



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

ENSAYOS CON TÚNEL DE VIENTO DIDÁCTICO EN MATERIAS CURRICULARES DE INGENIERÍA MECÁNICA EN LA U.N. COMAHUE

Jorge Lassig ^{*1}, Juan Valle Sosa ¹, Ubaldo Jara ¹ y Claudia Palese ¹

^{*1} Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue
Bs. As. 1400 – (8300) Neuquén - Argentina
e-mail: lassig@uncoma.edu.ar

RESUMEN

El Túnel de Viento es una de las principales herramientas con las que se cuenta para la experimentación en la Mecánica de los Fluidos.

El Departamento de Mecánica Aplicada de la Universidad Nacional del Comahue cuenta con un Túnel de Viento didáctico, del tipo Aerodinámico; cuya sección de prueba es de $0,09 \text{ m}^2$, en donde se obtienen valores de Números de Reynolds máximos del orden de 100.000, diseñado y construido por medios propios. Con él, se ha implementado desde hace varios años prácticas experimentales orientadas a impartir conocimientos sobre aerodinámica de vehículos, las mismas son de dos tipos: sistemáticas como Trabajos de Laboratorio, y otras Creativas como Trabajos Especiales que le dan al Estudiante la posibilidad de realizar un ensayo diseñado por él mismo y obtener sus propias conclusiones.

Los ensayos van desde obtener la distribución del coeficiente de presión (C_p) sobre un automóvil y determinar su estabilidad, pasando por calcular el coeficiente de arrastre (C_d) en distintas configuraciones de camiones, hasta desarrollar un alerón para vehículos de fórmula.

Este tipo de metodología, se encuadra en lo que denominamos "Aprender Haciendo" [Ref. 2].

La metodología empleada a logrado varios objetivos: por un lado el hecho de acercar al estudiante a la experimentación presentándole problemas a resolver no determinísticos, y por otro la posibilidad de impartir conocimientos modernos sin alterar el contenido curricular, como ser el tema de la aerodinámica de vehículos, aspecto importante para el conocimiento de un futuro Ingeniero Mecánico.

Palabras Claves: educación, ingeniería, aerodinámica de vehículos.

1. INTRODUCCIÓN

La Mecánica de los Fluidos es una ciencia teórica y experimental. Como asignatura es considerada una de las Básicas de Ingeniería, pero indudablemente también tiene contenidos de diseño.

Desde el nacimiento de esta rama de la ciencia quedó demostrado la necesidad de realizar experimentos para hallar soluciones a problemas reales. Así nacieron herramientas de ensayo como los viscosímetros, los canales hidráulicos, los túneles de viento, etc. Estos últimos se pueden clasificar por el tipo de perfil de velocidades que se desarrollan en ellos, de acuerdo a esto, los Túneles de Viento se dividen en Aerodinámicos y de Capa Límite.

Los túneles de Viento Aerodinámicos se caracterizan por tener un perfil de velocidad constante y un nivel de turbulencia bajo; mientras que los Túneles de Viento de Capa Límite poseen un perfil de velocidad según la capa límite atmosférica y un nivel de turbulencia graduado al ensayo [Ref. 1].

El Departamento de Mecánica Aplicada de la Universidad Nacional del Comahue cuenta con ambos tipos de túneles. Uno para uso didáctico, del tipo Aerodinámico; cuya sección de prueba es de $0,09 \text{ m}^2$, en donde se obtienen valores de Números de Reynolds máximos del orden de 100.000, diseñado y construido por medios propios; el otro de tipo Capa Límite para uso experimental, de una sección de $0,36 \text{ m}^2$ donde se realizan trabajos a terceros e investigaciones aplicadas.

2. TUNEL DE VIENTO DIDACTICO

Fue diseñado y construido totalmente en nuestra Facultad, es de tipo abierto, consta de una sección de prueba octogonal de $0,09 \text{ m}^2$ por $0,60 \text{ m}$ de largo de acrílico, y el aire es impulsado por un ventilador marca Marelli accionado por un motor de corriente continua de 3 HP, el control de velocidad es electrónico también diseñado en nuestra Facultad.

La velocidad máxima es de 17 m/s , lográndose números de Reynolds de hasta 10^5 .



Figura 1: Vista del túnel de Viento didáctico de la Facultad de Ingeniería de la UNCo.

Como el lugar para instalar el túnel de viento era reducido, el mismo no podía ser muy largo, por lo que para evitar el efecto de “enroscamiento” del flujo en la zona de prueba debido a la hélice, se instaló un panel de abeja de un largo de 5 cm logrando desacoplar el efecto vorticoso inducido por el fan de la sección de prueba.

Por las mismas razones, el convergente de la entrada era pequeño, y con la posibilidad de que se desprendieran vórtices, por lo que se instaló otro panel de abeja semejante al mencionado anteriormente, consistente en tubos de plástico de 1 cm de diámetro.

Con ambas medidas se logra dentro de la sección de prueba un flujo simétrico y estable con un nivel de turbulencia aceptable.

Con él, se ha implementado desde hace varios años prácticas experimentales orientadas a impartir conocimientos sobre aerodinámica de vehículos, las mismas son de dos tipos: sistemáticas como Trabajos de Laboratorio, y otras creativas como Trabajos Especiales que le dan al Estudiante la posibilidad de realizar un ensayo diseñado por él mismo y obtener sus propias conclusiones. Este tipo de metodología, se encuadra en lo que denominamos "Aprender Haciendo" [Ref. 2].

2.1. Ensayos para el Cálculo del C_p

Determinar experimentalmente el coeficiente de presión es uno de los objetivos de la asignatura, pero a través de él también se enseña a determinar la estabilidad del vehículo, y evaluar la utilización de alerones u otros elementos para mejorar la misma.

Para ello la cátedra ofrece un automóvil a escala, que en él se le han realizado perforaciones sobre una línea axial en su carrocería y pegado mangueras como tomas de presión estática, que van a un multimanómetro, desde el cual se leen los valores de presión que se desarrollan sobre el vehículo a diferentes velocidades. Existe la opción para el estudiante de que elija su propio vehículo a ensayar, hecho que le hará posible trabajar sobre la preparación del modelo para el ensayo. El ensayo implica aplicar los resultados a un prototipo real, por lo que deben aplicar un análisis de semejanzas entre el modelo y el prototipo.

Se les propone superponer en un mismo gráfico las curvas de C_p medidas a diferentes velocidades y que justifique las igualdades y las diferencias, esto ayuda a entender la tendencia de ser el C_p independiente del número de Re al contrario del coeficiente de arrastre C_d que es muy dependiente del valor de Re del ensayo.

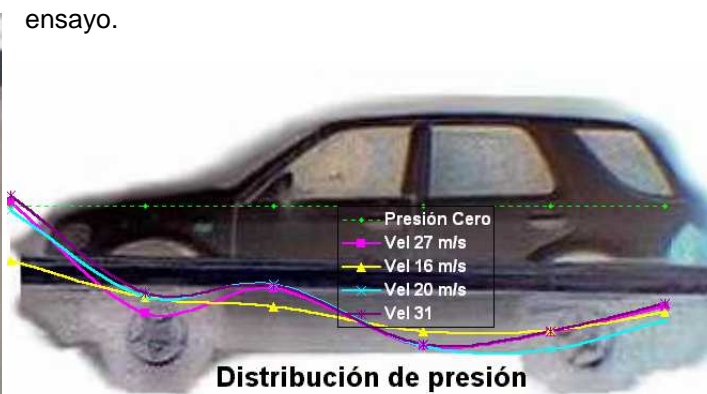


Figura 3 (arriba): Distribución de presiones sobre la carrocería del vehículo ensayado a diferentes velocidades.

Figura 2 izquierda): Modelo de vehículo escala 1/32 con las tomas de presión y su conexión al multimanómetro.

2.2. Ensayos de Succión entre dos vehículos

Un aspecto de curiosidad en los estudiantes es analizar el efecto de la succión sobre dos vehículos que circulan juntos. Para poder analizar este fenómeno introducen dos camionetas de iguales características

(Mercedes Benz ML 320, escala 1/32) frente a una corriente uniforme de aire. Una de las camioneta posee sensores de presión.



Figura 4: Disposición de dos vehículo iguales en el túnel de viento para el ensayo del efecto de succión entre ambos.

En primera instancia se mide la distribución de presión sobre una de las camionetas en una corriente de aire a 30 m/s sin la succión del otro vehículo. Luego se acopla la otra camioneta detrás y se mide nuevamente la distribución de presión. El único cambio considerable es la presión tomada por el sensor ubicado en la luneta. Estando en succión el manómetro diferencial indica un incremento de la presión en la parte trasera alrededor de 97.51 Pa. Como la distribución de presión para un vehículo solo en la zona trasera se encuentra con baja presión, mientras que la delantera con una fuerte presión. Por lo tanto, al hacer un balance entre ambas el resultado es una fuerza que se opone al movimiento del automóvil. Esta fuerza resultante es vital, ya que se equilibrará con la que pueda proporcionar el motor a la velocidad máxima. Además es interesante remarcar que la fuerza debida al arrastre es proporcional al cuadrado de la velocidad. Entonces el hecho de aumentar la presión en la parte trasera a causa de la succión reducirá la fuerza que se opone al movimiento, por ende beneficiará también al vehículo que circula delante; otorgándole mayor velocidad final y menor consumo.

La siguiente tabla cuantifica este fenómeno (experiencia en el Túnel de Viento Didáctico de la UNCo) a una velocidad de 30 m/s:

Componente horizontal de la fuerza							
Sensor	1	2	3	4	5	6	Total
Area repres.(mm ²)	1265	495	820	0	0	2580	5160
Altura man. (mm)							79,00
Vel. de corriente (m/s)							31,53
N° de Reynolds							3131532,01
Sin succión	Altura man. (mm)	53	3	16	-14	-5	3
	Presión (Pa)	519,4	29,4	156,8	-137,2	-49	29,4
	Fuerza (N)	0,65704	0,01455	0,12858	0	0	-0,07585
	Coef. de arrastre (Cx)						0,18
Con succión	Altura man. (mm)	53	3	16	-14	-5	13
	Presión (Pa)	519,4	29,4	156,8	-137,2	-49	127,4
	Fuerza (N)	0,65704	0,01455	0,12858	0	0	-0,32869
	Coef. de arrastre (Cx)						0,12

Para un Reynolds de $3,1 \times 10^6$ el Cx baja de 0,18 a 0,12 es decir un 30% menos. Aunque a nuestro criterio el caso real no representa tanto beneficio como lo hace nuestra experiencia a bajo n° de Reynolds está claro que la succión beneficia a los dos vehículos. Un ejemplo de ello se puede apreciar en las carreras de automóviles, especialmente en los óvalos de alta velocidad, en donde un grupo de autos forman un “tren” y avanzan más rápido que uno sólo auto.

2.3. Reducción del Arrastre en Camiones

Este ítem tiene como objetivo demostrar la reducción del consumo de combustible en camiones debido a la reducción del coeficiente de arrastre de los vehículos. Para ello se determina la potencia aerodinámica que deberá vencer un camión real (o sea un prototipo figura 5a), con y sin deflector entre la cabina y el trailer, a partir de un ensayo del túnel de viento, de un modelo de menores dimensiones. Para ello se realizan mediciones de velocidad y de fuerza de arrastre, en dos camiones a escala, uno de los cuales no posee deflector (figura 5b), y el otro con deflector (figura 5c).

Largo Real del Camion

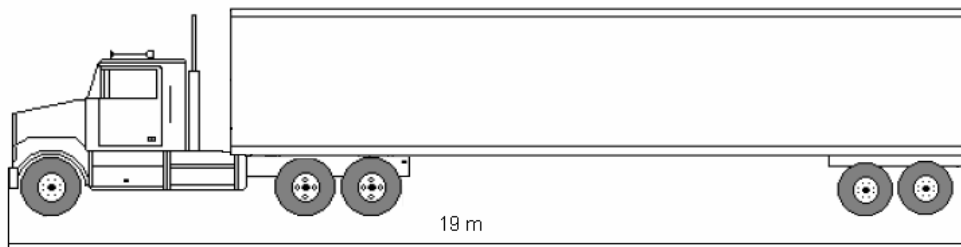


Figura 5: (a) Dimensiones del prototipo; (b) Camión amarillo modelo sin deflector; (c) camión azul modelo con deflector.

La velocidad se mide con un anemómetro de hilo caliente, y la fuerza de arrastre con un brazo de palancas que apoya en una balanza electrónica, como se muestra en la figura 6.

De ambos ensayos se obtuvieron los coeficientes de arrastre, para el camión sin deflector el C_d fue de 0,852, mientras que para el camión con deflector fue de 0,735, es decir un 13% menor que el camión sin deflector:

El origen de esta diferencia es el vórtice que se establece en la cavidad entre la cabina y el trailer, y al colocarle el deflector este vórtice desaparece y reduce el arrastre, como se indica esquemáticamente en la figura 7.

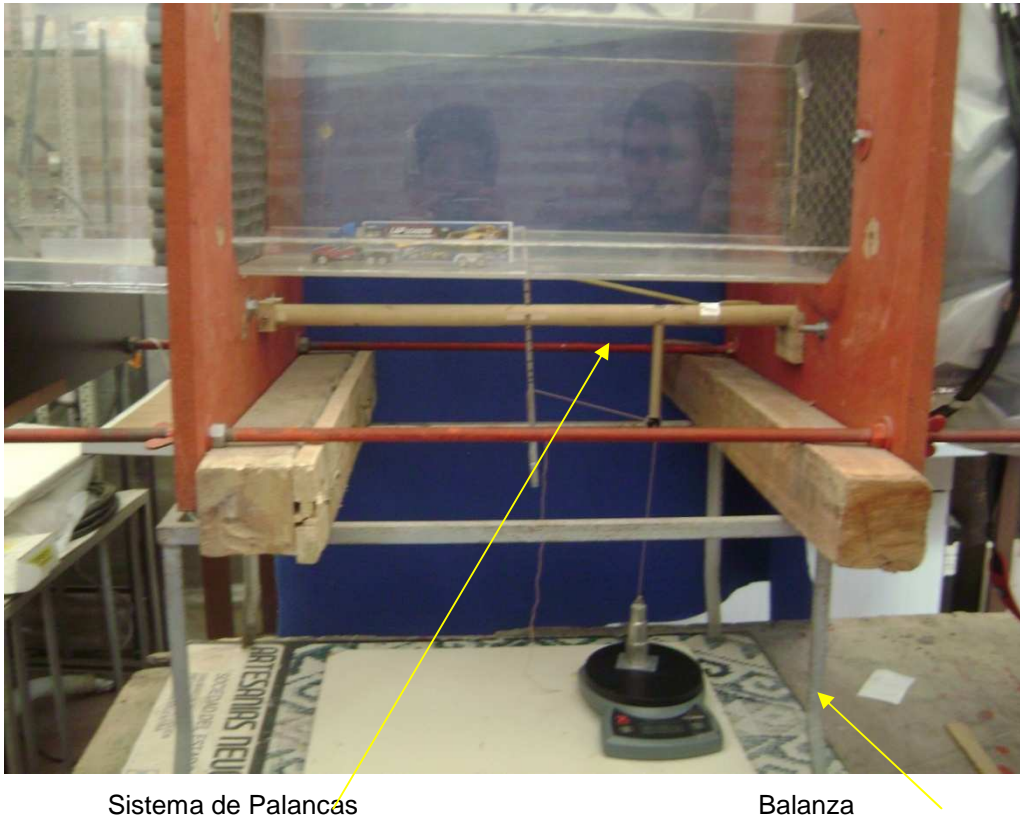


Figura 6: Sistema de medición de la fuerza de arrastre mediante palancas que actúan sobre una pesa apoyada en una balanza electrónica.

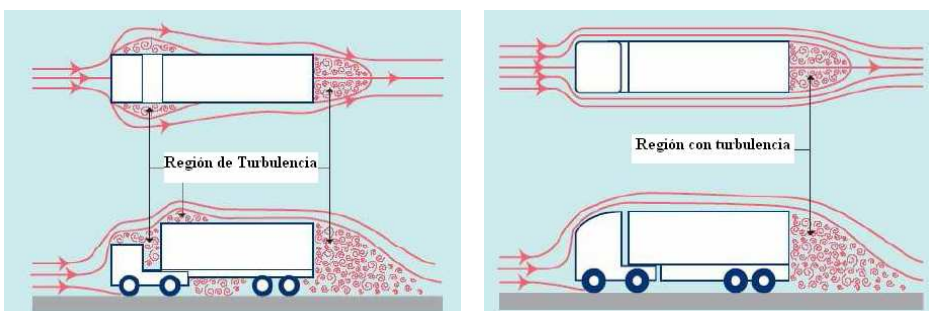


Figura 7: Esquema del patrón de flujos sobre el camión con y sin deflector entre la cabina y el trailer.

A 110 Km/hs la diferencia de potencia para mover los camiones con y sin deflector es de 30 HP, eso representa un consumo extra para el camión sin el deflector de 3 litros de más cada 100 Km de recorrido. Si un camión de transporte realiza 50.000 Km anuales, eso representa un ahorro de 1500 litros de combustible por año.

Si se multiplica este valor por la flota de camiones en el país, el ahorro de combustible es significativo.

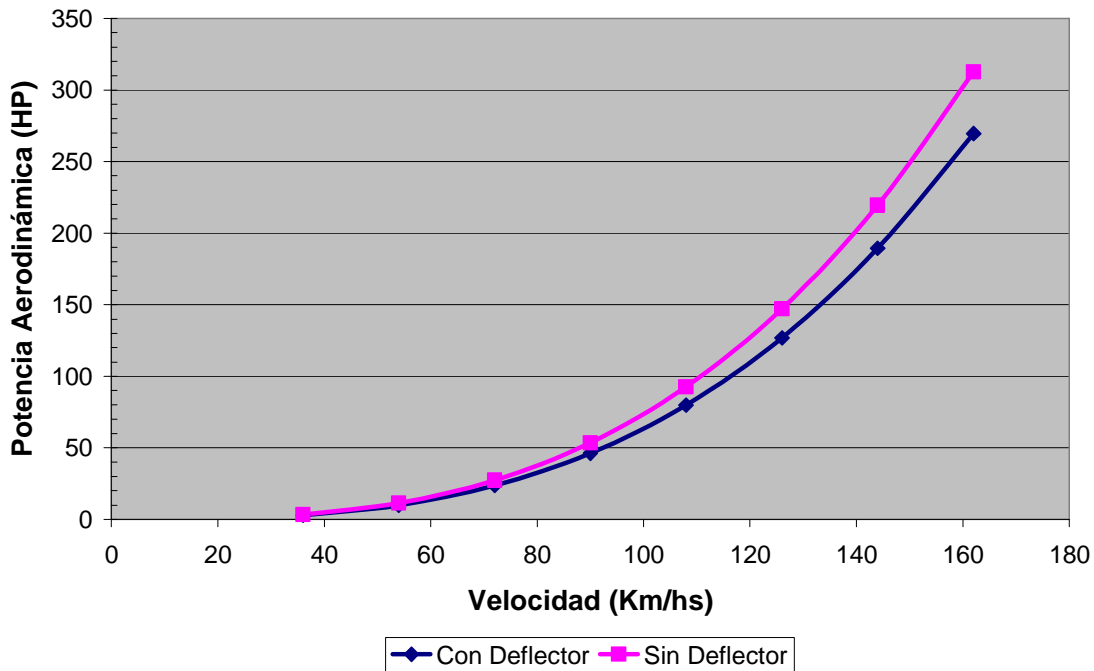


Figura 8: Consumo de potencia debido al arrastre (fuerza aerodinámica) que el motor del camión deberá proporcionar, para con y sin deflector.

2.4. Diseño de Alerones

La carrera de automóviles es un incentivo muy importante para los estudiantes de ingeniería mecánica, así esto puede servir como detonante para realizar trabajos experimentales.

El diseño de alerones para compensar la falta de adherencia de los neumáticos es un tema interesante para desarrollar. Partiendo de un análisis de la distribución de presiones sobre la carrocería del vehículo, se puede determinar el grado de estabilidad del mismo, y así valorar cuanta sustentación negativa necesita el automóvil.

Realizado este cálculo se procede a diseñar el alerón partiendo de la teoría de perfiles aerodinámicos como una primera aproximación, y se construye un prototipo del mismo a escala según las leyes de semejanza.

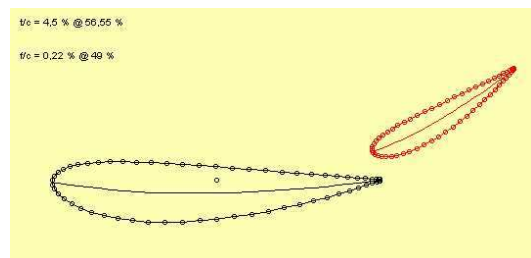
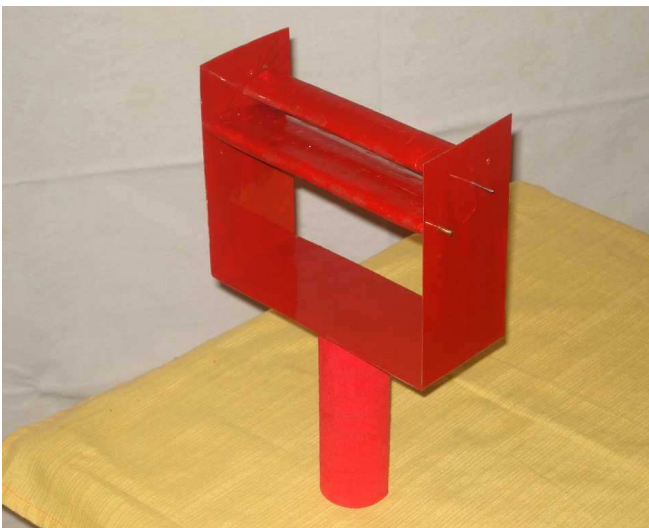


Figura 9 (superior): disposición geométrica de dos perfiles NACA 4418 con el cual se construirán los alerones.

Figura 10 (izquierda): alerones construidos a una escala 1/16 para ensayarlo en el túnel de viento.

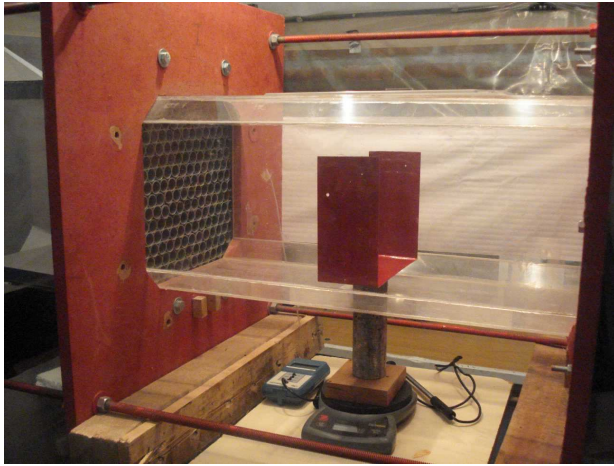


Figura 11 (superior): Soporte de alerones sobre la balanza electrónica para medirla sustentación.



Figura 12 (derecha): estudiantes trabajando en la construcción de los alerones.

Alerón Superior 15°	Alerón inferior 15°	Cl	Re
Velocidad m/s	Fuerza N		
6,9	0,4606	1,1025	89106
9,2	0,7056	0,9500	118808
11	1,0584	0,9968	142053
13,2	1,4112	0,9230	170464
15,3	1,8032	0,8778	197583

Figura 13: resultados del ensayo con ambos alerones con un ángulo de ataque de 15°, se puede observar la tendencia del comportamiento de la fuerza de sustentación y del coeficiente de sustentación con el número de Reynolds.

La conclusión del estudiante al finalizar su trabajo experimental: “Es de suma importancia poder llevar a la práctica lo aprendido. Por medio de este ensayo didáctico, pudimos medir las fuerzas que actuaron en la maqueta de un alerón y comprobar que la fuerza medida (downforce) aumenta con la velocidad y el Cl disminuye”.

3.- Conclusiones

La metodología empleada a logrado varios objetivos:

- por un lado el hecho de acercar al estudiante a la experimentación presentándole problemas a resolver no determinísticos,

- b) por otro la posibilidad de llevar a la práctica un diseño propio, concretando ese deseo de “sentirse” ingeniero al materializar una obra,
- c) por lo que aumenta su auto estima, logrando una madurez y seguridad en su carrera,
- d) además da la posibilidad de impartir conocimientos modernos sin alterar el contenido curricular, como ser el tema de la aerodinámica de vehículos, aspecto importante para el conocimiento de un futuro Ingeniero Mecánico.

REFERENCIAS

- [1] Lassig, Jorge L.; “Herramientas para la Experimentación en Mecánica de los Fluidos”; Apuntes de la materia ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL EN INGENIERIA DEL VIENTO. Neuquén, Junio de 2007.
- [2] Lassig, Keil, Fernández, Quiroga, Bastanski, Monte, Jurasics; “Space Education at the National University of Comahue. A means for the integration with multiple purposes”, *50th International Astronautical Congress, 4-8 Oct 1999, Amsterdam, Holanda.*