

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE ENSAYO EN TÚNEL DE VIENTO APLICACIÓN: AUTO DE TC2000

Franco Giuggioloni^a, Carlos Sacco^a, Germán Weht^a, Carlos Paoletti^b, Sebastián Sanchez^b

^a Departamento de Mecánica Aeronáutica-Facultad de Ingeniería- Instituto Universitario Aeronáutico
Av. Fuerza Aérea Km. 6 ½ - Córdoba -República Argentina

^b Departamento Aerodinámica Experimental y Aplicada- Centro de Investigaciones Aplicadas -
Instituto Universitario Aeronáutico
Av. Fuerza Aérea Km. 5 ½ - Córdoba -República Argentina

Email: fgiuggioloni@iua.edu.ar, csacco@iua.edu.ar

RESUMEN

El estudio y la mejora continua del rendimiento de un auto de carrera llevan a la utilización de distintas herramientas que permiten determinar las causas de ciertos comportamientos. En este campo dentro de los más utilizados se encuentran ensayos en pista sobre el auto real, modelos para túnel de viento y modelos computacionales.

El propósito del presente trabajo es comparar los resultados obtenidos de ensayos realizados en el túnel de viento con un modelo escala 1:5 del auto Toyota Corolla de TC2000 junto con el modelo en CFD del mismo auto. Esto permite obtener valores de fuerzas sobre el modelo y visualizaciones cualitativas del flujo de aire sobre el mismo.

Dicho modelo en CFD ha sido utilizado y ajustado de acuerdo a ensayos obtenidos en pista con sistemas de adquisición de datos y sobre el mismo se pueden plantear condiciones similares a las que se presentan en el túnel de viento.

Se realizó un ensayo en túnel de viento y una simulación del mismo ensayo con CFD logrando resultados satisfactorios que permiten llegar a ciertas conclusiones y continuar con el desarrollo de ambas herramientas.

Palabras clave: aerodinámica, autos de competición, balanza, CFD, túnel de viento.

INTRODUCCIÓN

En este informe se presenta el trabajo realizado para la comparación del ensayo en túnel de viento de un modelo a escala 1:5 del Toyota Corolla de TC2000 con un modelo en CFD (computational fluid dynamics) del mismo auto utilizando un programa que resuelve las ecuaciones de Navier Stokes mediante el método de elementos finitos (MEF).

DESARROLLO

A continuación se describe la realización del ensayo en túnel de viento y de la simulación con CFD. Dentro de este último se da una breve explicación del programa de cálculo utilizado y del pre y post proceso. Para comparar los resultados obtenidos en ambos se realizan dos modelos de CFD uno simulando el modelo con la cámara de ensayo del túnel y otro con un entorno lo suficientemente grande que permita comparar con los valores corregidos en el túnel.

Simulación con CFD

Los pasos necesarios a seguir para una simulación de este tipo son, en términos generales; crear el modelo tridimensional, realizar el mallado y asignación de condiciones de contorno, ejecutar el programa de cálculo y por último procesar los resultados. A continuación se describe, en este caso, cómo estos pasos se llevan a cabo y las herramientas utilizadas.

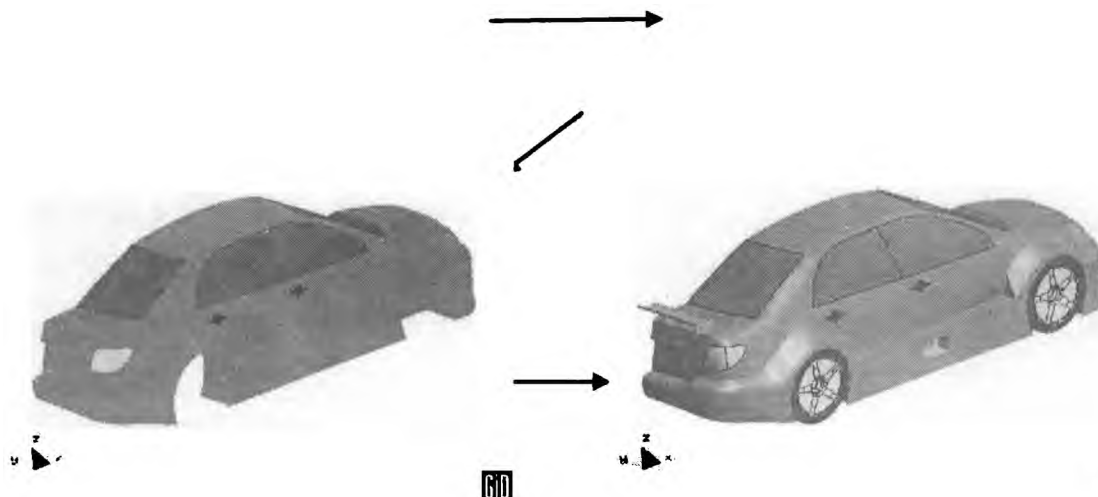
Obtención del modelo

El modelo se creó utilizando una técnica conocida como *Fotogrametría*. Esta técnica se basa en colocar una serie de puntos distribuidos sobre la superficie del auto de manera adecuada como se observa en la Figura 1.



Figura 1: Distribución de puntos sobre la superficie del auto.

Luego de esto se toman fotos digitales del auto desde ciertos puntos de referencia ubicados fuera del auto en distintos ángulos. Luego se realiza un post procesamiento de las imágenes marcando la coincidencia de los puntos en las distintas fotos y generando las conectividades entre puntos cercanos que definen las líneas principales del auto. Una vez generadas las líneas principales en un programa de diseño (CAD) se generan las superficies que forman el modelo tridimensional del auto. Este proceso se muestra en el siguiente esquema (Figura 2):



Programa de Cálculo

Se utiliza el programa NS3DG [1] que soluciona las ecuaciones de Navier-Stokes incompresibles mediante el método de elementos finitos con un esquema de pasos fraccionados.

Este programa resuelve:

Ecuación de continuidad $\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad \text{en } \Omega \times (t_0, t_f)$

Ecuación de momento $\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} - \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \frac{1}{\rho} \nabla p = \mathbf{f} \quad \text{en } \Omega \times (t_0, t_f)$

a lo que se le agrega las condiciones de contorno:

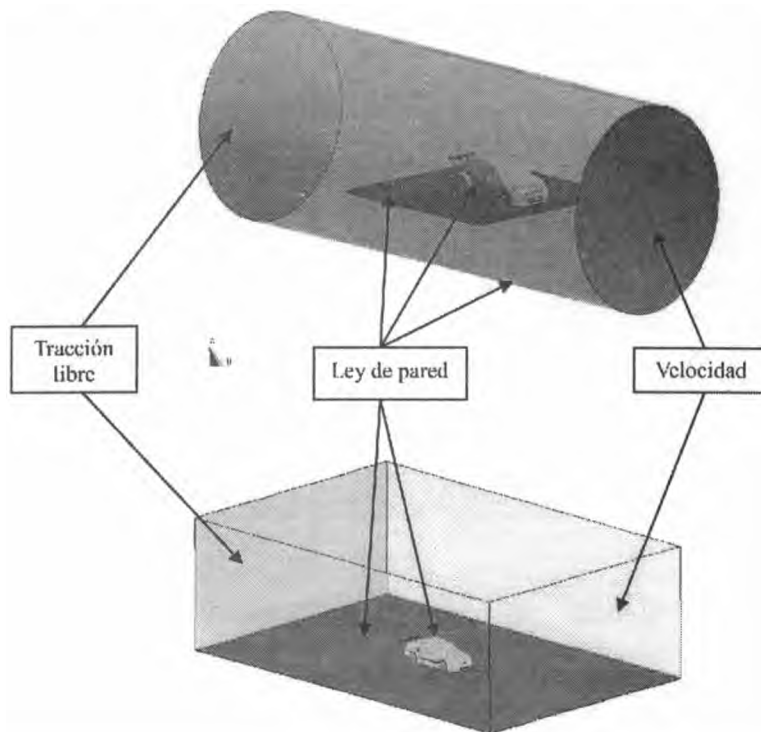
$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} \text{ en } \Gamma_u$$

$$\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n} = \bar{\mathbf{t}} \text{ en } \Gamma_\sigma$$

donde la primera impone la velocidad en parte del contorno y la segunda impone un valor de tracción (presión impuesta) sobre una de las caras del contorno.

El programa utiliza el modelo de turbulencia de Smagorinsky, ley de pared y la estabilización de los términos convectivos e incompresibilidad se realiza mediante una OSS (Ortogonal Subscale Stabilization).

Como se realizan dos modelos distintos, uno incluyendo la cámara del túnel de viento y el otro no, se imponen en cada caso las condiciones de contorno correspondientes que se observan en la siguiente figura:



Pre y Post Proceso

Tanto el pre como el post proceso se utiliza el programa GID 9.0. Una vez obtenido el modelo CAD del auto se procede a llevarlo este programa donde se le crea una geometría alrededor del mismo que representa el entorno que lo circunda (condición con o sin cámara del túnel). Luego se asignan las condiciones de contorno y se procede al mallado de la geometría. En este caso se utilizan tetraedros lineales con lo que se logra una malla no estructurada de 2.280.000 elementos y 570.000 nodos. Luego que se obtiene el mallado final se escribe el archivo de datos necesarios para que el programa de cálculo realice las corridas necesarias. Una vez que ha corrido se crean los archivos leídos por el programa de post proceso (GID) que carga la información y presenta visualizaciones de contornos de velocidad y presión, líneas de corriente, vectores velocidad, etc.

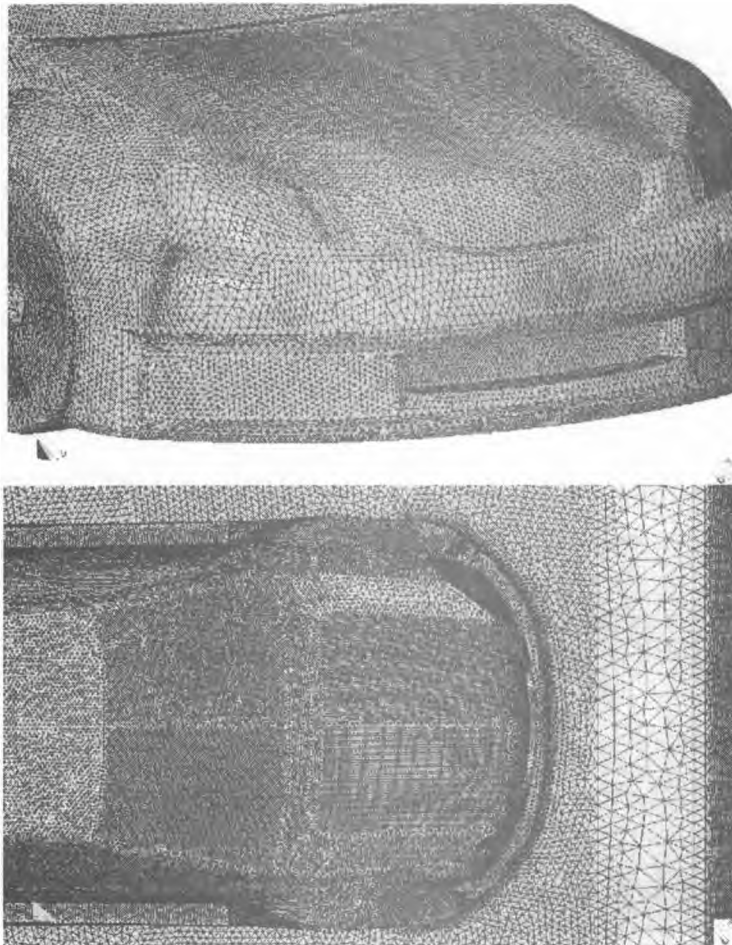


Figura 4: mallado sobre la geometría del auto.

Ensayo en Túnel de Viento

Descripción del túnel

El ensayo se realizó en el Túnel de Viento Piloto del Centro de Investigaciones Aplicadas (perteneciente al Instituto Universitario Aeronáutico). Este es un túnel del tipo NPL (circuito abierto, cámara cerrada), tiene una cámara de ensayos circular de 1,5[m] de diámetro y 3 [m] de largo. Su velocidad máxima de corriente libre es de 50 [m/s], la potencia de la soplante es de 150 [HP] y la velocidad de rotación de 630 [rpm]. En la figura 5 se observa la instalación del túnel de viento.

Descripción del ensayo

El ensayo se realiza colocando una placa que simula el piso por debajo del auto. Esta placa está fija y tiene un borde de ataque elíptico de manera tal de controlar el crecimiento de la capa límite en el borde de ataque de la misma. Esta placa está contenida por una estructura de aluminio la cual aloja también la balanza electrónica que está en contacto con las ruedas del modelo.



Figura 5: Túnel de Viento Piloto. Instituto Universitario Aeronáutico.

Balanza

Como se mencionó la balanza está incorporada a la estructura del piso, de manera tal de poder ensayar distintos modelos de auto sin tener que desmontar la misma. Es una estructura metálica a la que están unidas una celda de carga de tracción-compresión para medir resistencia y dos celdas de carga de flexión para medir sustentación-downforce. Los ejes delantero y trasero del modelo coinciden con el eje donde apoyan la estructura de la balanza a las celdas de carga de flexión con lo que se mide directamente la carga en los ejes. La resistencia se mide mediante el contacto de un carro que soporta al modelo y que tiene el grado de libertad coincidente con el eje longitudinal del túnel.

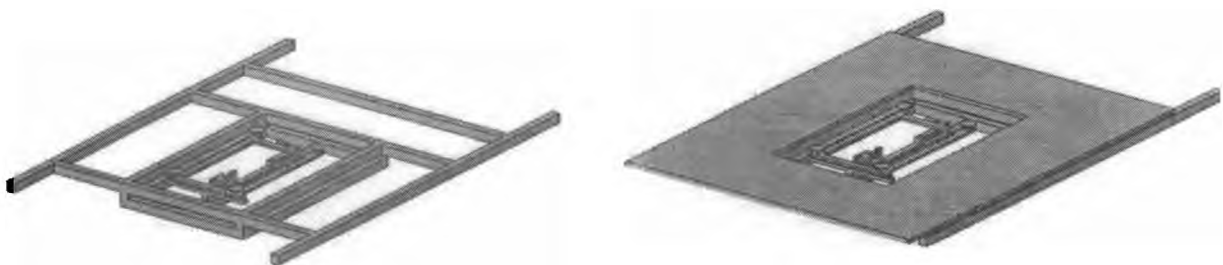


Figura 6: Esquema de montaje de la balanza electrónica.

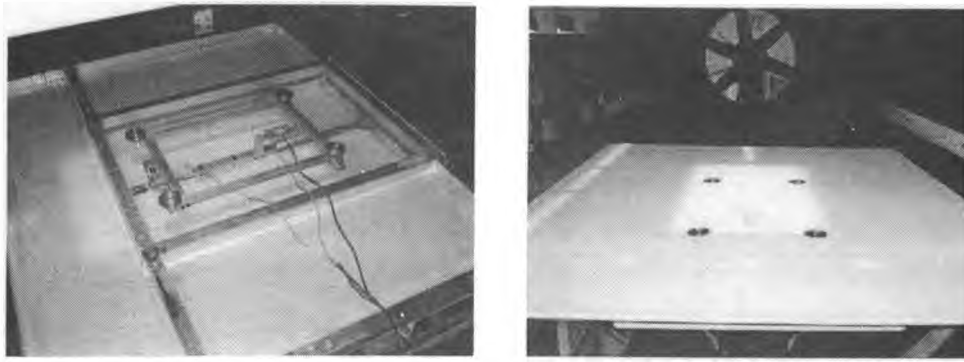


Figura 7: Fotos de la balanza instalada con estructura y piso en la cámara del túnel.

Modelo

El modelo está fabricado a 1/5 de escala y posee una alta similitud geométrica con el auto de carrera incluyendo detalles mínimos del mismo. Para la fabricación de éste se partió de la geometría en CAD que se utiliza para la simulación en CFD y se llevó a una máquina de control numérico computarizado que posee la tecnología CAD/CAM. Con esto se mecanizó un modelo patrón en madera (se observa en color rojo en la Figura 8) y luego a partir de éste se creó una matriz en fibra de vidrio y resina epoxi (pieza hembra). Laminando sobre ésta matriz se obtiene el modelo de la carrocería utilizado luego para el túnel. A este se le agrega las ruedas fundidas en aluminio que tienen la geometría original de las que utiliza habitualmente el auto.



Figura 8: Fabricación del modelo de túnel de viento.

Corrección de las mediciones

Como todo ensayo en túnel de viento lleva asociado correcciones que son propias de la instalación y algunas que corresponden al mismo ensayo que se está realizando. En este caso se aplican

correcciones por gradiente de presión, por bloqueo de sólidos, bloqueo de estela y corrección por gradiente de estela con el método de Mercker correspondiente a la SAE [3] y [4].
Los coeficientes aerodinámicos corregidos quedan:

$$C_L = C_{LB} \frac{q}{q_c}$$

donde:

C_{LB} : coeficiente de sustentación medido con la balanza.

$q_c : f(w, l, C_D, S, K)$. Aplicación del método de Mercker para la corrección de la presión dinámica como función de parámetros geométricos del modelo, de la cámara de ensayos y de constantes características del método.

El coeficiente de resistencia es:

$$C_D = \left[C_{DB} + \Delta C_{DG} + \Delta C_{D_w} \right] \frac{q}{q_c}$$

donde:

C_{DB} : coef. de resistencia medido con la balanza.

$\Delta C_{DG} = \left(\frac{dC_p}{dx} \right) \frac{V_m}{S_m}$: corrección por flotamiento (gradiente de presión en el eje de la cámara)

$\Delta C_{D_w} = \frac{1}{4} C_{DB}^2 \left(\frac{S}{C} \right)$: corrección por gradiente de estela.

El desarrollo completo de estas correcciones donde se expone todo el método seguido se encuentra en el report SAE SP-1176 [4] y en el informe [3].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comparar los ensayos con la simulación se establecieron las condiciones para ambos casos fijando la velocidad, la altura del auto y variando el ángulo del alerón. Con esto se obtuvo una curva de CL y CD vs. velocidad para ambos casos que se compara a continuación:

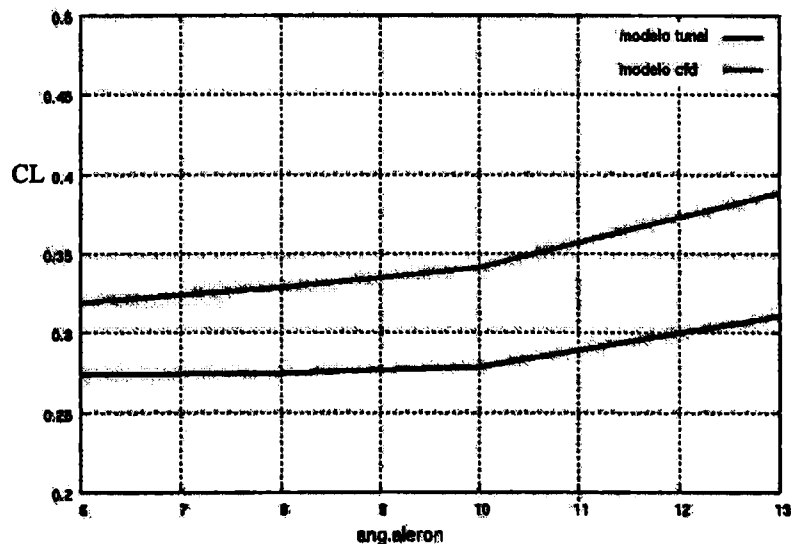


Figura 9: CL vs. ángulo de alerón.

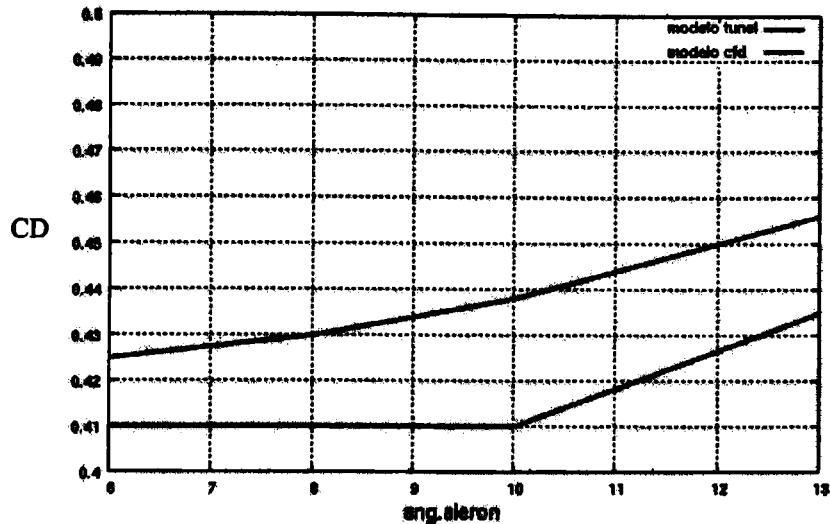


Figura 10: CD vs. ángulo de alerón.

se observa que las curvas tienen el mismo comportamiento en ambos casos y que a medida que disminuye el ángulo tienden a juntarse.

Los aspectos a considerar y que se plantean como causas de estas diferencias en cuanto a la separación entre estas curvas son los siguientes:

- Para el caso de la simulación la velocidad de corriente libre se mantiene invariante mientras que para el caso del ensayo en túnel existen fluctuaciones difíciles de controlar.
- Cuando se aplica la corrección por gradiente de estela con el método de Mercker se hace para auto convencional, en este caso en particular se tiene el alerón en la zona trasera que deflecta y modifica severamente la estela por detrás de éste y dichas correcciones no prevén la utilización de elementos de ese tipo.
- Teniendo en cuenta lo expresado en el punto anterior se realizó un ensayo y una simulación con el auto sin alerón y se obtuvieron valores de CD prácticamente idénticos lo que confirma lo planteado en cuanto a las correcciones.
- Para esto mediante la simulación se estableció un método con el cual se le agrega un ΔC_D por deflexión de estela de acuerdo al ángulo de alerón que tiene el modelo en el momento que se realiza algún ensayo.

De la comparación cuantitativa de las diferencias en cuanto a las correcciones y a la simulación se desprende la siguiente tabla con los resultados correspondientes:

	c/cámara CFD	s/corregir túnel
CL	0.33	0.23
CD	0.49	0.55

	s/cámara CFD	corregido túnel
CL	0.26	0.2
CD	0.41	0.42

para este ensayo se utilizó un modelo cuya incidencia de alerón es baja lo que permite comparar en base a que son menores las diferencias en los coeficientes por deflexión de estela y así permite evaluar las demás correcciones.

Las visualizaciones de los contornos de velocidad de la simulación se observan en las siguientes figuras:

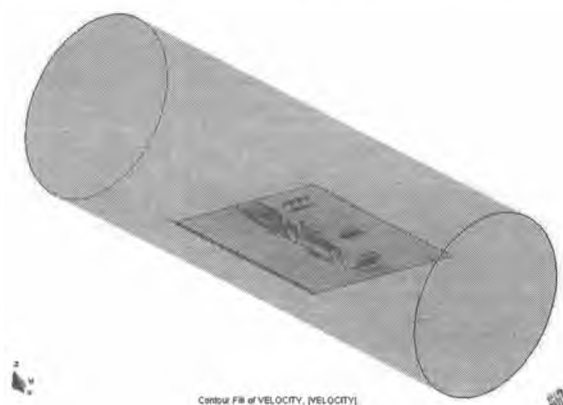


Figura 11: Contorno de velocidad. Modelo con cámara.

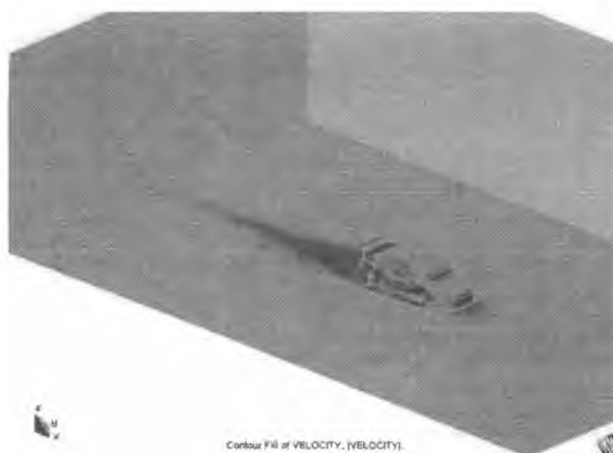


Figura 12: Contorno de velocidad. Modelo sin cámara.

CONCLUSIONES

Se logró implementar un ensayo en túnel de viento sobre un vehículo y la correspondiente medición mediante una balanza electrónica de tres grados de libertad. Se partió prácticamente desde cero ya que se tenían pocos antecedentes documentados sobre mediciones de este tipo en este túnel.

Esta medición constituye el primer paso para el ciclo que se cierra una vez que la herramienta de medición provee resultados comprobables. Utilizando el CFD como herramienta soporte se pueden llegar a ciertas conclusiones y tomar determinados caminos en el desarrollo de las herramientas de medición.

En este caso se utiliza el cálculo mediante CFD para el desarrollo de una corrección semi-empírica no establecida para autos con alerón por la deflexión que produce en la propia estela y el correspondiente cambio en la medición.

Dado que se observan diferencias en cuanto a la medición de CL para alturas cercanas a 20-25 mm, este proyecto se continúa con la implementación de un sistema de aspirado de capa límite en la zona por delante de la nariz del auto. Para esto se está desarrollando una sonda de medición de manera tal

de poder medir los espesores de capa límite en toda la malla que simula el piso para poder determinar las características y el diseño del sistema de succión a implementar.

REFERENCIAS

1. C.Sacco. E. Gonzalez. F. Giuggioloni: Análisis de la aerodinámica de un automóvil de competición. MECOM 2005. Bs.As.
2. Joseph Katz : "Race Car Aerodynamics". 2nd.Edition. 2006. Bentley Publishers.
3. S. Sanchez, C. Paoletti: Nota Técnica DAEA 042/06, CIA 024/06. : "Implementación de correcciones de bloqueo para ensayos longitudinales de vehículos de superficie en el túnel piloto."
4. SP-1176; "Closed-Test-Section Wind Tunnel Blockage Corrections for Road Vehicles"
5. Hucho, Wolf-Heinrich: "Aerodynamics of road vehicles". SAE International 1998.