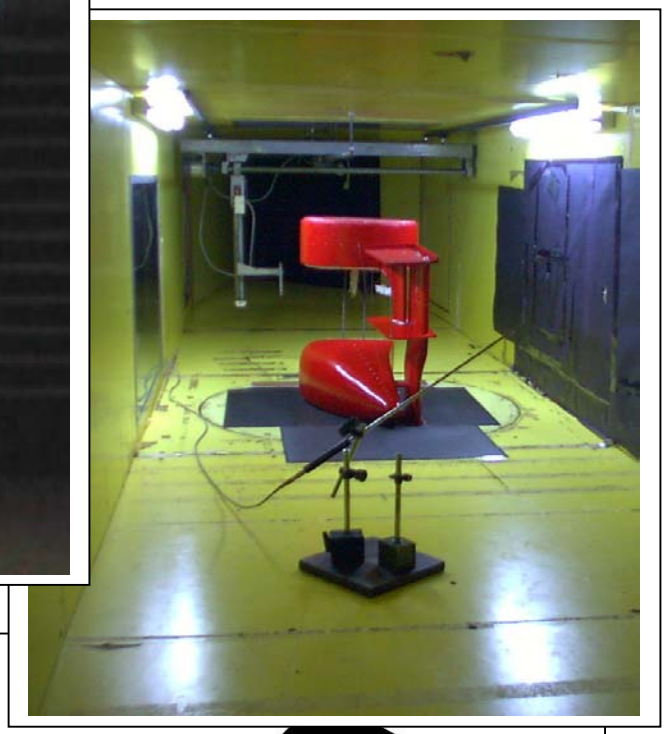
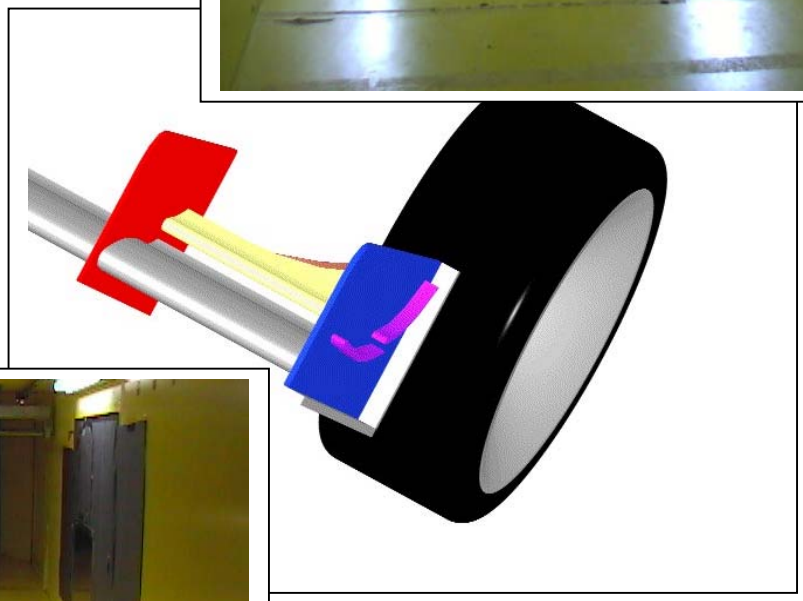
ANÁLISIS AERODINÁMICO



DALLARA F 398



Ing. Aeronáutico
Sebastián Rodriguez

Introducción general

El modelo a estudiar será un Dallara F 398, vehículo que incursiona en la Fórmula 3 Sudamericana y varias categorías del mundo.
Este proyecto tuvo como fin optimizar la eficiencia del modelo (Downforce/Drag), sin que varie demasiado la configuración del flujo que afecta al resto del vehículo. El resumen del desarrollo del proyecto se detalla en los siguientes capítulos.

Capítulo I

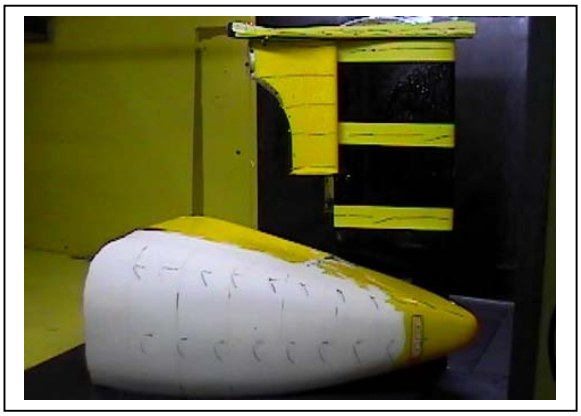
Ensayo de la trompa a escala real en atmósfera estándar con catavientos.

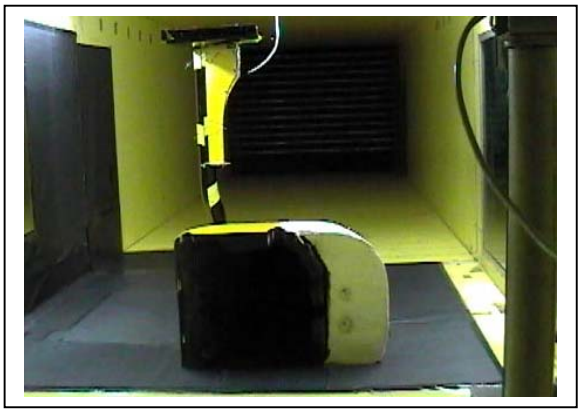
Para lograr el primer objetivo se monto la trompa con los catavientos en un vehículo y se ensayo a una velocidad de 54Km/h, (ya que en el túnel de vientos se trabajaría siempre con velocidades similares a ésta, para asegurarnos que los resultados tengan validez), siendo todo filmado para poder observar el comportamiento del flujo sobre la trompa. Este ensayo se realizó a una altura del piso de aproximadamente 50cm, con lo que se descarta un efecto muy importante que se manifiesta en condiciones reales como es el llamado efecto suelo. Se determinó ensayar a esa altura del piso (50 cm) para que las comparaciones luego con el túnel de vientos tengan validez, ya que se hacía técnicamente imposible ensayar con un despeje tan escaso del piso en la carretera y también tenemos que tener en cuenta que el piso del túnel de vientos es fijo, por lo tanto el comportamiento del fluido en las cercanías de éste , no es exactamente igual a la realidad.

Capítulo II

Visualización en el túnel de vientos del flujo en las cercanías del modelo a escala real mediante catavientos y la inyección de humo .

En esta etapa se ensayó la trompa escala real en el túnel de vientos con catavientos y también inyectando humo. Debido a las dimensiones de la zona de pruebas del túnel, hubo que introducir la mitad de la trompa dentro del túnel, en forma vertical y de esa forma asumimos que el flujo fuese simétrico sobre ella. Esto se aprecia en las siguientes imágenes donde se observa una vista lateral del modelo con el detalle de los catavientos y una vista trasera del modelo dentro del túnel de vientos :



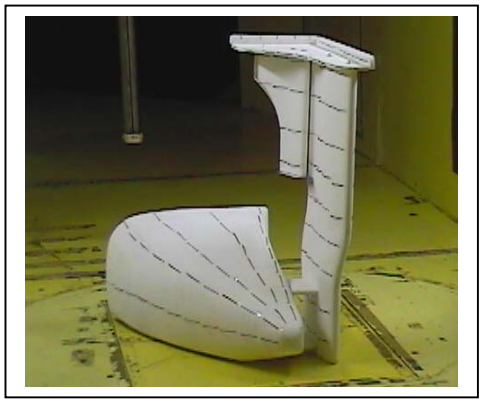


La zona más importante para nuestro estudio es la de punta de ala y flap, donde verificamos en forma visual que los catavientos se comportaban en forma similar que en la realidad. También se pudo observar el comportamiento del flujo mediante la inyección de humo, donde se notaba con claridad el vórtice que se forma en punta de ala, debido a que el flujo se dirige de una zona de mayor presión (intrados) a una zona de menor presión (extrados). Este efecto genera un aumento de Drag llamado "resistencia inducida".

Capítulo III

Fabricación de una maqueta a escala 3:4 y verificación en el túnel de vientos que el comportamiento de los catavientos sea similar al observado en los dos ensayos anteriores.

Para este ensayo se fabrico el modelo a escala 3:4 de la trompa original, completamente en polifan. El modelo en el momento del ensayo se puede apreciar en la siguiente secuencia de fotos:



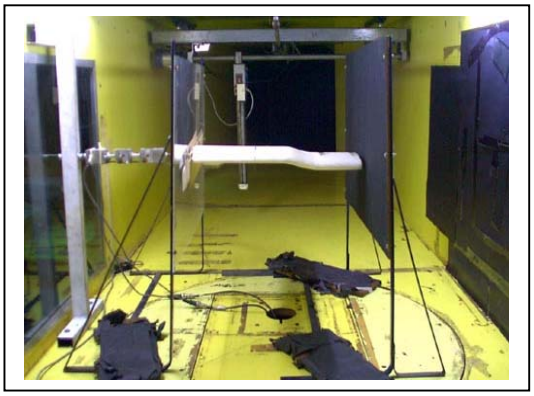
Aquí se pudo comprobar que el comportamiento de los catavientos en este modelo fue muy similar al de los catavientos utilizados en el modelo real en los ensayos anteriores.

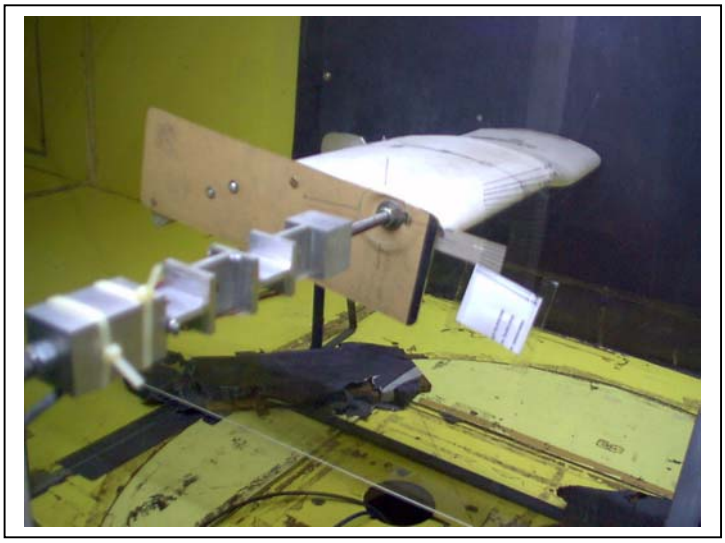
Capítulo IV

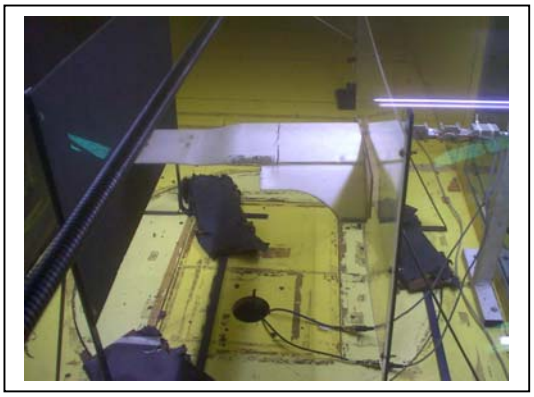
Obtención de la curva Cl-α y Cl–Cd del ala para tratar de identificar el perfil aerodinámico.

En el siguiente ensayo se obtuvieron los datos del perfil en el túnel de vientos por medio de la balanza aerodinámica, como ser la curva Cl-α y Cl-Cd. El propósito de este

ensayo era conocer que características principales tiene el perfil que compone el ala, ya que es difícil su individualización. Por lo tanto se montó el ala en el túnel con dos paneles en sus extremos, como se puede apreciar en las figuras a continuación, para obligar al flujo que sea lo más bidimensional posible y de esta forma obtener el Downforce y el Drag del ala por medio de la balanza aerodinámica que se aprecia en el primer plano de la derecha.







Luego, con el ala en su posición original (α:6grados), montamos el flap con un ángulo de ataque fijo (α_{flap}*:26 grados*) , y lo ensayamos en las mismas condiciones que habíamos hecho con el ala sola para determinar el ΔCl y ΔCd que este introduce en el sistema. Esto se aprecia en la figura contigua.

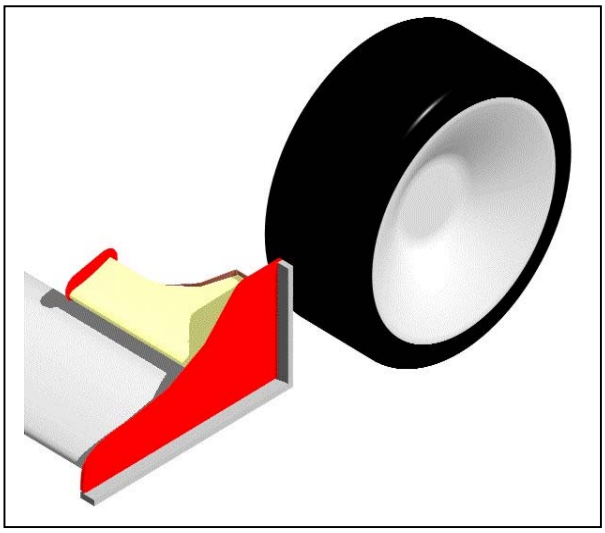
Capítulo V

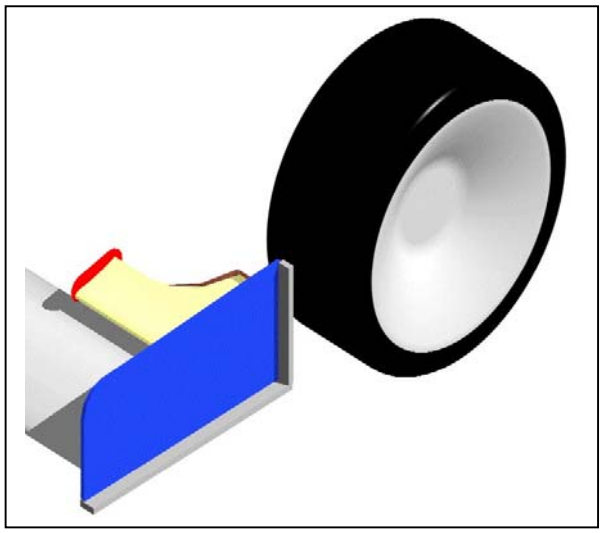
Colocar tomas de presión en el modelo escala 3:4 y ensayar en el túnel de vientos obteniendo el campo de presiones sobre éste. Analizar los resultados y diseñar futuras reformas.

El siguiente paso fue colocarle al modelo tomas de presión internas en puntos que se determinaron como los mayor importancia. También se implemento el neumático como se aprecia en la figura para un estudio mas completo del comportamiento del fluido:

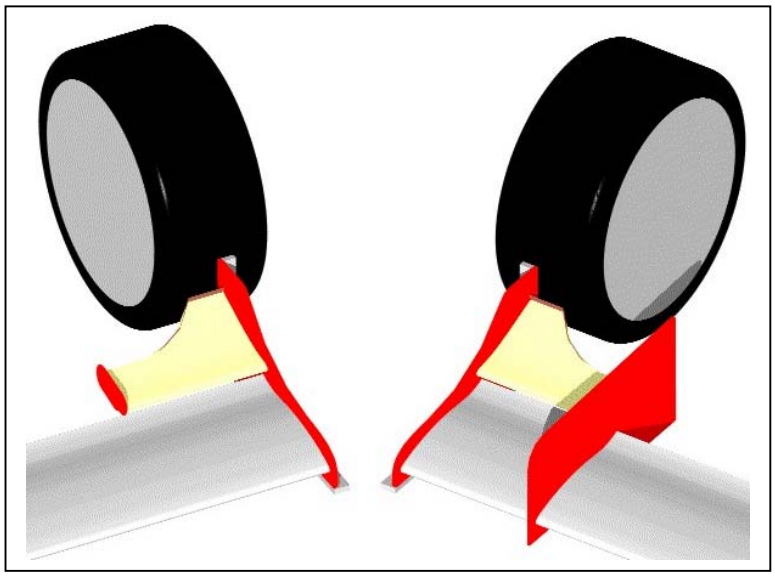
Asi se obtuvo el campo de presiones sobre el modelo que permitió implementar algunas modificaciones a éste para tratar de mejorar su eficiencia. De esta manera se diseñó una placa lateral de punta de ala de mayores dimensiones que la original, una placa intermedia, similar a la de punta de ala, pero en el extremo interior del flap y dos canalizadores colocados en la placa lateral de punta de ala.

El detalle de la placa lateral modificada se aprecia en las siguientes imágenes:

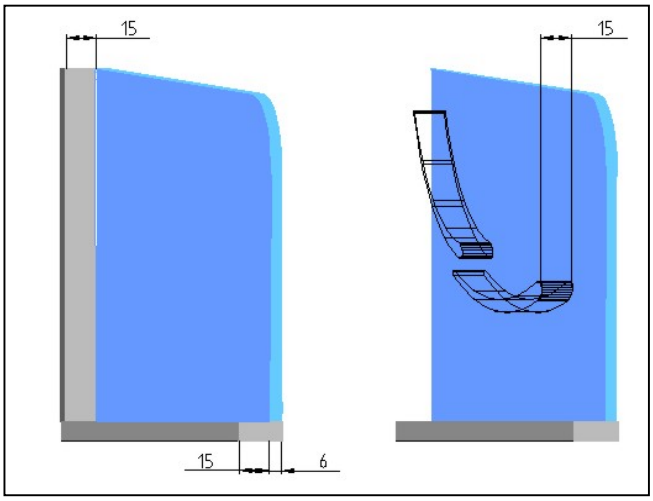


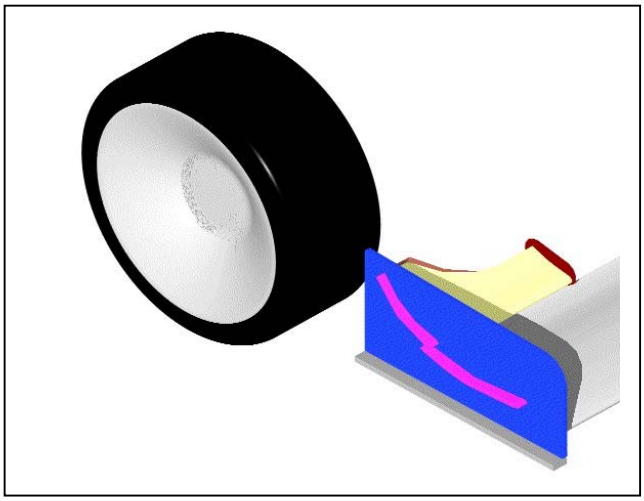


El detalle de la placa lateral intermedia se aprecia en la siguiente imagen:



En las siguientes imágenes se aprecian en detalle los canalizadores:



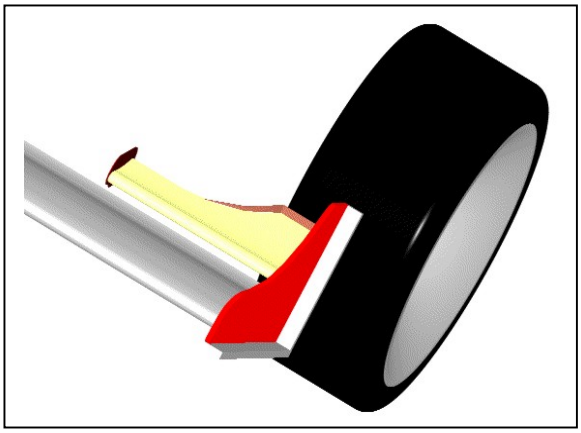


Capítulo VI

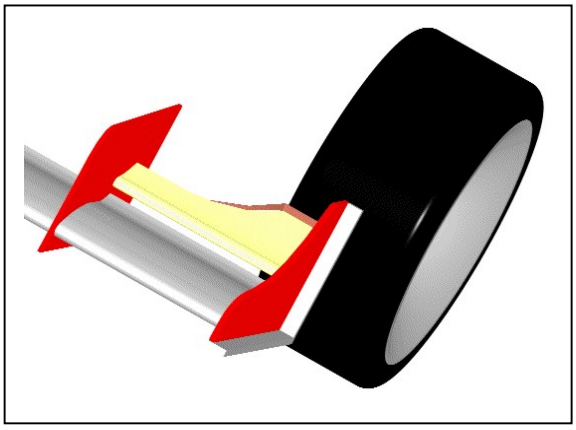
Fabricación de los elementos diseñados en el capítulo anterior del proyecto para comparar su rendimiento con la configuración original, mediante otro ensayo en el túnel de vientos con la balanza aerodinámica y con tomas de presión.

El siguiente paso fue ensayar las modificaciones antes nombradas en el túnel de vientos con el modelo a escala. Así se obtuvieron los datos paralelos de Cl- Cd con la balanza aerodinámica y de la configuración del campo de presiones por medio de las tomas de presión. Esto nos permitió corroborar si las modificaciones implementadas producían el efecto deseado en las partes del modelo requeridas. A continuación graficamos las distintas configuraciones ensayadas en este capítulo para mayor comprensión:

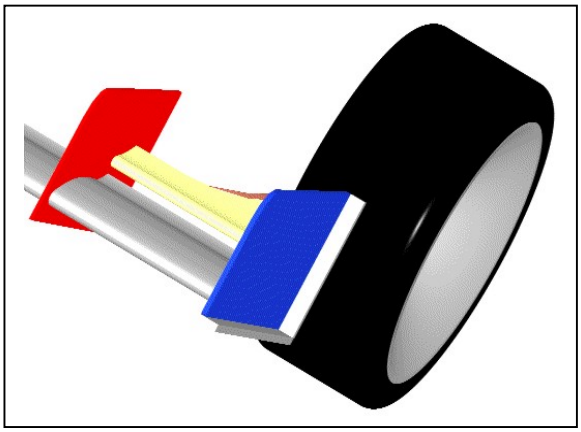
Configuración Nro *1*: Original



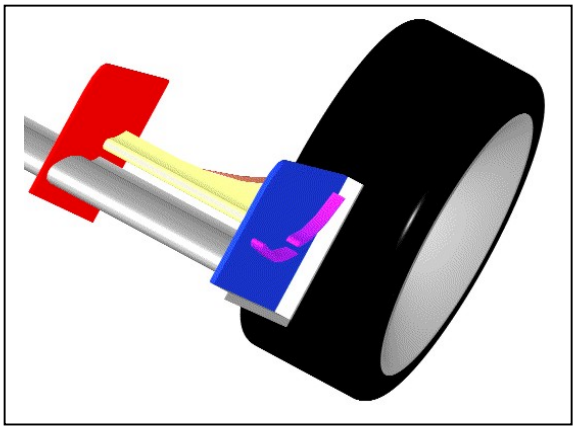
Configuración Nro *2* : Original con placa intermedia



Configuración Nro *3*: Placa lateral modificada con placa intermedia



Configuración Nro *4*: Placa lateral modificada con placa intermedia y canalizadores



Las conclusiones que se pueden sacar de estos ensayos luego de analizar los datos obtenidos por la balanza y las tomas de presión, siempre comparando con la configuración original son:

Configuración Nro 2:

Balanza aerodinámica: el Downforce aumentó un 6% y el drag bajó un 8%.

Diagramas de presiones: aumento el Downforce un 10% en el ala y en el flap; en el neumático no se apreciaron mayores cambios.

La mejora en la eficiencia del modelo se debe a que la placa ubicada en el extremo del flap obliga al flujo a hacerse bidimensional y a pasar en mayor volumen por éste, reduciendo así la resistencia inducida en el extremo interior del flap.

Configuracion Nro 3:

Balanza aerodinámica: el Downforce permaneció igual y el drag bajo un 11%.

Diagramas de presiones: aumentó el Downforce un 15% aproximadamente en el ala y en el flap, en el neumático el Downforce disminuyo un 6% y el Drag un 16% .

Por lo tanto se puede analizar que el Downforce según la balanza disminuyo debido a que la placa lateral obliga al flujo a pasar por sobre el neumático, generándose de esta manera una fuerza en sentido contrario a éste. Por lo tanto podemos decir que si el neumático estuviese apoyado en el piso y girando, los efectos negativos allí se reducirían, aumentando de esta forman el Downforce del modelo y también su eficiencia.

Configuracion Nro 4:

Balanza aerodinámica: la sustentación aumento un 4% y el drag disminuyo un 19% .

Diagramas de presiones: aumentó el Downforce un 15% aproximadamente en el ala y en el flap, en el neumático el Downforce disminuyo un 22% y el Drag aumentó un 15% .

Estos datos llaman poderosamente la atención, ya que la balanza nos indica una mejora en Cl y Cd del sistema y de los diagramas de presión observamos solamente un aumento de sustentación (decremento de Downforce) y Drag en el neumático. Todo esto nos estaría indicando que los canalizadores aumentan la eficiencia sólo por su forma aerodinámica. Entonces, si ubicamos mejor estos elementos en la placa lateral, disminuyendo la resistencia por presiones en el neumático y si los efectos en el neumático en condiciones reales se minimizan, entonces la mejora en la eficiencia del modelo puede ser mayor aún.

Capítulo VII

Ensayo de el ala solamente en el túnel de vientos con tomas de presión tratando de obtener una configuración de presiones bidimensional para ser comparado con un programa de elementos finitos (ANSYS).

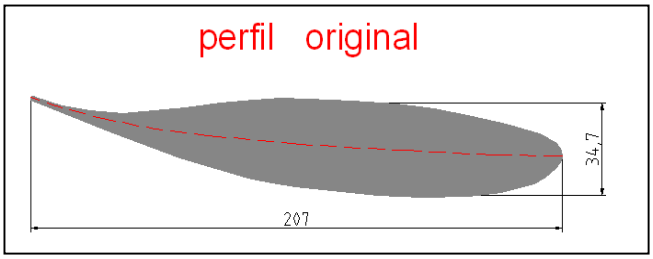
El siguiente paso fue ensayar el ala, con el ángulo de ataque original, tratando que el flujo sobre ella fuese lo más bidimensional y constante posible a lo largo de toda la envergadura y así obtener los datos de las tomas de presión para poder comparar con el ANSYS, ya que este programa trabaja con flujo bidimensional e incompresible. Para eso se monto el ala entre dos placas planas como se observa en la figura.

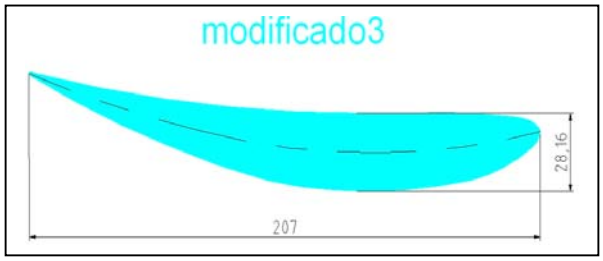
Los resultados indicaron que las configuraciones de presión en el perfil obtenidas por ambos métodos son similares en forma y valores, por lo que se puede concluir que los valores obtenidos del ANSYS son un muy buen parámetro para comparar con otro tipo de perfiles y así poder encontrar mas fácilmente uno que tenga una mejor eficiencia que el original.

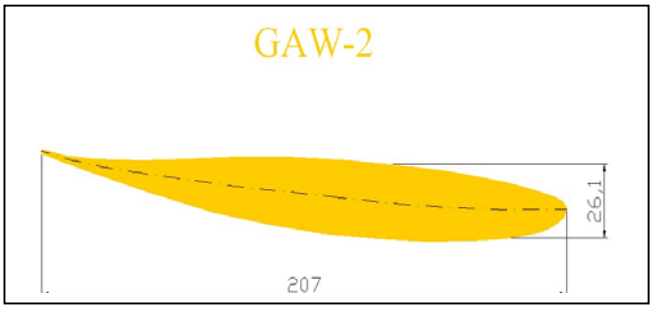
Capítulo VIII

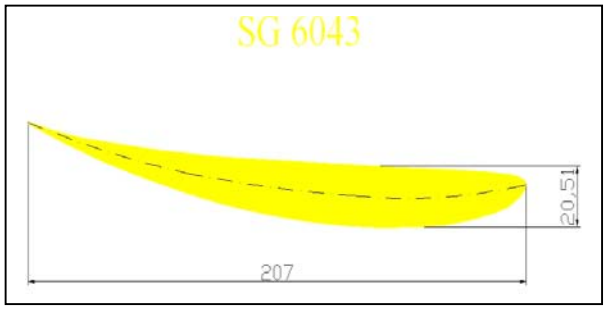
Fabricación de tres modelos diferentes de ala par ser comparados en el túnel de vientos con el ala original, tratando de mejorar la eficiencia de ésta.

En el siguiente paso, teniendo en cuenta que el diagrama de presiones obtenido del ANSYS para nuestro perfil es confiable, vamos a modificar la forma del perfil original, para mejorar el rendimiento de éste en alguna parte en particular y así poder mejorar su eficiencia. También, como ya se dijo vamos a comparar distintos tipos de perfiles buscando mejorar la eficiencia del original. Luego de varios ensayos y modificaciones, se obtuvieron tres perfiles para tratar de mejorar la eficiencia del original: uno producto de modificar el original, al que llamamos "modificado 3"; otro perfil que tiene como principal característica conservar el flujo laminar por mas tiempo, llamado GAW-2 y el tercero es un perfil de bajo Reynolds de la línea de los perfiles Selig, denominado SG 6043. A continuación se observan las imágenes de estos perfiles, comparados con el original:







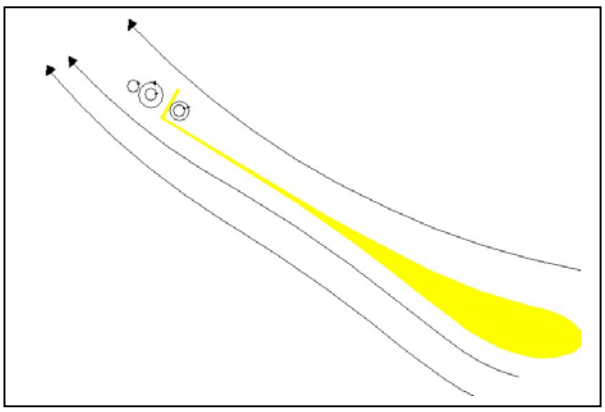


Una vez definidos y terminada la construcción de los distintos modelos de alas se procedió al ensayo comparativo en el túnel de vientos para comprobar si todos los estudios y predicciones hechos hasta aquí se plasmaban en la realidad.

Capítulo IX

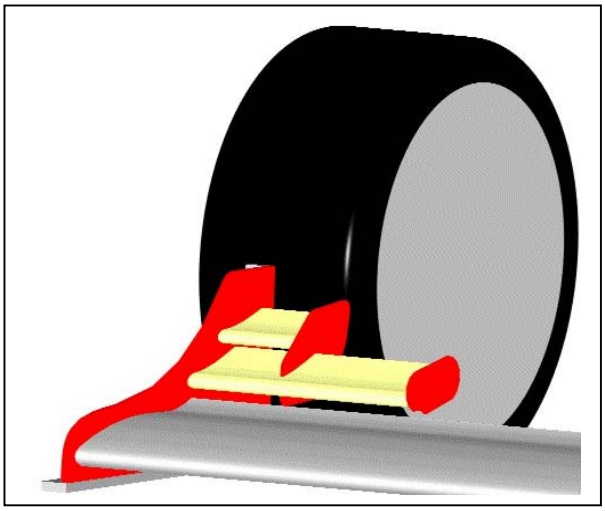
Fabricación con un concepto diferente de otro flap, para ser comparado en el túnel de vientos con el original.

En esta parte del proyecto apuntamos a mejorar la eficiencia del flap. Especialmente nos concentramos en poder reemplazar el Gurney Flap que esta ubicado en el borde de fuga del flap original (como se aprecia en la figura), ya que, según nuestros conocimientos, éste introduce demasiada resistencia al avance en el sistema.



Este dispositivo simula aumentar la curvatura del perfil, su propósito es generar una recirculación de flujo(pequeños remolinos), que se traduce en una depresión detrás de él, ésta depresión succiona el fluido y hace que se mantenga más tiempo adherido en el extrados y así se logra mayor sustentación a igual ángulo de ataque.

Ahora si, vamos a introducirnos en el diseño del nuevo flap. Este, según nuestros conocimientos decidimos que sea de tipo doble flap fowler, utilizando el mismo perfil que el flap original, variando el segundo fowler en tres angulos:10º,14º y 18º, como se puede apreciar en la siguiente imagen:



La característica fundamental del funcionamiento de este tipo de flaps, es que el flujo de alta presión en el intrados del ala energiza la parte del extrados del primer flap. Lo mismo ocurre con el segundo flap, donde el flujo de alta presión en el intrados del primer flap, energiza la zona del extrados del ultimo flap.

De esta forma lo que se trata con esta configuración es que el flujo, al tener mas energía cinética, se mantenga mas tiempo adherido al flap y no se produzcan desprendimientos a altos ángulos de ataque. Este inconveniente se produce en la configuración original, como lo hemos podido apreciar en el ensayo del túnel con los catavientos, ya que, según nuestra opinión, la cuerda del flap original es demasiado grande y el flujo a altos ángulos de ataque se desprende llegando al borde de fuga, produciendo un incremento de Drag.

Capítulo X

Comparación en el túnel de vientos de el ala original con los tres diseños diferentes y también de el flap original con el otro concepto de flap diseñado en el capitulo anterior montados en el ala original.

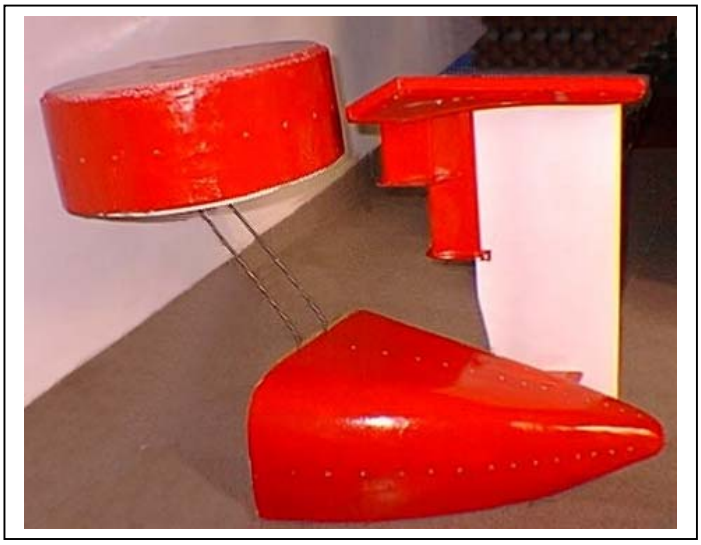
La siguiente, y última etapa del proyecto consistió en comparar las distintas modificaciones producidas en los capítulos VIII y IX del proyecto. Así, se procedió a montar los cuatro modelos de alas en el túnel de vientos, con la misma configuración de prueba que en el ensayo del ala original en el capítulo IV, es decir con los paneles tratando que el flujo sea bidimensional. Primeramente se ensayó el ala original con el ángulo de ataque original del modelo real, así se obtuvo el Cl y Cd que se trataba de mejorar. Luego se ensayaron los otros tres modelos diferentes de ala a distintos ángulos de ataque hasta obtener el Cl del ala original, allí se midió el Cd y se comparo con el Cd del ala original, obteniendo así sus eficiencias.

Luego de analizar los datos obtenidos concluimos que el ala con el perfil "modificado 3" tiene una eficiencia muy similar al ala original. El ala construida con el perfil SG 6043 disminuye el Cl en un 2% y el ala que mejor eficiencia tuvo fue la que se construyó con el perfil GAW-2, esta disminuyó el Cd en un 8% aproximadamente y con el mismo Cl que el ala original.

Seguidamente se procedió a ensayar las dos configuraciones de flap que mencionamos antes, la original y la modificada, montándolos en el ala original, para el ángulo de ataque original del modelo real, como se ensayo antes con el flap original en el capítulo IV.

Analizando los resultados se puede concluir que la nueva configuración tiene una eficiencia mayor que la original, ya que en la posición intermedia del segundo flap fowler (14º) se logró el mismo Cl con una mejora en el Cd del 10,8% . Aumentando el ángulo de ataque a 18^0 se logro obtener una mejora en el Cl del 11,16% con un Cd similar al del flap original. Con lo que se demuestra que cualquiera de las dos posibilidades son válidas.

En las siguientes imágenes se aprecia el detalle del flap fowler:



Agradecimientos:

- **A la cátedra de Aerodinámica de la Universidad Nacional de La Plata, en especial al Dr Jorge Colman, Ing. Julio Marañón Di Leo, Ing. Sebastián Delnero y el Ing. Federico Bacchi por su gentileza y predisposición para aportar tanto ideas como el material físico y humano necesario para llevar a cabo esta investigación.**
- **Al señor Saúl Lui y su equipo de competición por brindarme todo el material que fuese posible y recibirme gentilmente en su empresa.**