

EFECTO DE LA GEOMETRÍA DEL 'SPOILER' TRASERO EN EL CAMPO FLUIDO DE UN AUTOMÓVIL DE 2 VOLÚMENES^ª

M. Rodríguez^º y R. Rebolo^º

SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A.

RESUMEN

En la actualidad es habitual la colocación de spoilers en la zona posterior de los turismos. En un principio asociados con una mejora aerodinámica (reducción de resistencia o incremento de la adherencia del eje trasero), en la práctica son en muchas ocasiones, un mero objeto estético o un indicador clasista o de poder económico (gama de automóvil o 'deportividad').

Se analizan en este trabajo los resultados obtenidos en túnel aerodinámico sobre un modelo a escala 1:4, en el cual se ensayaron un conjunto de spoilers de diversa longitud y ángulo. Se presentan y analizan los efectos en resistencia y sustentación de los mismos, así como las modificaciones que ocasionan en el campo fluido, comentándose las implicaciones que pueden tener sobre la aerodinámica y diseño del automóvil.

1 INTRODUCCIÓN

En este documento se analizarán los resultados de fuerzas y presiones obtenidos al ensayar un modelo con diferentes geometrías de spoilers. Se tratarán los siguientes puntos:

- 2 descripción del comportamiento del flujo alrededor de las diversas configuraciones ensayadas.
- 2 efecto de la geometría del spoiler sobre las presiones superficiales en el modelo.
- 2 efecto de la geometría del spoiler en los coeficientes aerodinámicos.
- 2 conclusiones y recomendaciones de posible aplicación al prototipo.

^ªPublicado en las actas del XIV Congreso de Ingeniería Mecánica. Madrid. Diciembre 2000.

^ºE.T.S. de Ing. Aeronáuticos. Universidad Politécnica de Madrid. mrodri@aero.upm.es

^ºUniversidad Carlos III de Madrid. rafael.rebolo@sener.es

2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO Y DE LOS SPOILERS.

El túnel de aerodinámico utilizado fue de tipo abierto con flujo aspirado de la E.T.S. de Ing. Aeronáuticos, que posee una sección de ensayo de 1.20x1.20 m². Las velocidades del aire llegaban hasta 35 m/s (número de Reynolds, basado en la longitud del modelo, superior a 2.x10⁶). El coeficiente de bloqueo del túnel con el modelo fue de un 10 %.

El modelo, a escala 1:4, fabricado en DM, se compone de cinco módulos con un interior hueco para la instalación de instrumentación. Estos módulos son: cuerpo principal, rampa trasera, faldilla frontal, faldilla trasera y plataforma. Se fabricaron nueve 'spoilers' traseros con diferentes longitudes y ángulos, que se fijaban mediante tornillos al vehículo. En el interior hueco del modelo, se instalaron dos 'scanivalves' con capacidad para 48 tomas de presión cada una. Una de estas válvulas se dedicó a medir la presión sobre el cuerpo y la otra sobre la zona trasera (20 % ...nal del vehículo).

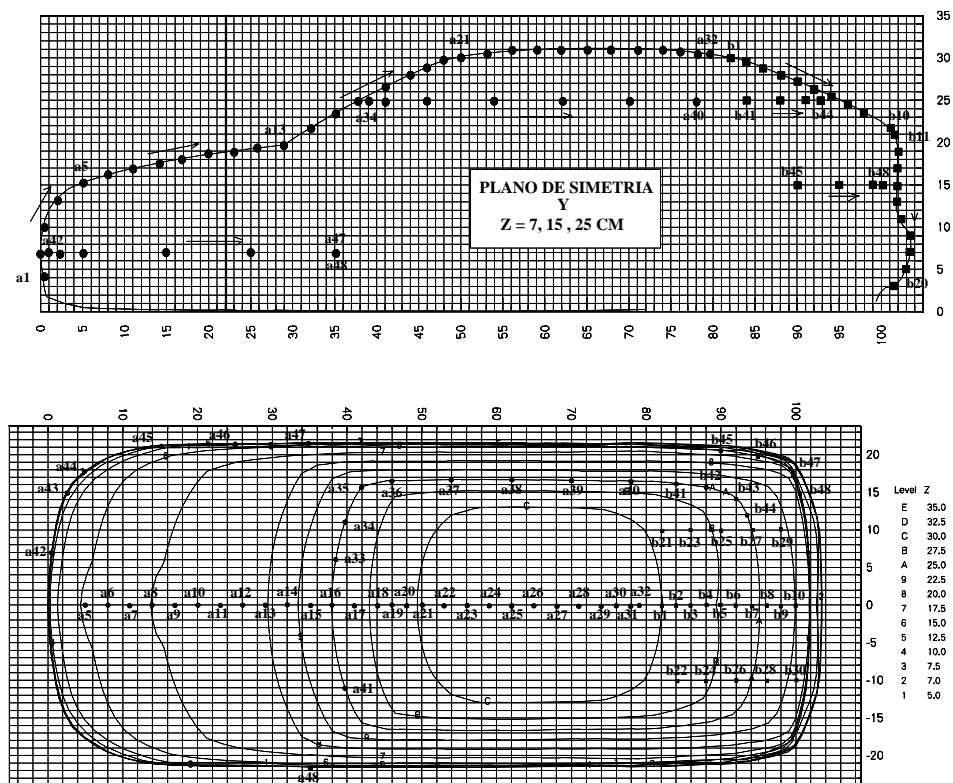


Figura 1.- Posición de las tomas de presión sobre el modelo.

Las tomas de presión se distribuyeron (Figura 1) según planos horizontales y verticales en dirección axial. La mayoría de ellas se situaron en el plano de simetría y sobre la parte trasera, en los planos $Y = 10$ cm. Los planos horizontales instrumentados fueron: $Z = 25$ cm (abarcando tanto la zona delantera como trasera del vehículo), $Z = 15$ cm (zona trasera) y $Z = 7$ cm (zona delantera). Además, se colocaron dos tomas de testigo en los planos horizontales para calibración de asimetrías en el flujo.

Las geometrías de los spoilers vienen determinadas por su longitud (L_{sp}) y la altura entre el borde de salida y la rampa en el plano medio (h). Es posible caracterizarlos geoméricamente con tres parámetros: la longitud adimensional $L_{sp}=L_{ref}$ (en este caso, al ser el cuerpo ensayado

único, se tomará como parámetro la longitud que tendría el spoiler en el prototipo, siendo este valor en centímetros, precedido de 'M' el que identificará el ensayo, la letra 'A' indica el tamaño del escalón: 'B'ajo, 'A'lto o normal), el ángulo α (el formado por el spoiler con la tangente en el origen de éste a la pared del coche) y el ángulo β o $h=L_{sp}$ (viene a representar el ángulo medio que forma el spoiler con la rampa).

	M000	M100B	M100	M100A	M160B	M160	M160A	M200B	M200	M200A
h/Lsp	0.00	0.07	0.18	0.32	0.16	0.20	0.35	0.18	0.25	0.35
α (°)	n.a.	-6	0	9	-2	0	9	-2	2	8
β (°)	0	4	10	17	10	11	19	10	14	19

3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAMPO FLUIDO EN LA ZONA TRASERA DEL MODELO.

A partir de las grabaciones en vídeo de las 'lanas' instaladas en el modelo y de las distribuciones de presiones se han identificado cuatro regímenes de flujo en la zona trasera, que aparecen esquematizados en la figura 2.

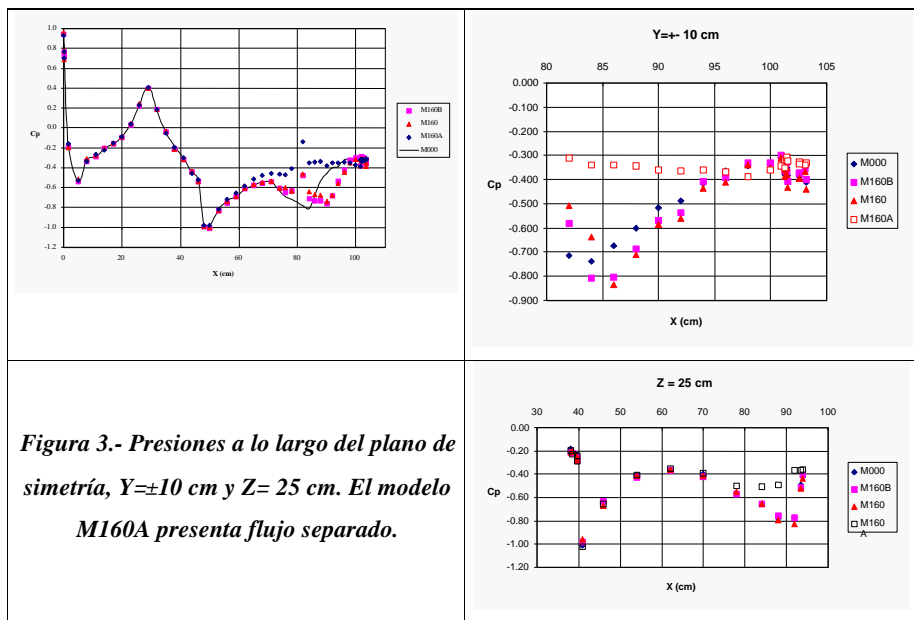
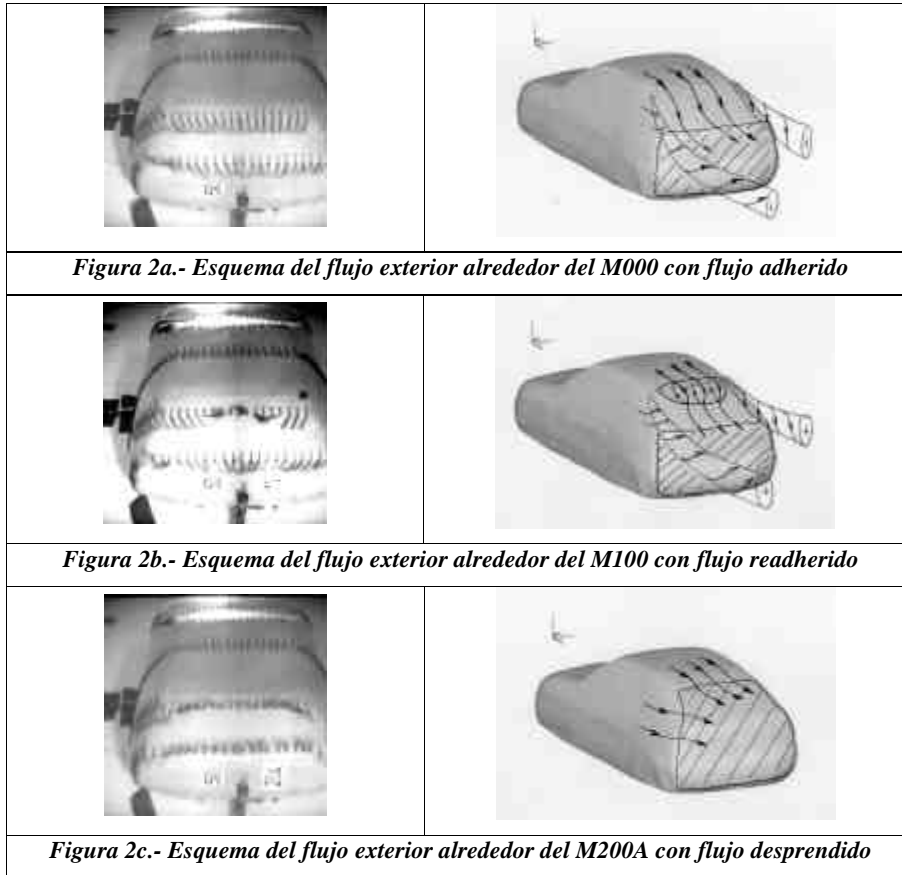
El coche básico (sin spoiler) se comporta como un 'fastback' típico [1], presentando dos torbellinos contragiratorios sobre los pilares C. Estos torbellinos crean un pico de succión sobre dichos pilares, indicativo de la intensidad de los mismos (alrededor de los 90 cm en figura 3, $Z = 25$ cm), induciendo una componente de velocidad vertical en el plano de simetría, contra la rampa del coche, que favorece la adherencia de la corriente sobre la misma, incluso en presencia de un gradiente adverso de presión.

La presencia del spoiler modifica el campo fluido en forma más o menos drástica según la geometría del mismo:

2 Para spoilers 'moderados', el efecto del mismo es la creación de una burbuja de recirculación, separándose la corriente en el borde del spoiler y readhiriéndose a una cierta distancia, función de la geometría, aguas abajo. Los torbellinos laterales siguen existiendo, no apreciándose variación de su intensidad al aumentar el tamaño de la burbuja, tal como refleja la presión en el pilar C (Figura 3). Las presiones sobre la rampa (y por tanto los coeficientes aerodinámicos) varían poco y en forma gradual al aumentar el tamaño de la burbuja.

2 En el resto de los spoilers la corriente se separa en el borde de salida y no se readhiere sobre la rampa trasera, originando una separación casi bidimensional típica de vehículos 'squareback'. Los torbellinos sobre los pilares C desaparecen, o al menos pierden intensidad (disminución de la depresión en figura 3). La presión sobre la rampa queda casi uniforme y próxima a la existente en la base. Los coeficientes aerodinámicos, en especial el de sustentación, sufren una fuerte variación.

El modelo M200 presenta una distribución de presiones correspondiente a separación en el spoiler, aunque comparando con los casos claramente separados, no parece tan fuerte (figura 4). Por otro lado la presión en el Pilar C es baja indicando la existencia de un torbellino importante. El flujo parece por tanto un estado intermedio entre los dos regímenes anteriormente indicados, en el que coexisten los torbellinos con un desprendimiento bidimensional tras el spoiler.



La morfología del flujo, distribución de presiones y fuerzas que aparecen sobre la rampa son similares a las que surgen en alas de alargamiento pequeño con ángulo de ataque, en las cuales se generan dos torbellinos de gran intensidad en los laterales y una burbuja en el borde de ataque. Al aumentar el ángulo de ataque, la intensidad de los torbellinos aumenta hasta que

en una determinada actitud se produce el 'vortex breakdown' desapareciendo la estructura burbuja-torbellino y produciéndose una estela separada tras el ala. La fuerza normal sufre una caída brusca en este punto, manteniéndose más o menos constante para ángulos mayores [2].

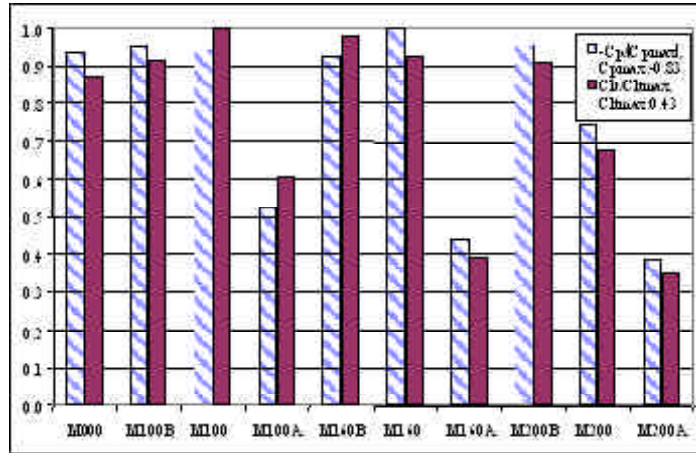


Figura 4.- Coe...ciente de presión en el pilar C y coe...ciente de sustentación trasero.

4 EFECTO DEL SPOILER EN LAS PRESIONES SUPERFICIALES.

La presencia de un spoiler, en general, se traduce aguas arriba del mismo en una elevación de la presión sobre el techo del vehículo, afectando hasta la coordenada X~70cm (es decir unos 45 a 50 cm antes del spoiler en el prototipo). Tanto el nivel de la sobrepresión, como el tamaño de la superficie afectada son función de la geometría del spoiler. El pico de presión localizado al inicio del spoiler en el plano de simetría (toma situada en X = 82 cm, ...gura 3), se ha comparado con la solución exacta de un flujo potencial alrededor de una esquina como la esquematizada en la ...gura 5. Las diferencias pueden ser debidas a la capa límite existente en el flujo real. La longitud del spoiler, a diferencia del ángulo ($h=L_{sp}$), no parece tener ningún efecto en las presiones aguas arriba del mismo, tal como se desprende de la ...gura 6.

Aguas abajo del spoiler ($X > 86cm$), en modelos con flujo no separado, la presión se mantiene más o menos constante sobre la burbuja, hasta el punto en el cual la corriente se readhiere y la presión comienza a incrementarse hasta el valor de la de base. En las imágenes de vídeo puede observarse el aumento del ancho de la burbuja al variar el parámetro $h=L_{sp}$ del spoiler. Respecto a las presiones de base alcanzadas, estas son muy parecidas y no ha sido posible relacionarla con la longitud del spoiler usado o algún otro parámetro. En el caso de flujo separado, si se observa un cierto efecto de la longitud sobre la presión; ésta se incrementa al aumentar la longitud del spoiler, aunque la presión ...nual de base se mantiene constante e igual al caso readherido.

Las presiones sobre el plano Z = 25 cm (...gura 3), muestran que mientras no existe desprendimiento la presión es poco sensible al spoiler usado; sin embargo, cuando hay desprendimiento, éste se nota hasta X~78 cm. La baja presión sobre el pilar C reñeja la existencia de un torbellino cuando $h=L_{sp} < 0:23$ (corriente readherida). El aumento del ángulo del spoiler, origina la disminución del torbellino hasta su eventual desaparición (desprendimiento bidimensional)

en $h=Lsp$, 0:35 (...gura 8).

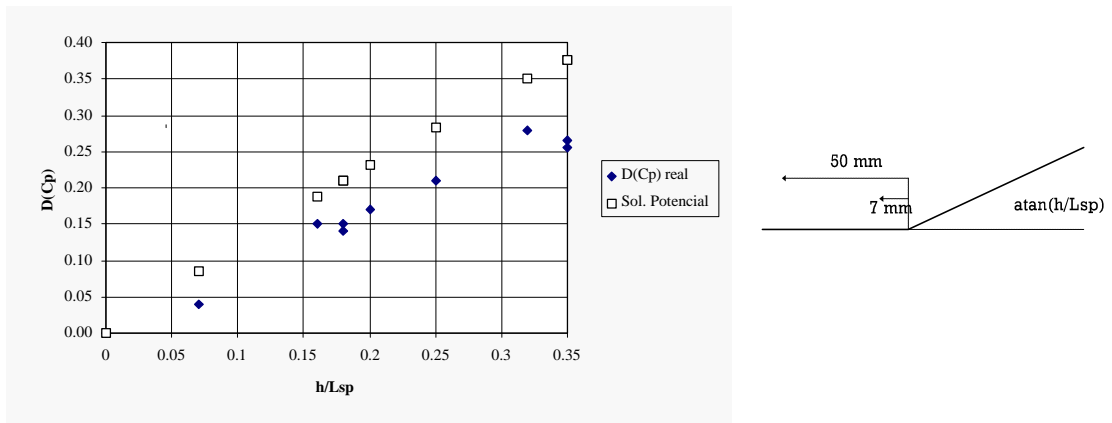


Figura 6.- Incremento local de presión originado por el borde de ataque del spoiler.

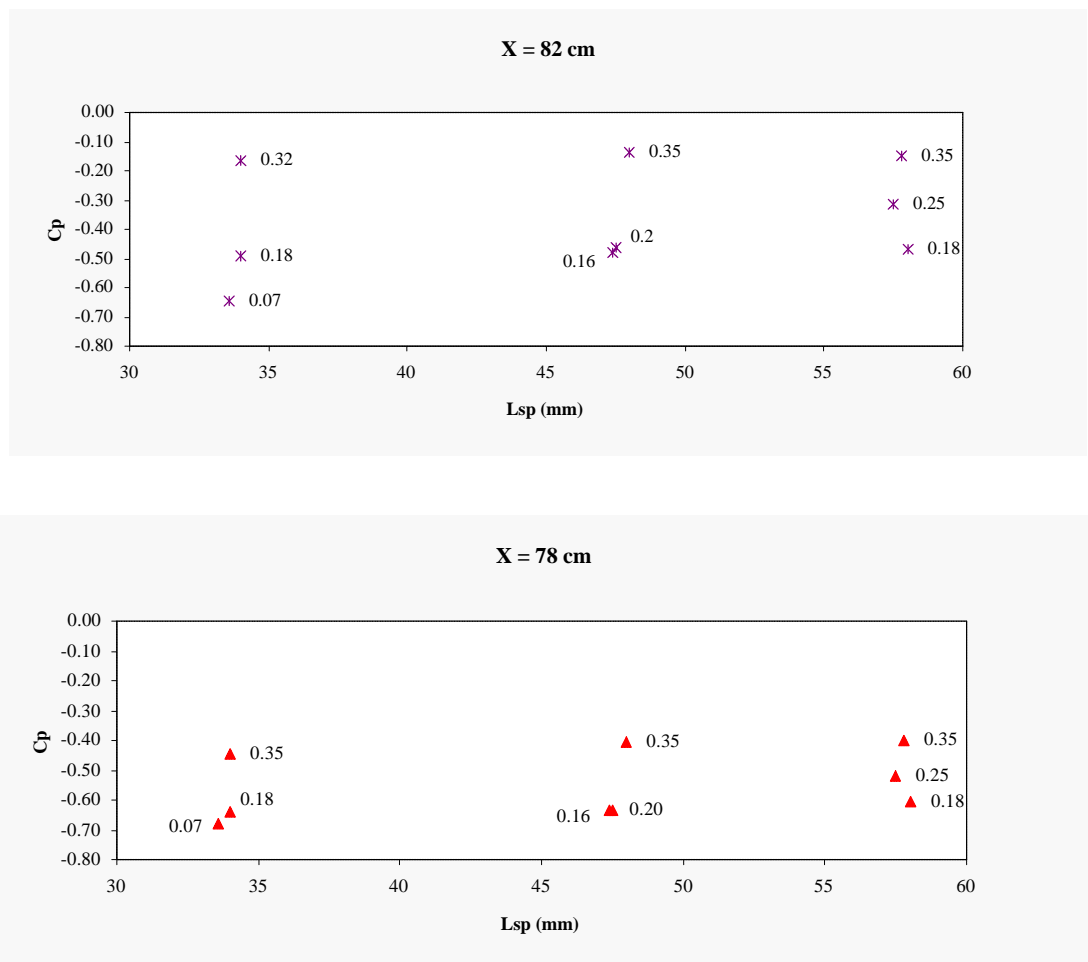


Figura 7.- Efecto de la longitud del spoiler en las presiones aguas arriba del mismo (h/Lsp como parámetro)

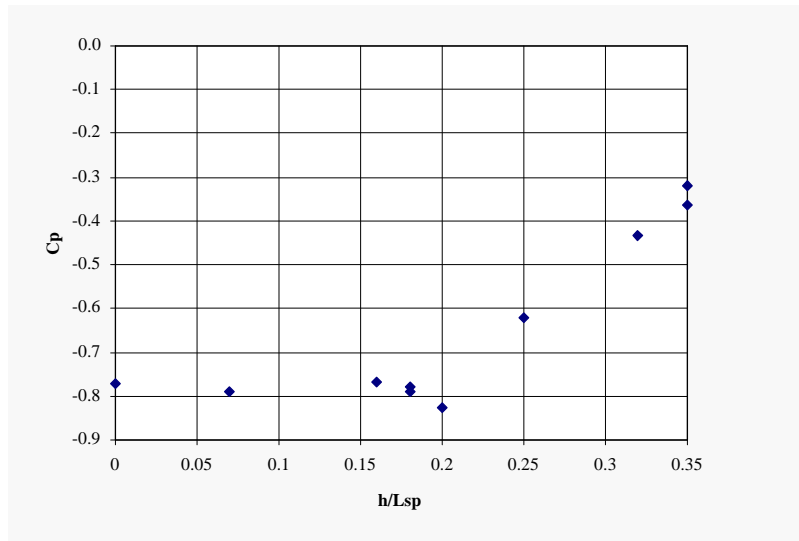


Figura 8.- Coeficiente de presión en el Pilar C en función de la inclinación del spoiler.

5 EFECTO DEL SPOILER SOBRE LOS COEFICIENTES AERODINÁMICOS

El análisis de las presiones muestra que en la mitad delantera del coche no existe ninguna influencia del spoiler, mientras que en la posterior el efecto es importante, variando la configuración de flujo, y por consiguiente, las presiones y fuerzas resultantes (Figura 3).

El coche sin spoiler presenta, sobre el inicio de la rampa, una depresión alta con una posterior recuperación de presión hasta la base.

Los spoilers moderados modifican ligeramente las distribuciones de presiones sobre el techo y la rampa, siendo la de base esencialmente la misma que en el vehículo sin spoiler.

Los spoilers causantes de que la corriente se desprenda, modifican bastante las presiones sobre el techo y la rampa, aunque se sigue manteniendo una presión de base esencialmente constante.

La influencia de los spoilers sobre los coeficientes aerodinámicos va a depender del efecto de los mismos sobre las presiones medias en la rampa y en el techo para el coeficiente de sustentación, y fundamentalmente en la rampa para el de resistencia.

La variación de los coeficientes aerodinámicos del modelo con el spoiler es consecuencia, cuando la corriente se separa, de:

- 1) una elevación de la presión media sobre la rampa (debido a la disminución de la depresión inducida en el inicio de la misma)
- 2) aumento de la presión sobre la parte posterior del techo.

El primer efecto es responsable de la disminución de resistencia; y la combinación del primero y segundo es la que origina la variación en la sustentación trasera.

La Figura 8 muestra las variaciones de los coeficientes aerodinámicos, referidos al vehículo

sin spoiler, en función del parámetro $h=L_{sp}$. El comportamiento del C_d es similar al observado por Janssen y Hucho en el VW Golf I [1]. Siendo el efecto del spoiler semejante a la variación del ángulo de inclinación de la rampa trasera. El comportamiento del C_d y C_{lt} también concuerda con el del ala cuadrada de pequeño alargamiento anteriormente citado, correspondiendo la disminución de sustentación y resistencia a la caída de la fuerza normal en el ala a partir del ángulo en que se produce el 'vortex breakdown' [2].

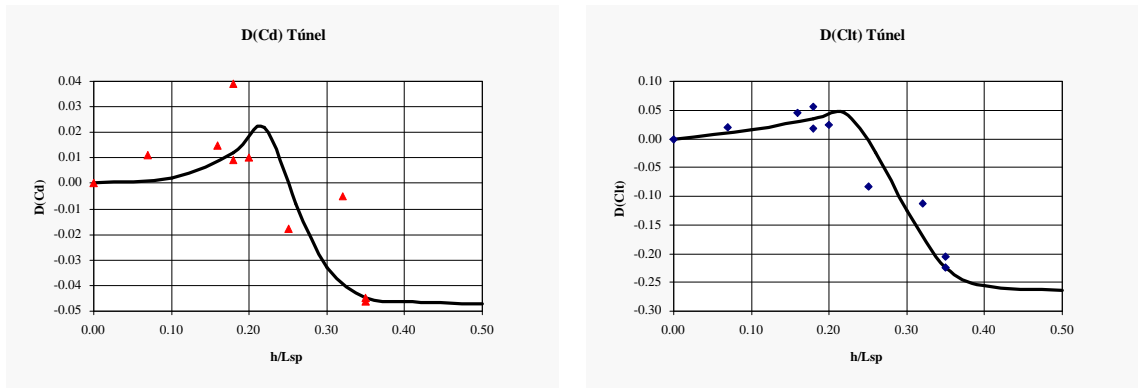


Figura 9.- Variación de los coeficientes aerodinámicos, referidos al vehículo básico, con el ángulo del spoiler.

6 CONCLUSIONES

El parámetro más importante, dentro del rango de valores ensayados, que determina el comportamiento de los coeficientes aerodinámicos es el ángulo del spoiler, independientemente de la longitud del mismo.

La figura 9 refleja la tendencia de los coeficientes aerodinámicos como función del ángulo del spoiler ($h=L_{sp}$). La línea representada debe considerarse como una banda de ± 0.01 para el C_d y ± 0.02 para el C_{lt} . Hasta $h=L_{sp} \approx 0.20$ la corriente permanece adherida con dos grandes torbellinos en los pilares C. Para $h=L_{sp} > 0.35$ se produce separación casi bidimensional (en prácticamente toda la envergadura) de la corriente en el borde de salida del spoiler. En la zona intermedia de $h=L_{sp}$ siguen existiendo los torbellinos laterales pero se produce desprendimiento sobre la rampa trasera.

Forzando la separación al inicio de la rampa trasera es posible obtener variaciones del $C_d \approx \pm 0.04$ ó ± 0.05 y del C_{lt} próximas a ± 0.2 respecto al modelo básico. La figura 9 evidencia la gran sensibilidad del flujo al ángulo del spoiler. Para evitar que, con el prototipo en carretera, se produzcan estas transiciones de régimen con los consiguientes cambios de fuerzas aerodinámicas (en especial sustentación) en función de las condiciones de carga o de marcha, hay que alejarse del ángulo crítico del spoiler, siendo los más convenientes desde el punto de vista aerodinámico los denominados en este trabajo tipo A. La longitud, bajo el punto de vista aerodinámico, no tiene un efecto apreciable.

En el modelo, debido a sus formas redondeadas y suaves en la mitad posterior, aparecen dos zonas de muy baja presión, una sobre el inicio de la rampa y otra sobre los pilares C. Estas superficies presentan proyecciones tanto horizontal como vertical, contribuyendo al aumento de la resistencia y la sustentación trasera. Actuando sobre estas zonas de succión podría

mejorarse ambos coeficientes:

- 2 disminución del radio de curvatura de los pilares, para forzar la separación de la corriente.
- 2 disminución del radio de curvatura en la unión de la rampa trasera al techo

Otra posibilidad es forzar la separación y controlarla mediante el uso del spoiler:

2 colocando un spoiler con suficiente inclinación sobre la rampa trasera se elimina el pico de succión de la rampa trasera y se produce la separación, que se transmite a los laterales del vehículo, no esperándose en este caso ninguna mejora al combinarlo con la modificación de los radios de curvatura de los pilares; salvo quizás en comportamiento con guiñada.

2 el ángulo del spoiler ha de ser lo bastante elevado como para alejarse del ángulo crítico. De esta forma se elimina la posibilidad de variación de los coeficientes aerodinámicos, en especial del coeficiente de sustentación, como función de la condición de carga del vehículo o de marcha del mismo.

2 un ángulo elevado produce un mayor incremento de presión sobre el techo del vehículo, mejorando fundamentalmente la sustentación.

2 un spoiler con extensiones laterales a lo largo de los pilares traseros, podría ser beneficioso tanto a efectos de sustentación como de resistencia, debido a que fuerza el desprendimiento en la zona trasera y se eliminan las zonas de succión en los pilares C.

Por otro lado la presencia del spoiler causa una zona de baja velocidad sobre la rampa trasera, alimentada por aire proveniente de la zona trasera del vehículo; siendo de esperar la acumulación de suciedad sobre la luna posterior.

7 Referencias

[1] Aerodynamics of Road Vehicles. W. H. Hucho. Butterworths. 1987.

[2] Tactical Missile Aerodynamics: General Topics. M. J. Hemsch. Volume 141. Progress in Astronautics and Aeronautics.