AERODINÁMICA:

- **Perfil alar**
- **Efecto suelo**
- **Efecto Gurney**
- **Los 917 y sus alerones móviles**

PRINCIPIOS BÁSICOS

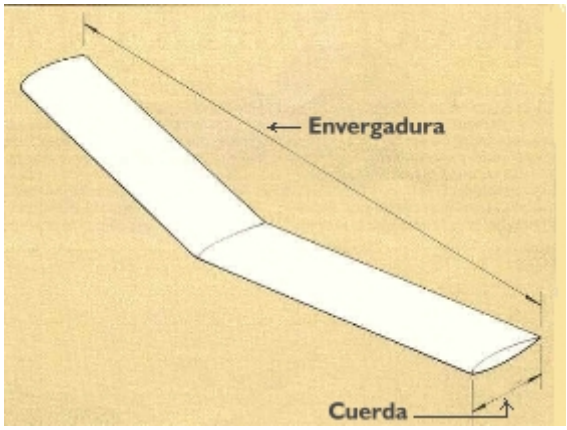
Con el fin de aumentar la estabilidad a altas velocidades y mejorar la capacidad de agarre en las curvas, los ingenieros encargados del desarrollo de vehículos de alto rendimiento han encauzado sus investigaciones y desarrollos no solo a los sistemas de motorización, chasis y suspensión, sino que para el diseño se han ayudado por otras áreas de la ingeniería como la aerodinámica.

Un ejemplo claro de esto es el uso de alerones o spoilers.
Sin embargo, estos elementos aunque proveen altas fuerzas (Downforce) sobre los vehículos también generan altas fuerzas de arrastre inducido (Aerodynamic Drag). Para contrarrestar ese negativo efecto, se ha desarrollado el *efecto suelo* que aprovecha el gran potencial de la parte inferior de los automóviles para generar fuerzas de succión (Downforce) con gran eficiencia

LO BÁSICO: POR QUÉ VUELA UN AVIÓN?
Para comprender esto, será necesario remontarnos hasta una pregunta que tal vez hasta ahora permaneció sin respuesta: ¿por que vuela un avión?. Un elemento mas pesado que el aire y que es capaz de vencer la fuerza de gravedad, manteniéndose en vuelo.

Muchas son las causas, comencemos por la mágica palabra de ... "sustentación", fenómeno físico que tendríamos que explicar de manera sencilla y clara viendo estudios de la función del ala.

En un ala, lo que llamaríamos largo ancho y alto, se define en lenguaje aeronáutico como envergadura, cuerda y espesor



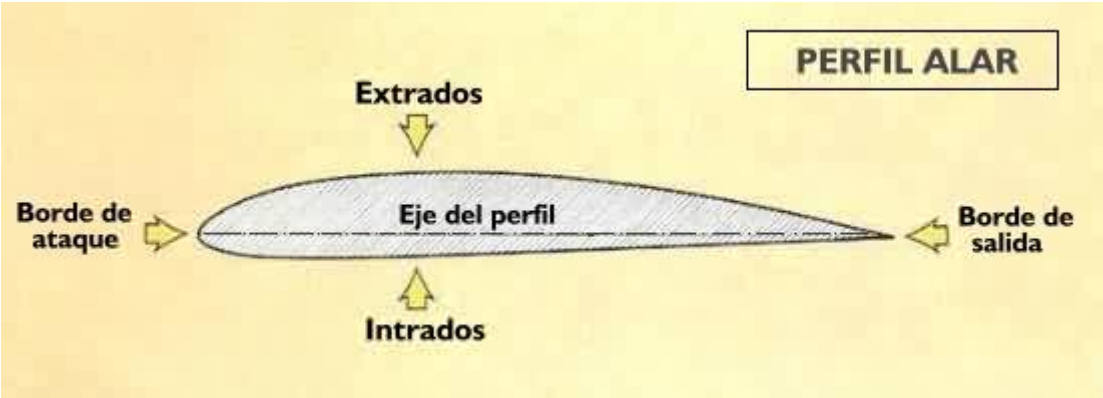
Envergadura es la distancia entre puntas de ala o bordes marginales (ver dibujo).

Cuerda es la distancia entre (el borde de ataque) parte delantera y (el borde de salida) parte posterior del ala.

Espesor es la distancia entre la parte superior del ala (llamada *extradós*) y la parte inferior de la misma (llamada *intradós*)

PERFIL ALAR

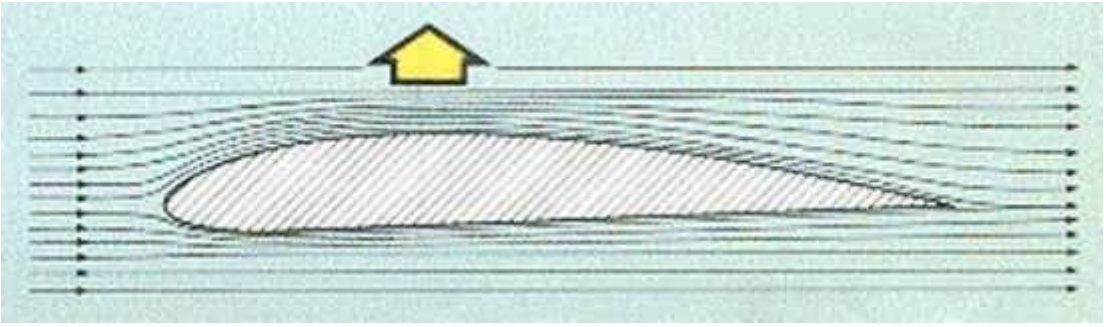
Con estos parámetros básicos de un ala, le damos un corte en sentido perpendicular a la envergadura, es decir del borde de ataque al borde de salida y tendremos un sección que denominamos *perfil.*



Éste, con algunos cambio según el tipo de avión, tiene forma muy característica, como vemos en el dibujo de arriba.
Es precisamente esa forma geométrica la que dá origen a la *sustentación*.

Haciendo desplazar un perfil plano dentro de un fluido laminar -en este caso aire-, si se pudieran ver las moléculas alrededor del cuerpo, se observaría que la alteración producida es mínima, y los filetes de aire permanecen prácticamente paralelos.

Sin embargo, si ponemos un perfil alar en ese fluido, el comportamiento de los imaginarios filetes de aire sería diferente.
Naturalmente estos se ajustan a la forma del perfil, pero en la zona de contacto con el extradós, por su mayor curvatura, los filetes de aire se comprimen, lo cual obliga a las moléculas de aire a aumentar su velocidad de paso, creándose así una depresión o, lo que es igual, un efecto de succión en el extradós del ala.



Al contrario ocurre en el intradós, donde las líneas de corriente se separan y se produce una sobre presión.

Estos dos efectos contemplados en las leyes del movimiento de fluidos (Ley de Bernoulli), hacen que nuestro perfil, y por lo tanto el del ala, sea sometido a una

fuerza vertical ascendente llamada **sustentación**.
En esta fuerza tiene mayor influencia la depresión que se produce en el extradós, que la sobrepresión del intradós.

Vemos que el avión vuela gracias a la succión del extradós, es decir como suspendido del ala en lugar de apoyado sobre ella como generalmente se cree.

Ley de Bernoulli:
"Si un fluido (gas o liquido) pasa alrededor de un objeto a diferentes velocidades, el fluido que se mueve a la velocidad menor experimentara una mayor presión que el fluido que va más rápido y por ende el objeto se verá forzado hacia la zona de menor presión"

LA APLICACIÓN EN LOS AUTOMÓVILES: EL ALERÓN

El ala de un avión cumple la función de elevarlo, en cambio un alerón funciona exactamente al revés, no eleva al auto sino que lo "aplasta".
Por eso está colocado con un ángulo de incidencia tal que puede crear una antisustentación, es decir un empuje hacia abajo, sobre las ruedas motrices.

Es fundamental es entender por qué ocurre esto.

La fuerza aerodinámica, tal como se explicó mas arriba, está producida por las diferencias de presiones entre la cara superior (extradós) y la cara inferior (intradós) de un perfil alar, a consecuencia de la diferente longitud que debe recorrer el flujo de aire. Los textos en esta materia dan aproximadamente que un tercio se origina en el intradós mientras que el resto, o sea los otros dos tercios, los origina el extradós.

Esta diferencia de presión aumenta con la velocidad, y por ende con ella los efectos de la sustentación se multiplican.

La fuerza se descompone en dos: una es vertical, que es sustentación en el caso del avión o de aplastamiento en el caso del automóvil y la otra es en dirección al avance del vehículo, contraria al efecto deseado pero es el precio que se debe pagar para obtener la fuerza de aplastamiento.

Por este motivo, en pistas veloces, el ángulo de ataque es pequeño mientras que en pistas cortas, donde el auto está permanentemente doblando, se utiliza un mayor ángulo debido a que no es tan importante la velocidad final.

La aplicación o el destino que tiene el alerón es ejercer una presión hacia abajo a cualquiera de los dos trenes, tanto tractor como directriz.

Normalmente, se denomina alerón al que trabaja en el tren posterior que en caso de ser tractor aumenta la adherencia al "apretar" la rueda contra el suelo. Al adminículo que trabaja sobre el tren delantero se lo llama spoiler y sigue la misma finalidad del alerón que se usa en el tren trasero.

En los autos de competición, tal es el caso de los TC 2000, sería quizás suficiente el peso del motor pero a su vez, el alerón cumple la función de canalizar el flujo de aire que debe usarse para la refrigeración en el enfriamiento de los frenos y la corriente que debe pasar por debajo del auto. A esta corriente de aire delantera se le da un tratamiento posterior para poder obtener una ventaja adicional como, por ejemplo, conseguir lo que se conoce como *efecto suelo*.

A pesar de las restricciones impuestas por los reglamentos, es indudable que la velocidad en recta y en curva que poseen los vehículos de competición en la

actualidad va mejorando día a día, desde que los adminículos aerodinámicos hicieron su aparición allá por la década del '60.
Las investigaciones estuvieron siempre orientadas a experimentar con dispositivos aerodinámicos para poder lograr que los neumáticos vayan el mayor tiempo posible "pegados" al piso.

EFECTO SUELO EN AUTOMÓVILES.

En los vehículos de competición, se busca generar grandes cargas sobre las ruedas, pues la fuerza de rozamiento de éstas con el suelo está en función de la adherencia disponible y del peso del vehículo sobre dicha rueda, esto con el fin de alcanzar un mejor agarre en las curvas y por ende mayores velocidades.
Para este propósito se utilizan alerones o spoilers, pero este tipo de elementos generan una alta resistencia (Aerodynamic drag).

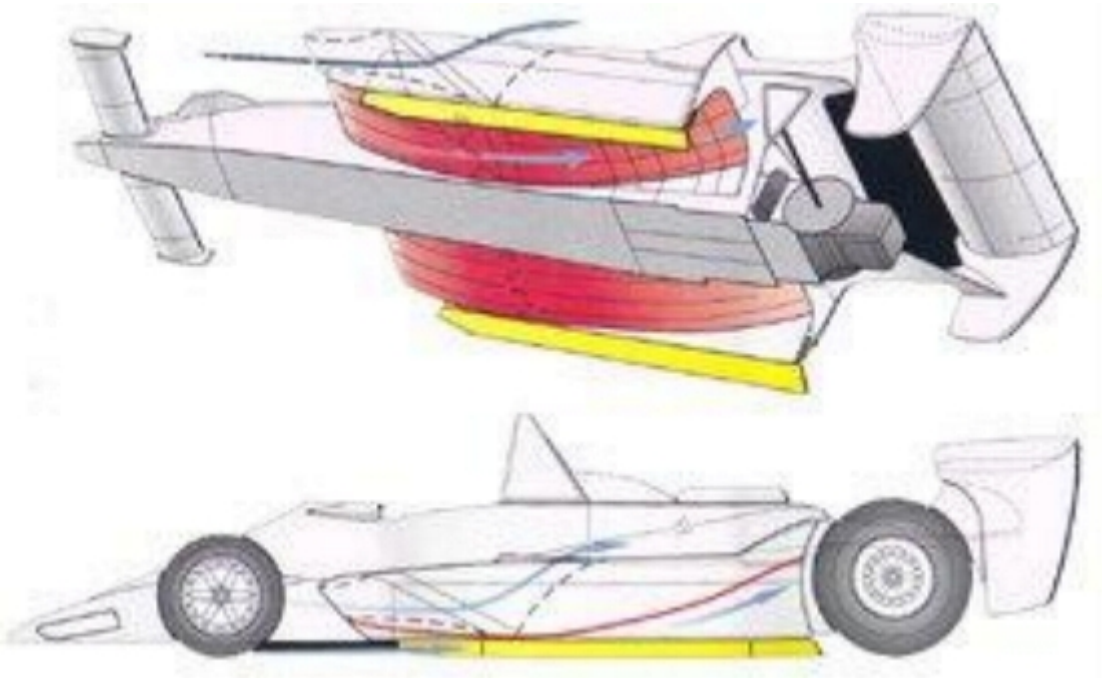
ALA INVERTIDA

Sin embargo, la carga que un vehículo puede ejercer sobre sus ruedas para lograra mas "agarre" también puede aumentarse creando una depresión por la parte baja del mismo, lo que se conoce como "*efecto suelo".*
Este efecto, explicado mediante el Teorema de Bernoulli se logra con un diseño de la parte inferior simulando un ala invertida que genera una zona de baja presión bajo el automóvil que lo succiona hacia la pista.

Es famoso el Lotus 79, auto de Fórmula 1 que utilizó al máximo este efecto en la década del 70.

Para lograr el efecto suelo descripto, el diseño de la parte inferior del automóvil se hace simulando un tunel Venturi que incrementa la velocidad del aire y por ende crea una zona de baja presión bajo el auto. En los actuales desarrollos se logran fuerzas de presión (Downforce) de 396 Lb. (1641 N) en un auto de calle como lo es un Ferrari 360 y de 3000 lb. (13344 N) en un auto de carreras.

En el siguiente gráfico puede notarse como fue usado el principio del ala invertida.



El efecto suelo trae consigo otra ventaja y es que reduce la potencia requerida para alcanzar cierta velocidad, pues la resistencia inducida que predomina a bajas velocidades se reduce debido a la ausencia de elementos como los spoilers que generan resistencia directa.

Sin embargo a pesar de los grandes avances en el diseño de las superficies inferiores de los autos y de las carrocerías, el efecto suelo tiene ciertos inconvenientes, como el que se presenta a consecuencia de que la fuerza generada para presionar el auto hacia el suelo es muy sensible a la distancia entre la superficie inferior y el mismo suelo.
Por el efecto aerodinámico a medida que la velocidad aumenta, esta distancia disminuye reduciéndose el efecto suelo y por consiguiente la adherencia. En los principios del desarrollo se utilizaron sistemas de suspensión demasiado rígidos, pero esta solución trajo consigo inestabilidades en el auto, pues no permitía que se produjeran pequeños errores como el pasar por encima de los "pianitos" de las curvas. Entonces vino el desarrollo de suspensiones que utilizan resortes espirales y geometrías no-lineales, que permiten que el proceso de succión se estabilice al equilibrarse la fuerza aerodinámica con la reacción elástica de los resortes.
Otras soluciones que vinieron con el tiempo son las ayudas electrónicas en la estabilidad del auto como es el caso de la suspensión activa que mediante controles hidráulicos mantiene la altura del vehículo sobre el piso constante a lo largo de toda su geometría. A esta solución ahora se le suma un último desarrollo que consiste en que la distancia entre el suelo y el vehículo no se disminuye en las mismas proporciones sobre ambos ejes sino que esta se reduce más en la parte trasera lo que produce un ángulo de inclinación que reduce el coeficiente aerodinámico total, y por ende la estabilidad a altas velocidades no compromete la maniobrabilidad ni el confort.

EFECTO SUELO: UN POCO DE HISTORIA
En el verano de 1975 el equipo de Formula 1 Lotus estaba en grandes problemas, el Lotus 72 estaba obsoleto y completamente incompetente, y los intentos para construir un reemplazo (Lotus 76) se habían encontrado con el fracaso.
Colin Chapman dijo en ese tiempo: ***"Me senté y pensé realmente acerca de lo que queremos, y encontré que la respuesta era un carro ala..."***
El recopiló en un documento de 27 páginas especificando los requerimientos y se los entregó al Director de Ingeniería Tony Rudd para que creara un nuevo departamento que se encargaría de la investigación y el desarrollo. Esto sucedía un mes antes del lanzamiento del Lotus 77.

Rudd había estado en BRM, y había sido responsable de muchos de sus finos automóviles y diseños. En 1969 justo antes de que se retirara, él y su aerodinamista asistente Peter Write tenían el concepto de carro ala en sus principios de desarrollo. Después en 1975 Rudd, Write y Ralph Bellamy discutieron la propuesta de Chapman en detalle. La filosofía básica era simple: usar la parte inferior del carro para generar presión hacia el suelo a medida que se movía a través del aire, de manera similar a las alas (spoilers) que se utilizan para generar presión.

El Lotus 78 se terminó en el verano de 1976, y fue completamente probado antes que comenzara la temporada de 1977.
El concepto funcionó, pero solo generaba el 75% de lo calculado. Según Mario Andretti el Lotus 78 circulaba ... como si estuviera pintado sobre la pista....
Uno de los problemas que presentó el Lotus 78 era que mientras era muy rápido en las curvas, su desempeño no era el mejor en las rectas. Esto, sumado con

problemas de confiabilidad y errores de pilotaje hicieron que Lotus perdiera el campeonato de constructores ese año.

Para el principio de la temporada de 1978, el Lotus 78 seguía en la batalla, mientras el Lotus 79 se terminaba de desarrollar. El punto clave del Lotus 79 fue encontrar el 25% de Downforce que faltaba.
Esto fue realizado mejorando el flujo de aire a través de faldones laterales. Al mismo tiempo otros equipos también experimentaron el efecto suelo, el resultado más exitoso fue el Brabham BT46B llamado carro ventilador.
El Lotus 79 fue mucho mejor que el 78, como lo demostró Andretti al hacer la Pole Position en Zolder con un segundo de ventaja sobre el segundo puesto.
Ese año Lotus consiguió ganar el campeonato de pilotos y el de constructores.

Desgraciadamente el efecto suelo tuvo un revés en la temporada de 1979, pues era razonable que al aumentar el área superficial inferior se incrementara el agarre y por ende se lograran mayores velocidades. El Lotus 80 se construyó bajo esa intuición pero desgraciadamente resulto incompetente. Lotus hizo el 79 más rápido, pero los otros equipos también habían evolucionado y el 79 perdió confiabilidad y Lotus perdió forma.

En la actualidad el efecto suelo esta prohibido en la Formula 1, pero se sigue utilizando en otras categorías del automovilismo y en vehículos de alto rendimiento.

TIPOS DE ALERONES
Cuando irrumpieron los alerones se cargaba al tren delantero con la misma estructura que al tren trasero, aunque este elemento tenía dimensiones menores. Lógicamente fue prohibido por razones de seguridad ya que en caso de desprenderse haría impacto sobre la cara del conductor. También hubo elementos móviles, como el del americano Jim Hall con su Chaparral o el experimento criollo de Caldarella, cuya estructura servía de freno aerodinámico.

Siempre que estos elementos "crecieron" se los prohibió. Algunas veces por razones de seguridad, otras por querer limitar un poco las velocidades o, como en el caso actual del TC 2000, para hacerlos un poco indóciles e incentivar el espectáculo.

Algunos autos muy deportivos lo traen de fábrica. Una marca que los utiliza con asiduidad es Porsche, haciéndolo en este momento con el 911 GT2, que posee un gran alerón retráctil que sale de la tapa del motor cuando el supera cierta

velocidad. Una vez reducida la misma, recupera la posición inicial.

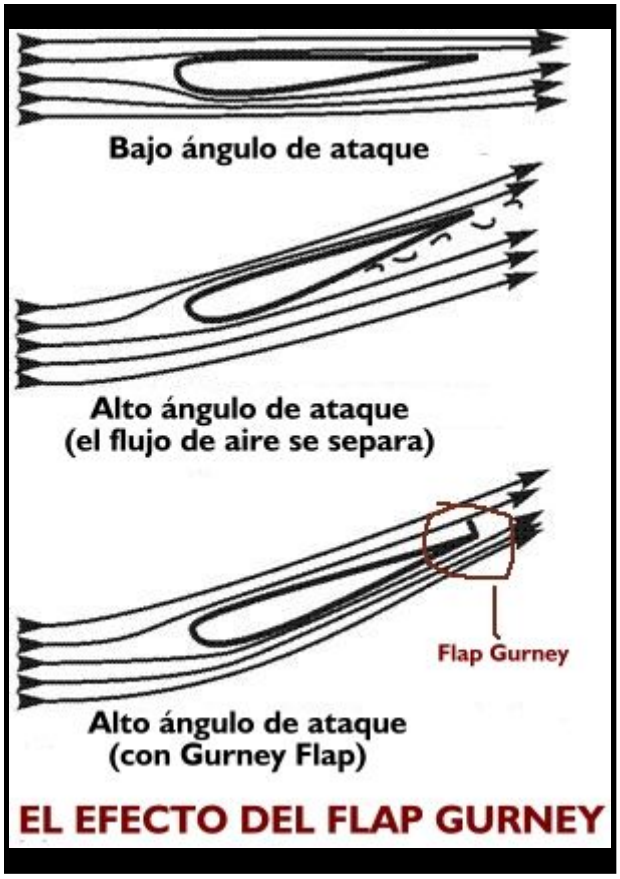
En los inicios de la aplicación de los alerones se respetaban los perfiles usados en aeronáutica, pero a partir de mediados de la década del '70, los diseñadores comenzaron a desarrollar perfiles automovilísticos. Esto se debe en gran parte a que el avión viaja en el aire, libre de interferencias a una altura dada; un auto lo hace rodeado de una carrocería que crea turbulencias y muy cerca del piso. Además, las dimensiones de las alas del avión son libres, no así las de un auto de competición donde sus dimensiones se encuentran reglamentadas.

Normalmente se utiliza un plano y un flap con el que se regula la carga aerodinámica, manteniendo el ángulo de ataque del perfil alar. Estos alerones de un solo plano en su borde de fuga, llevan adosados un pequeño perfil que fue utilizado por primera vez por el americano Dan Gurney; con ello se logra acelerar las partículas de aire que pasan por debajo del ala invertida, creando de esa manera mayor depresión e incrementando un poco más la carga aerodinámica.

EL "GURNEY FLAP"

A este pequeño perfil se lo llama "Gurney Flap" (tambien conocido como "*nolder")* y no debe sobresalir más de 10 milímetros de la superficie del flap. En caso contrario, comienza a producir turbulencias no deseadas.

El efecto que se consigue mediante el "Gurney Flap" puede observarse mediante las tres figuras siguientes:



Pero ¿Qué es en realidad el Gurney?

Cualquiera que haya observado el Campeonato de la IRL en TV. ha escuchado al relator desde los boxes decir que un miembro del equipo ha hecho cambios en el "Gurney" durante una parada técnica.

Yo he escuchado a Gary Gerould -uno de los mejores periodistas de la TV estadounidense- explicar que el "Gurney" es un dispositivo que los equipos utilizan para ajustar la fuerza hacia abajo provocada por el viento.

Gerould está por supuesto en lo correcto, pero en términos aerodinámicos el "Gurney" tambien llamado "Flap Gurney" es un Borde flujo (borde trasero de la superficie aérea, ya sea el ala o la hélice). Es sabido que los aviones usan flaps para incrementar la sustentación en el momento del despegue o el aterrizaje

El Eagle de Dan Gurney fué el primero en usar borde de flujo en las Indy 500 de principios de los '70, y su nombre le fue asignado al dispositivo.

Un flap Gurney mejora el desempeño del aire ante grandes ángulos de ataque del alerón. En los croquis de mas arriba puede observarse lo que sucede.

La primera de las imágenes (arriba) muestra la parte de arriba del flujo de aire, la cual genera downforce (Fuerza hacia abajo) . El aire se acelera al pasar alrededor de la parte redondeada del perfil produciéndose una depresión. Si la velocidad del aire fuera escasa no provocaría ningún efecto dinámico.

El aire que circula despacio está ante una alta presión y provoca una fuerza hacia abajo en la superficie alar. La fuerza que el viento produce depende de la superficie de sustentación, del area del perfil y del cuadrado de la velocidad de circulación del aire

La segunda imagen muestra el flujo de aire ante un gran ángulo de ataque. Cuando los ángulos de ataque son elevados. el aire está impedido de copiar el contorno de la cara donde el aire circula mas lentamente y se separa perjudicando la eficiencia del ala. como resultado de esto la fuerza hacia abajo decrece y la resistencia al viento aumenta.

Un pequeño labio ubicado en el borde de flujo, tal como se muestra en la tercera de las figuras, provoca una baja presión justo detrás, la cual literalmente succiona al flujo hacia la superficie alar. El Flap Gurney causa un incremento en la resistencia al aire pero el flujo de aire puede recorrer el perfil aun con altos ángulos de ataque produciéndose mayor downforce.

Es posible solamente colocar un alerón de dimensiones limitadas ya que la mayoría de los reglamentos limitan las dimensiones de éste. Un diseñador tratará de conseguir la mayor downforce posible que le permita el reglamento

El Flap Gurney proporciona gran downforce pues posibilita lograrla con elevados ángulos de ataque de alerón

El Flap Gurney tambien es usado como un ajuste fino a las fuerzas hacia abajo generadas. Variando la altura del flap se ajusta el down force y la resistencia al viento, por supuesto, y los equipos de competición arbitran los medios para regular esta altura de la manera mas rápida posible.

LO ÚLTIMO EN APROVECHAMIENTO DEL "GURNEY FLAP"

En esta cuestión, lo último en el uso de esta tecnología se ha visto en un alerón desarrollado por el constructor argentino Alberto Canapino (http://www.canapino.com) quien ha construído unos alerones para los autos de la categoría Turismo de Carretera que aprovechan el efecto del Flap Gurney, pero multiplicado.

El alerón de Canapino en el Ford de TC de Juan Manuel Silva

En éste tipo de alerón, se produce la suma vectorial de los sucesivos efectos Gurney que se producen en cada "escalón", lograndose un efecto multiplicador que optimiza los resultados.

Entre los constructores de nuestra zona nordeste de Argentina podemos mencionar a Sugar Sanchez del taller "Sugar Performance" (http://www.sugarsanchez.com.ar) quien tambien ha construído un alerón similar aunque con dimensionamiento acorde a las velocidades desarrolladas por un TC4000 (muy inferiores a las de un TC).

El alerón construido por Sugar para el Ford de TC4000 de Luis Gebhard

LOS FANTÁSTICOS PORSCHE 917 Y SUS ALERONES MÓVILES

En el año 1969 la fábrica Porsche presentó su modelo 917 con motor de 12 cilindros y 600 HP para competir en la categoría Sport del Campeonato Mundial de Marcas. Sus rivales eran por ese entonces, los Ford GT40, las Ferrari 512 y 312, los Alfa Romeo, y los Lola entre otros.

Porsche había realizado experimentaciones verdaderamente concienzudas sobre el tema de alerones y sus conveniencias. Por ejemplo, en 1966, mientras se construía la cola larga para los autos que participarían en Le Mans, Porsche realizó en *Hockenheim* experiencias muy interesantes con un Carrera 6 dotado de alerones anteriores y posteriores regulables, accionados por el piloto. Las mediciones efectuadas a lo largo de 200 m. en una curva de unos 120 km/h de velocidad de recorrido, dieron los siguientes resultados:

- Carrera 6 normal - aceleración lateral en curva: 109% (se considera 100% el equivalente a 1g (vale decir 9,8 m/seg²).
- Carrera 6 con spoiler anterior y posterior - aceleración lateral en curva: 111,3%
- Carrera 6 con alerones anteriores y posteriores sobre el lado externo de la curva - aceleración lateral en curva: 110%
- Carrera 6 con alerones anteriores y posteriores sobre el lado interno de la curva - aceleración lateral en curva: 111,3%

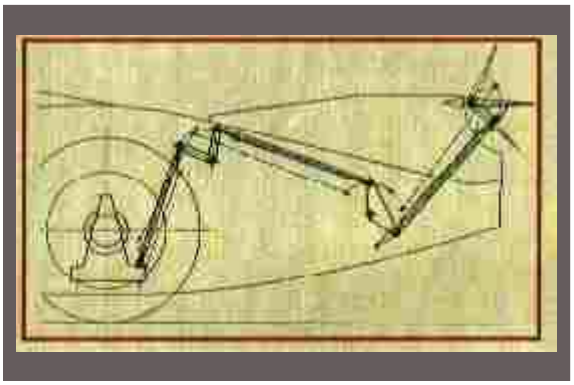
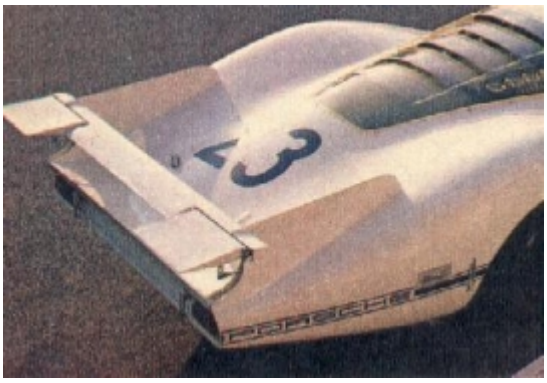
Como puede verse, la diferencia resultó sensible. A su vez se midió en túnel de viento la variación del coeficiente aerodinámico Cw ocasionada por el uso de spoilers.
Los resultados fueron los siguientes:

- El Carrera 6 sin alerones tiene un Cw de 0,354.
- con todos los alerones, el Cw aumenta a 0,487.
- con alerones anteriores, nada más, Cw 0,383 y
- con alerones posteriores, nada más, Cw 0,464

Las diferencias eran bastante grandes, y de allí surgió la necesidad de usar alerones anteriores y atrás spoilers comandables por las suspensiones para evitar el aumento de Cw en las rectas.

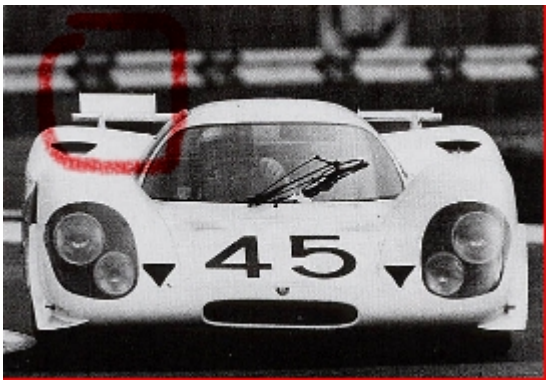
Y lo hizo..

Porsche realizó una innovación aerodinámica revolucionaria: dotó a los 917 de alerones móviles dependientes de la suspensión del auto, de manera que la incidencia de los alerones dependía del movimiento de la misma.

El sistema provocaba que cuando el auto doblaba hacia un lado, el alerón correspondiente a ese lado del auto adoptara una posición de gran carga de manera de estabilizar el auto.

En las siguientes fotos, puede observarse como actuaban dinámicamente los alerones al momento de doblar



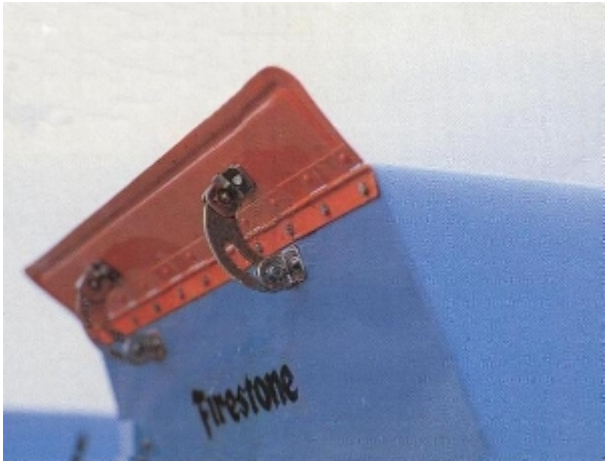
La casa Porsche consideró conveniente reglamentar de alguna forma el uso de la aerodinámica y elevó a la F.I.A. una serie de normas que deberían respetarse:

- Cualquier aplicación aerodinámica debe ser "orgánica" y congruente con la carrocería. No debe superar la altura del parabrisas ni disminuir para nada la visibilidad.
- En caso de accidente, ni el piloto ni el público deben estar en peligro a causa de tales dispositivos externos.
- La maniobrabilidad de un vehículo no debe ser muy influenciada en caso de eventual rotura del dispositivo.
- No tiene que haber posibles errores de maniobras del dispositivo durante la conducción.
- El dispositivo aerodinámico debe actuar tanto en el frenado como en la "ayuda" de sustentación en la zona posterior de turbulencia aerodinámica del coche.

Pocos podrían suponer sin embargo el escándalo que tendría oportunidad en la carrera de *Le Mans* cuando se prohibieron todos los alerones móviles y Porsche insistió hasta poder usar los suyos. Ellos sostenían que si había gente que trabajaba mal (o que simplemente no lo hacía), Porsche no tenía la culpa.

Parte de razón les asistía, pero finalmente la ***F.I.A.*** los prohibió y con la sola excepción de ***Le Mans*** en ninguna otra competencia se los pudo utilizar.

En la foto de abajo puede verse la solución adoptada por **Porsche** luego de la prohibición.



Bibliografía y Referencias:

- SAE Automotive Engineering international. February 2001- Pág124-128
- http://aerodyn.org.
- http://www.ferrari.com
- http://www.jpslotus.org
- http://www.porsche917.com.ar

Investigación: Ingº Juan Gebhard

rivhard@gigared.com