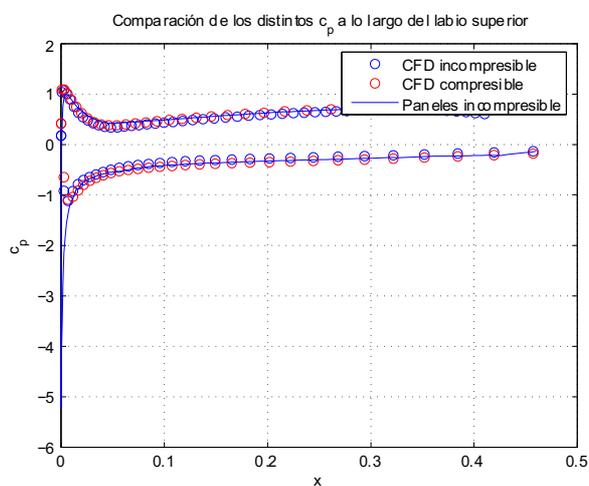


Figura 48: Coeficientes de presiones sobre el labio para  $G = 38,2 \text{kg}/(\text{sm}^2)$

	Empuje labio superior. Paneles			Empuje presión labio superior CFD		
	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,8333$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,8333$
Extradós	0.0582	0.0434	0.0306	0.039	0.027	0.015
Intradós	0.0343	0.0151	0.0012	0.012	0	-0.009
Total	0.0925	0.0585	0.0318	0.051	0.027	0.005

Cuadro 13: Comparación empujes entre distintos métodos. Tabla 1

Observar que al no estar bien representado el pico de succión para los resultados CFD, el valor del empuje es menor. Recordar que la longitud de adimensionalización es la cuerda del labio y no un espesor de éste, a pesar de ser empuje de presión.

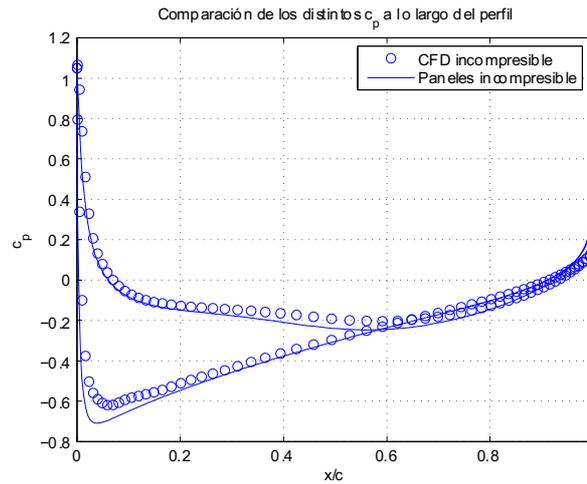


Figura 49: Coeficientes de presiones sobre el labio para  $G = 32,47\text{kg}/(\text{sm}^2)$

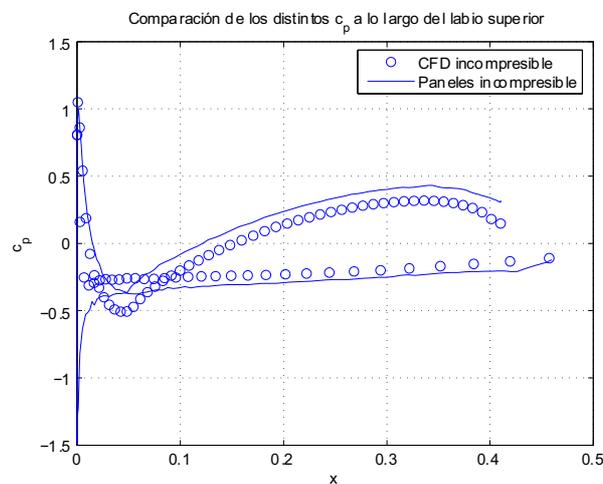


Figura 50: Coeficientes de presiones sobre el labio para  $G = 38,2\text{kg}/(\text{sm}^2)$

	Empuje labio inferior. Paneles			Empuje presión labio inferior CFD		
	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,8333$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,5833$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,7033$	$\frac{U_m}{U_\infty} = 0,8333$
Extradós	0.0612	0.0374	0.0176	0.0535	0.03	0.0086
Intradós	0.0389	0.0149	0.0014	0.013	0	-0.009
Total	0.1001	0.0523	0.019	0.066	0.029	-0.0005

Cuadro 14: Comparación empujes entre distintos métodos. Tabla 2

Resulta interesante comparar los coeficiente de resistencia de presión de los perfiles obtenidos mediante *CFD* y los obtenidos a partir de la combinación del método de líneas y del método de paneles. La Figura 51 muestra la comparación del coeficiente de resistencia debido a la presión.

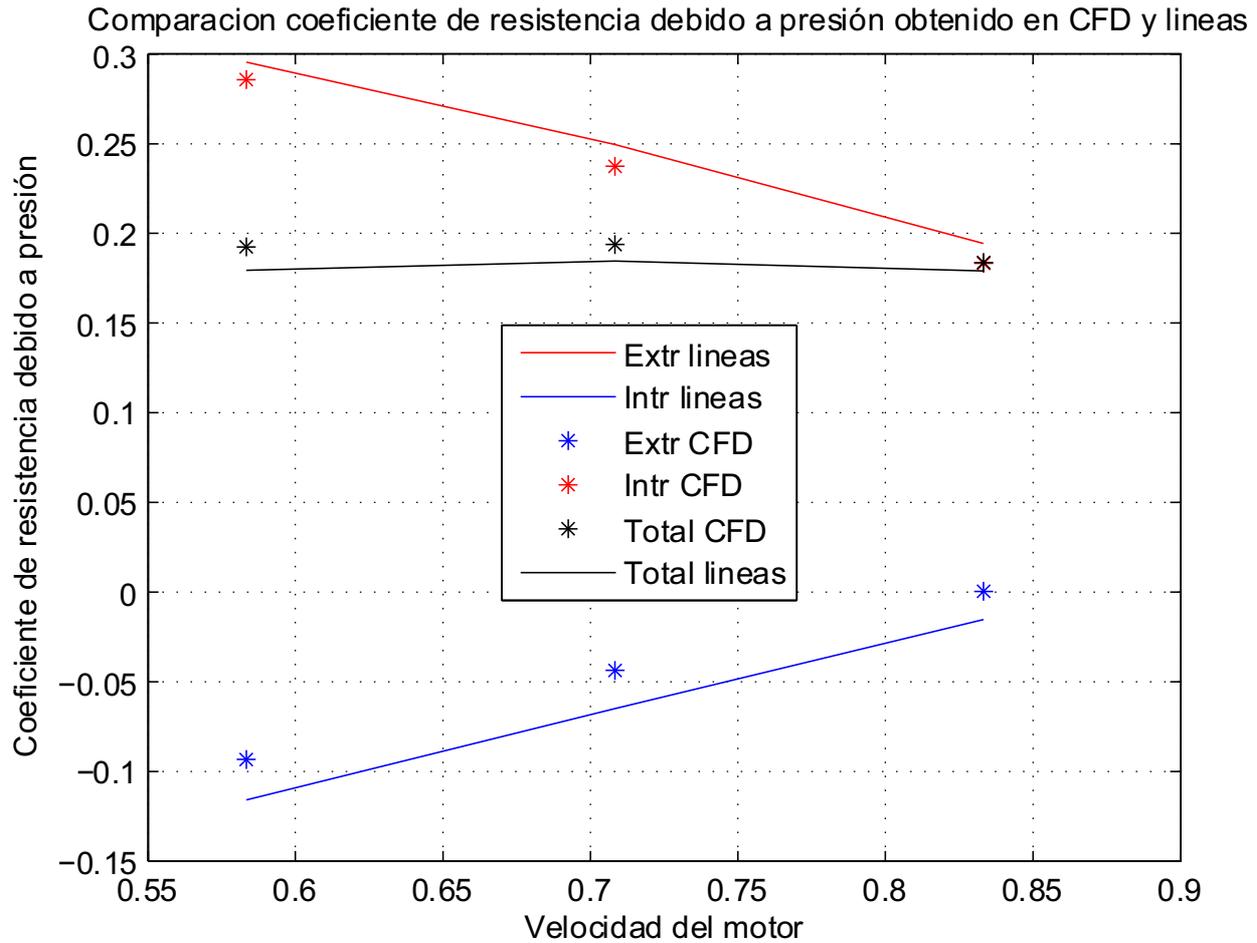


Figura 51: Comparación coeficientes de resistencia debido a presión para distintos gastos absorbidos

Se observa que los resultados para el caso del coeficiente de presiones de nuevo vuelven a ser muy parecidos en ambos métodos, tal y como ocurría con la distribución de presiones.

Finalmente se comparará el coeficiente de resistencia del perfil debido a la fricción. Los resultados de *Fluent* se calcularon con el modelo de viscosidad de *Spalart-Allmaras*, de forma que al ser turbulento producirá coeficientes de fricción mucho mayores que el coeficiente obtenido por el método de líneas. Para poder cotejar los  $C_{df}$  obtenidos por el método de líneas laminar, se simuló con *Fluent* pero en régimen laminar. El Cuadro 15 muestra las comparaciones de  $C_{df}$  para CFD laminar y por el método de líneas.

Las discrepancias en  $C_{df}$  del perfil que muestra el Cuadro 15 se deben a los puntos de desprendimiento obtenidos para el modelo laminar de CFD son distintos de los puntos de desprendimiento obtenidos para el método de líneas.

	Extradós		Intradós	
	$C_{d_f} \text{lineas}$ $\left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_\infty}} \right]$	$C_{d_f} \text{CFD}$ $\left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_\infty}} \right]$	$C_{d_f} \text{lineas}$ $\left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_\infty}} \right]$	$C_{d_f} \text{CFD}$ $\left[ \sqrt{\frac{\nu}{cu_\infty}} \right]$
$U_m = 70m/s$	0.875	0.64	1.523	0.794
$U_m = 85m/s$	0.946	0.678	1.47	0.79
$U_m = 100m/s$	1.009	0.704	1.348	0.776

Cuadro 15: Comparación  $C_{d_f}$  del perfil para ambos métodos