



## Incorporación de asistente aerodinámico de frenado en una motocicleta

J. Alonso González<sup>(2)</sup>, E. Blanco Marigorta<sup>(1)</sup>, A. Noriega González<sup>(2)</sup>

(1) Dpto. de Energía. Universidad de Oviedo  
eblanco@uniovi.es

(2) Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo

---

*En este artículo se presenta un estudio sobre la posibilidad de incorporar aerodinámica activa en una moto. En particular, se trata de un dispositivo a instalar en la parte trasera de la moto y cuyo objetivo es aumentar la carga vertical en la rueda trasera durante la frenada. El dispositivo actúa cuando se detecta que la moto sufre una deceleración longitudinal superior a un umbral prefijado y la moto no está excesivamente inclinada hacia un lateral. Cuando esto ocurre, se permite la circulación del aire tomado en la parte delantera de la moto hasta la parte trasera a través de conductos y una compuerta controlada por una servoválvula. El flujo de aire canalizado incide sobre la parte externa del guardabarros de la rueda trasera que actuará de alerón. La ventaja principal de este sistema es que no afecta prácticamente la fuerza de arrastre que debe vencer la moto completa ya que el alerón está situado en una zona con muy poca influencia en esa fuerza de arrastre. Por lo tanto, el dispositivo no tiene influencia en la velocidad máxima del vehículo. Los resultados de los análisis CFD del sistema muestran que existe un aumento significativo de la fuerza de sustentación negativa sobre el alerón y se está construyendo un prototipo con el que valorar en comportamiento real de dicho sistema.*

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se diseña la carrocería de un vehículo de competición como un coche o una moto, hay que tratar de optimizar simultáneamente dos objetivos aparentemente contrapuestos: consecución de una baja fuerza de arrastre del vehículo a la vez que se obtienen cargas verticales en ambos ejes para mejorar la adherencia de los neumáticos al suelo tanto en aceleración como en frenado.

En el caso de los coches, desde los años 70 del siglo pasado ha existido un gran desarrollo de este tema [1] que es visible de manera muy evidente hoy en día, por ejemplo, en la Formula 1, donde un coche con una buena aerodinámica y con soluciones innovadoras (doble difusor, conducto F, difusores soplados,...) resulta tener una ventaja definitiva respecto a otros vehículos con un diseño no tan depurado. Este desarrollo se plasma también en los coches de serie que comienzan a incorporar ya los avances derivados de la competición en las gamas altas de los vehículos (por ejemplo, AUDI TT con aerofreno).

En el caso de las motos, el desarrollo aerodinámico está mucho más atrasado por su mayor complejidad debido a que el vehículo puede cambiar su inclinación respecto al suelo y no siempre interesa tener empuje en el plano vertical de la moto, si no solo en determinadas circunstancias (cuando la moto está aproximadamente vertical). Además, al ser un vehículo con menos distancia entre ejes que un coche, su estabilidad longitudinal es más crítica en aceleraciones y frenadas (produciéndose fácilmente caballitos e invertidos) [2]. Por estas razones, la inclusión de un sistema de aerodinámica activa (que implica el uso de elementos aerodinámicos móviles) tiene un mayor potencial para mejorar el comportamiento/rendimiento de la moto en comparación la instalación de ese sistema en un coche. Como cuestión limitante para su aplicación tanto en competición como en la calle, está la dificultad de pasar la homologación de seguridad por la incorporación de elementos móviles que pueden resultar cortantes en un accidente.

En las dos situaciones posibles donde es necesario mejorar la estabilidad longitudinal de una moto – aceleración y frenada –, hay una situación que es más desfavorable: la frenada. Casi cualquier moto es capaz de frenar con una deceleración cercana a 1G mientras que la aceleración depende del motor y, además, nunca alcanza los valores obtenidos en las frenadas. Por tanto, en este artículo se realizará un estudio sobre la posibilidad de incorporar una aerodinámica activa en una moto de manera que se mejore la estabilidad longitudinal de la moto durante las frenadas, pero que, a la vez, que no afecte a la fuerza de arrastre original en las situaciones en las que se busca la velocidad máxima.

El dispositivo a estudiar consiste en un conducto que toma un flujo de aire de la parte delantera de la moto y lo conduce a la parte trasera de la moto (bajo el asiento). La salida de dicho conducto está orientada de manera que incide sobre un alerón colocado sobre el guardabarros trasero. De hecho, se integrará el alerón en el propio guardabarros trasero dándole una función a la superficie externa del mismo y adoptando una forma similar a la utilizada en la Honda RC 212 V que competía en el campeonato del mundo de MotoGP.

El paso del flujo de aire hacia el alerón trasero estará regulado por una compuerta controlada por un servomotor. La apertura de dicha compuerta dependerá la inclinación de la moto, la deceleración requerida y la posición del basculante. Al dispositivo comentado se le ha asignado el nombre de asistente aerodinámico de frenado.

## 2. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL ASISTENTE AERODINÁMICO DE FRENADO

Para diseñar el asistente aerodinámico del frenado se ha seguido el proceso de tres pasos que se puede ver en el diagrama de flujo de la figura 1.

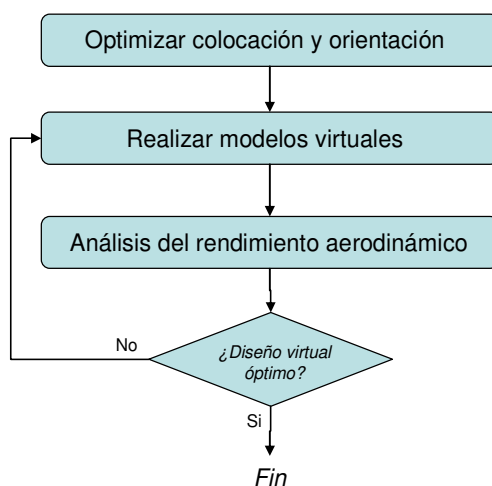


Figura 1. Diagrama de flujo de proceso seguido para el diseño

A continuación, se describen los tres pasos principales del proceso de diseño indicado.

### 2.1. Estudio de la colocación y orientación óptimas

En primer lugar, se desea conocer la situación óptima del centro de presiones (el punto 3 del esquema mostrado en la figura 2) del alerón situado sobre el guardabarros de la rueda trasera y la orientación óptima del flujo de aire incidente ( $\theta_{fuerza}$ ) sobre el mismo. Para obtener esto, se planteará un modelo que permita observar como varía el cociente entre la fuerza vertical de empuje obtenida en el eje de la rueda trasera y el módulo de la fuerza aerodinámica ( $F_{v-rueda}/F_{aerodin}$ ) cuando se modifican los parámetros dimensionales  $\theta_{base}$ ,  $\theta_{radial}$  y  $\theta_{fuerza}$  los cuales pueden verse en la figura 2. Este cociente sirve para medir el rendimiento mecánico obtenido de la sobrecarga aerodinámica.

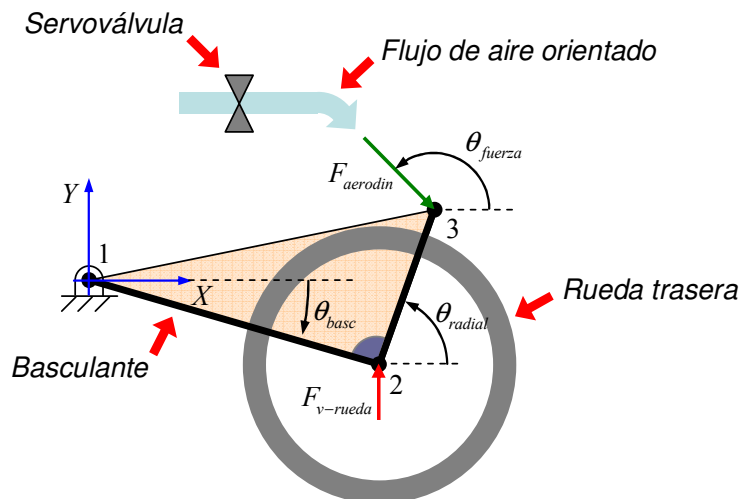


Figura 2. Esquema del asistente aerodinámico de frenado

Si se supone conocida la longitud del basculante ( $L_{12}$ ) y la distancia desde el centro de la rueda al centro de presiones ( $L_{23}$ ), se pueden expresar el vector de posición 13 en función de las dos longitudes indicadas anteriormente y de los parámetros dimensionales tal y como se muestra en la ecuación 1.

$$\vec{r}_{13} = [L_{12} \cdot \cos(\theta_{basc}) + L_{23} \cdot \cos(\theta_{radial}) \quad L_{12} \cdot \sin(\theta_{basc}) + L_{23} \cdot \sin(\theta_{radial}) \quad 0] \quad (1)$$

El vector que modeliza la fuerza aerodinámica se muestra en la ecuación 2.

$$\vec{F}_{aerodin} = [-F_{aerodin} \cdot \cos(\theta_{fuerza}) \quad -F_{aerodin} \cdot \sin(\theta_{fuerza}) \quad 0] \quad (2)$$

El equilibrio de los momentos de las fuerzas que actúan sobre el basculante calculado en el punto 1 se muestra en la ecuación 3.

$$\vec{r}_{13} \wedge \vec{F}_{aerodin} + \vec{r}_{12} \wedge \vec{F}_{v-rueda} = \vec{0} \quad (3)$$

Desarrollando la ecuación 3 y despejando el cociente buscado, se llega a la ecuación 4.

$$\frac{F_{v-rueda}}{F_{aerodin}} = \frac{(L_{12} \cdot \cos(\theta_{basc}) + L_{23} \cdot \cos(\theta_{radial})) \cdot \sin(\theta_{fuerza})}{L_{12} \cdot \cos(\theta_{basc})} \dots \dots \frac{(L_{12} \cdot \sin(\theta_{basc}) + L_{23} \cdot \sin(\theta_{radial})) \cdot \cos(\theta_{fuerza})}{L_{12} \cdot \cos(\theta_{basc})} \quad (4)$$

En la figura 3 se puede ver la representación gráfica de la ecuación 4 en función de  $\theta_{radial}$  y  $\theta_{fuerza}$  cuando  $L_{12} = 500$  mm,  $L_{23} = 340$  mm cuando  $\theta_{basc}$  toma los valores de  $-10^\circ$ ,  $0^\circ$  y  $+10^\circ$ .

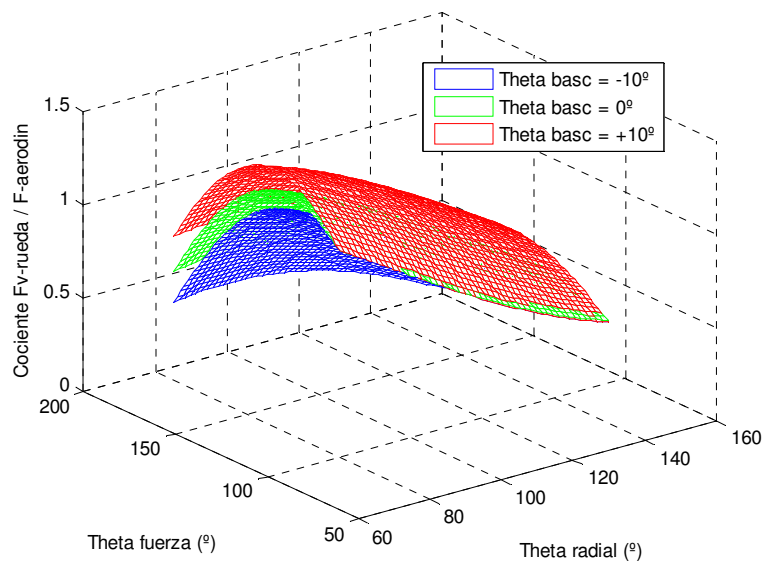


Figura 3. Influencia de los parámetros dimensionales en el cociente de fuerzas

De la figura 3 se extrae que cuanto más atrás esté el centro de presiones (menor  $\theta_{radial}$ ), mejor. El valor de  $\theta_{fuerza}$  óptimo depende del  $\theta_{radial}$  mínimo posible el cual vendrá limitado por la extensión del guardabarros trasero. Con los rangos de los parámetros dimensionales definidos por cuestiones constructivas el óptimo cuando el basculante forma  $-10^\circ$  con el eje X (situación de suspensión extendida en plena frenada) se produce para  $\theta_{radial} = 75^\circ$ ,  $\theta_{fuerza} = 112^\circ$  y permite obtener un cociente de fuerzas de valor 1,277.

## 2.2. Realización de modelos virtuales

Los modelos virtuales de la moto y sus dispositivos aerodinámicos se han realizado en SolidWorks 2011®. En la figura 4 se puede ver el modelo de moto con carenado utilizado. Se necesita un modelo de moto completo porque la presión y el caudal de aire que habrá en la toma delantera de los conductos del asistente aerodinámico dependen de la aerodinámica del vehículo completo.

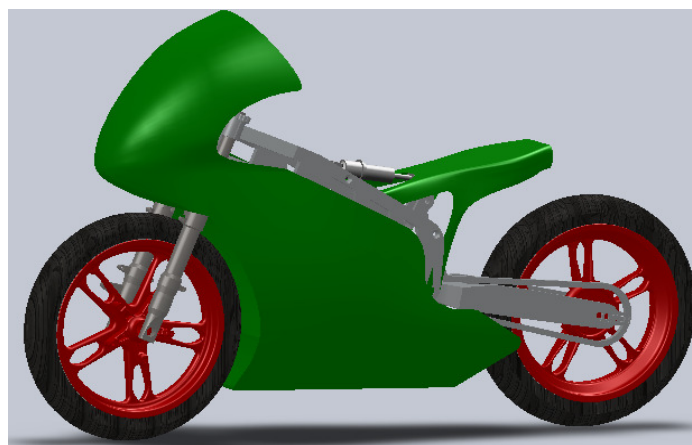


Figura 4. Modelo de moto utilizado

La sección de los conductos que llevan el aire desde la toma delantera situada en el morro del carenado hasta la parte trasera es elipsoidal. Se ha escogido esta sección como solución de compromiso entre otras dos formas probadas (rectángulos y círculos). La sección rectangular permite captar más aire pero su integración en el diseño ya existente para el chasis era más difícil y su fabricación también ya que se requiere un tubo demasiado

asimétrico para no estorbar a la posición del conductor. La sección circular es más sencilla (se puede instalar directamente un tubo comercial) y adaptable pero aumenta mucho el espacio transversal utilizado (para la misma sección que el rectángulo) y penaliza la posición de la piernas del conductor. Por todo lo anterior, se ha decidido utilizar una sección elipsoidal con el semieje menor en la sección transversal de la moto.

El recorrido de los conductos que canalizan el aire desde el morro de la moto hasta la parte trasera se ha realizado de manera que no se produzcan interferencias con el carenado o el chasis ya existentes e intentando evitar cambios bruscos de dirección. En la figura 5, se pueden ver dos vistas del recorrido elegido para los conductos.

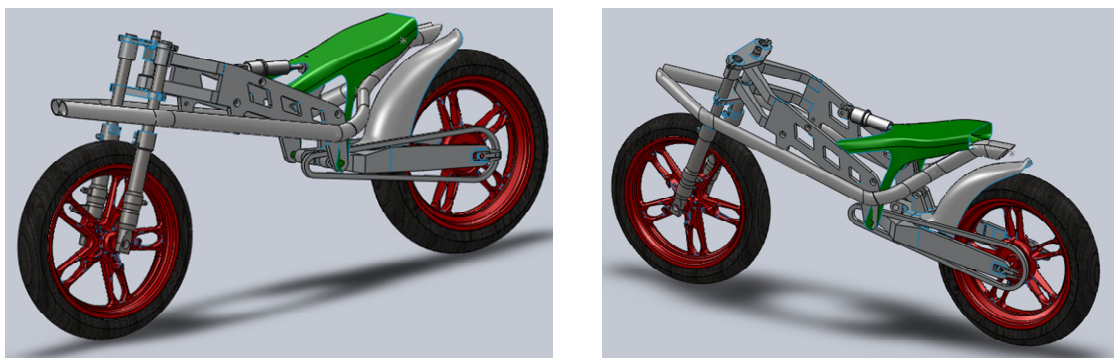


Figura 5. Recorrido elegido para los conductos

Otro componente del asistente de frenado es el guardabarros trasero que actuará de alerón. La función de este es minimizar las turbulencias en la zona de la rueda trasera así como aumentar la zona de incidencia del flujo de aire canalizado. Sus parámetros geométricos básicos óptimos ya se obtuvieron en el apartado 2.1. Se han barajado los dos diseños que se pueden ver en la figura 6 siendo su principal diferencia la introducción de unos surcos longitudinales cuyo objetivo es canalizar los flujos laterales residuales.

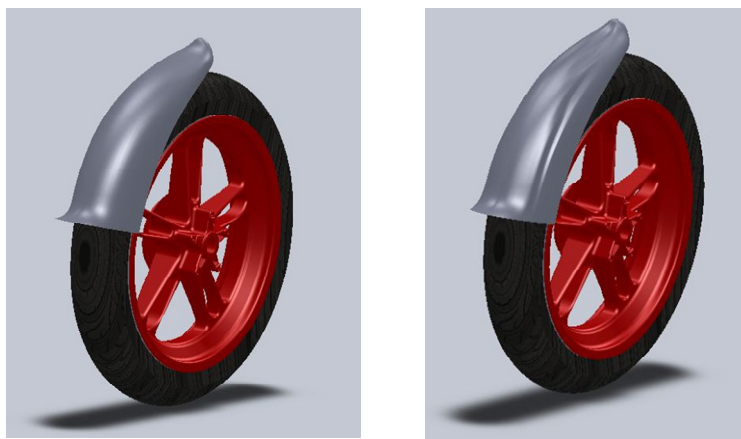


Figura 6. Diseños alternativos para el guardabarros de la rueda trasera

### 2.3. Control de la servoválvula

La servoválvula es el dispositivo que regula el caudal de aire que incide en el guardabarros trasero. Este dispositivo consistirá en una válvula de mariposa con accionamiento eléctrico. La apertura de la válvula (con más o menos progresividad) está controlada por tres parámetros tal y como puede verse en el diagrama de flujo de la figura 7.

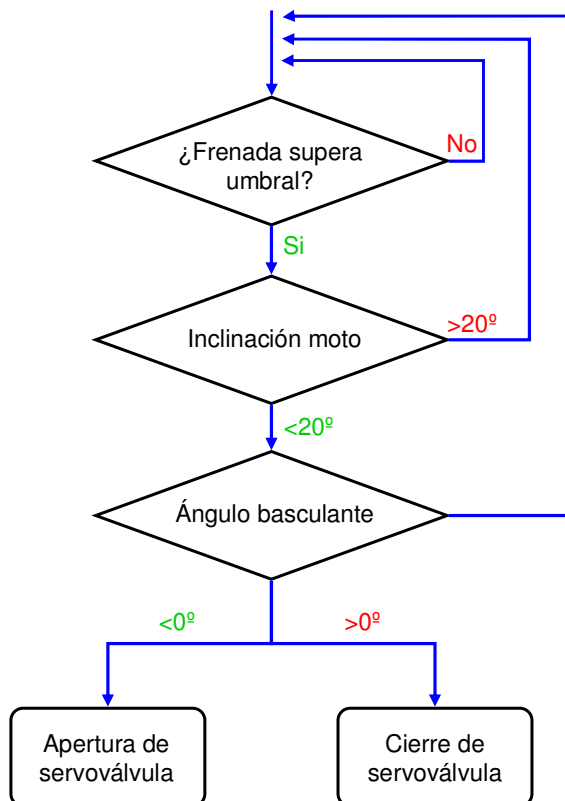


Figura 7. Diagrama de flujo del control de la servoválvula

Los sensores utilizados para el control de las distintas variables son:

- Sensor tipo 1/0 (Accionamiento freno trasero)
- Acelerómetro triaxial(Inclinación de la moto)
- Potenciómetro(Recorrido del amortiguador trasero, mide el ángulo del basculante)

Toda la programación del algoritmo de cálculo se realiza sobre un microcontrolador, encargado tanto de procesar las mediciones de los sensores como de activar la servoválvula.

#### 2.4. Análisis del rendimiento aerodinámico de los modelos virtuales mediante CFD

Se ha analizado el rendimiento aerodinámico del asistente de frenado a través de modelos bidimensionales con el fin de estimar si la incorporación del mismo a la moto produciría una mejora significativa de la fuerza de empuje vertical sobre el alerón.

El software utilizado para el cálculo por CFD ha sido el Fluent 6-Gambit®. Las simulaciones se han realizado manteniendo siempre una calidad de malla con un skew inferior a 0.7.

Debido a la complejidad del problema global, se han realizado tres simulaciones secuenciales utilizando los datos de salida de una como datos de entrada de la siguiente.

En primer lugar, se ha realizado una simulación aerodinámica del conjunto de la moto con la finalidad de obtener la presión en toma de los conductos en el frontal. Se ha supuesto una velocidad de circulación de 250km/h (70m/s). En la figura 8 puede verse la distribución de presión alrededor de la moto. En la figura 9 se muestran los incrementos de presión obtenidos en el morro de la moto.

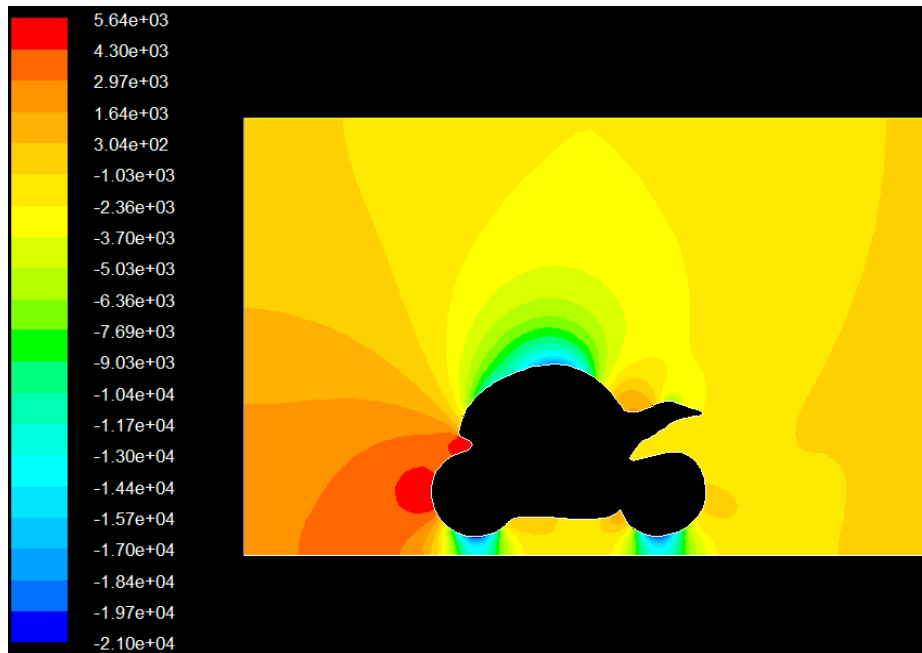


Figura 8. Distribución de presión alrededor de la moto

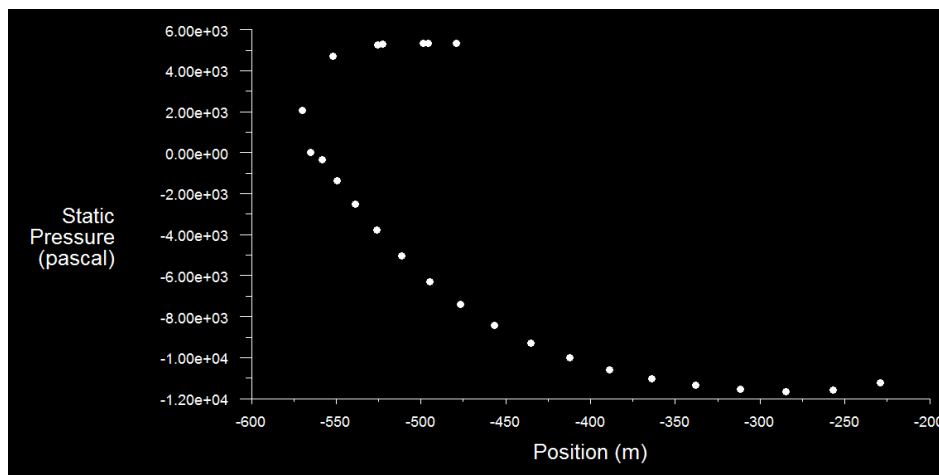


Figura 9. Presiones obtenidas en el morro de la moto

A continuación, se ha realizado una simulación del conducto que conduce el aire desde la toma delantera hasta la salida trasera bajo el colín. Se han tomado las presiones obtenidas en la simulación anterior como presiones en la sección de entrada y se ha obtenido la presión a la salida de ese conducto. Esta presión es la que determina el mayor o menor empuje vertical sobre el alerón.

Finalmente, se ha realizado una simulación donde se usa la presión a la salida del conducto para obtener el empuje vertical sobre el alerón. En la figura 10 puede verse la distribución discreta de presiones sobre el mallado.



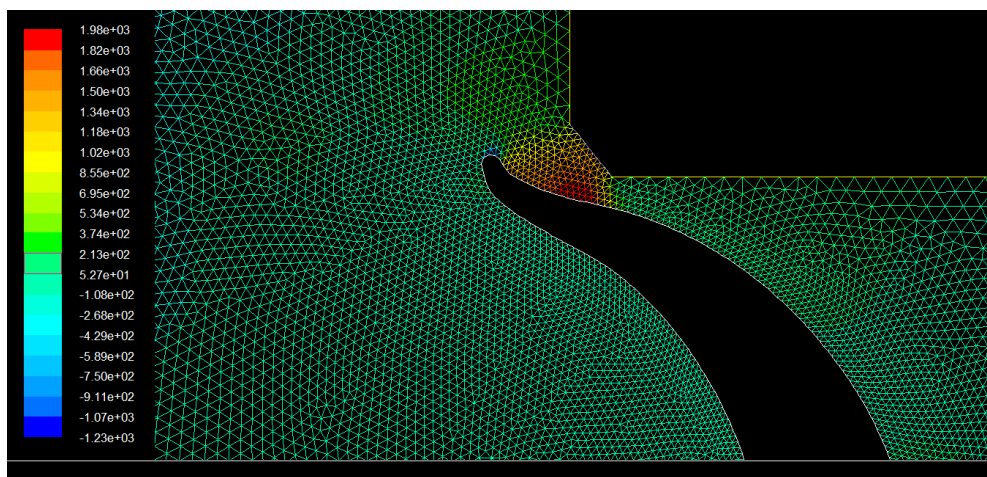


Figura 10. Distribución de presiones sobre el alerón

### 3. RESULTADOS

De las simulaciones realizadas se obtiene una fuerza vertical sobre la superficie de incidencia del guardabarros entorno a los 13000N/m<sup>2</sup>, tal y como se puede ver en la captura presentada en la figura 11. Como el estudio realizado es bidimensional, los resultados son para 1 m de fondo. Se ha estimado un área de incidencia real de unos 0.013 m<sup>2</sup>, por lo que se obtendría una fuerza de sustentación negativa de, aproximadamente, unos 170 N.

Force vector: (0 1 0)						
zone name	pressure force n	viscous force n	total force n	pressure coefficient	viscous coefficient	total coefficient
ginferior	13197.2	-16.683363	13180.517	21546.449	-27.238144	21519.211
net	13197.2	-16.683363	13180.517	21546.449	-27.238144	21519.211

Figura 11. Resultados de la fuerza de sustentación sobre el alerón

### 4. CONCLUSIONES

El estudio realizado muestra que el asistente de frenado propuesto puede proporcionar un incremento significativo de la carga vertical sobre la rueda trasera en una frenada a alta velocidad, lo cual repercutiría en mayor estabilidad y capacidad de frenado en la moto. Este resultado es alentador e incentiva la realización de estudios con mayor nivel de detalle para optimizar la tomas, minimizar la pérdida de carga en los conductos y mejorar el rendimiento del alerón. Adicionalmente, se está construyendo un prototipo a instalar en una moto participante en el concurso Motostudent para valorar el rendimiento real del asistente de frenado aerodinámico.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al soporte financiero del IUTA y del Ayuntamiento de Gijón a través del proyecto de investigación SV-12-GIJON-1.

### 5. REFERENCIAS

- [1] H.J. Gerhardt, C. Kramer, E. Zakowski, H. Barth. *The aerodynamic optimization of the ZAKSPEED formula 1 racing car*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 22 2-3 (1986), 291-297.
- [2] D.J.N. Limebeer, R.S. Sharp, S. Evangelou. *The stability of motorcycles under acceleration and braking*, Institution of Mechanical Engineering, Part C, Journal of Mechanical Engineering Science, 215 (2001), 1095-1109.