



En el túnel de viento

IMPORTANCIA DE LA AERODINÁMICA EN EL DISEÑO DE CARROCERÍAS

EN EL **DISEÑO** DE TODO NUEVO VEHÍCULO SE PARTE DE UNA SERIE DE REQUERIMIENTOS: REGLAMENTACIÓN, SEGURIDAD, LIGEREZA, MEDIOAMBIENTE, AERODINÁMICA, RESISTENCIA, ESTÉTICA, HABITABILIDAD, COSTES, ETC. MÚLTIPLES FACTORES QUE, EN MUCHOS CASOS, DAN LUGAR A REQUISITOS CONTRADICTORIOS; POR ESTA RAZÓN, ENCONTRAR EL **EQUILIBRIO ENTRE LO ESTÉTICO Y LO TÉCNICO** ES UN DESAFÍO QUE DEBEN AFRONTAR LOS DISEÑADORES DE AUTOMÓVILES.

DE LA **CALIDAD AERODINÁMICA** DEL VEHÍCULO DEPENDEN CUESTIONES COMO LAS PRESTACIONES, LA ESTABILIDAD, LA ADHERENCIA AL SUELO Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE, ENTRE OTRAS. EL DISEÑO DE LA PROPIA CARROCERÍA JUEGA UN PAPEL FUNDAMENTAL

Por Francisco J. Alfonso Peña

La aerodinámica es la parte de la mecánica que se encarga de estudiar el movimiento relativo entre un sólido y el fluido gaseoso (generalmente aire) que lo rodea, determinando las presiones y fuerzas que se van a generar. Abarca diferentes rangos de velocidades, dependiendo de si la velocidad del elemento objeto de estudio está por debajo o por encima de la velocidad del sonido en el aire. En el caso del automóvil nos encontramos en el régimen bajo subsónico (número de Mach $< 0,3$). En este campo son aplicables los mismos principios aerodinámicos que permiten a un avión volar, con la única diferencia de que el *perfil aerodinámico* del automóvil ha de producir una fuerza resultante hacia el suelo, fuerza de adherencia, en lugar de una fuerza de sustentación hacia arriba.

ORIGEN DE LAS FUERZAS AERODINÁMICAS

Cuando en un proceso mecánico interactúan dos sólidos, las fuerzas se aplican y transmiten en el punto de contacto. Pero cuando un sólido interactúa con el aire, en las moléculas del aire próximas al mismo se produce una distorsión, comenzando a moverse alrededor del sólido. El aire cambia de forma, fluyendo alrededor del sólido y manteniendo un contacto físico en todos sus puntos. Por ello, el "punto de contacto" de las fuerzas aerodinámicas generadas son todos y cada uno de los puntos de la superficie del cuerpo. La magnitud de dichas fuerzas va a depender tanto del aire como del sólido, en nuestro caso el automóvil. Dos son las propiedades fundamentales del aire a tener presentes: su viscosidad y su densidad o, lo que es lo mismo, su compresibilidad. En el caso del automóvil ha de considerarse su forma, su rugosidad superficial, el área de contacto con el aire y, sobre todo, la velocidad relativa entre éste y el aire. Todo esto se traduce en que, sobre cada punto de la superficie del automóvil, estén presentes un par de fuerzas, una **fuerza de presión**, normal a la superficie del cuerpo, debido a la velocidad relativa entre ambos, y una **fuerza de rozamiento**, tangente a la superficie del cuerpo, debida a la viscosidad del aire.

Fuerzas de presión

En todo fluido existen tres tipos de energía: la potencial (por cota o altura), la cinética (por velocidad) y la de presión; y, además, sabemos que en todo proceso la cantidad total de energía ha de conservarse, es decir, la suma de esas tres energías ha de permanecer constante. Esto permitió establecer el *Principio de Bernoulli* (Daniel Bernoulli, Groningen 1700-Basilea 1782), que viene a decir que en un fluido en movimiento la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante, por lo que si se aumenta la velocidad disminuye la presión, y a la inversa. Lo cual es sumamente interesante, pues permite establecer una distribución de presiones a partir de una distribución de velocidades y viceversa. Si sumamos todas las fuerzas de presión que actúan sobre los diferentes elementos de superficie obtenemos, como resultante, una fuerza neta total, que estará aplicada

en un punto imaginario, denominado *centro de presiones*. Si establecemos la dirección de movimiento del fluido (o automóvil) y descomponemos esa fuerza neta en dos componentes, en la dirección de dicho movimiento y en su perpendicular, tenemos que la primera de esas componentes, llamada **fuerza de arrastre** (arrastre inducido) se opone al avance del vehículo y la segunda, llamada **fuerza de adherencia o sustentación**, hace que el vehículo se adhiera o tenga tendencia a separarse del suelo.

Fuerzas de rozamiento

Si sumamos todas las fuerzas de rozamiento que actúan en los diferentes elementos de superficie obtenemos una resultante total, aplicada en dicho *centro de presiones*. Si la descomponemos en las dos direcciones anteriores, obtenemos en la dirección de movimiento del fluido una **fuerza de arrastre** que se opone al desplazamiento del vehículo. La resultante en la dirección normal suele ser despreciable, pues si el vehículo presenta cierta simetría suelen ir compensándose las de un punto con las del punto opuesto.

COEFICIENTES Y FUERZAS AERODINÁMICAS

Dada la complejidad de los efectos del aire sobre el vehículo y con la finalidad de facilitar su estudio, se hace depender dichas relaciones de una única variable (coeficiente) que permita, de una forma sencilla, conocer los efectos que resulten presentes. Normalmente, el valor de estos coeficientes se determina de forma experimental en un entorno controlado (túnel de viento), en el que se puede conocer la velocidad, la densidad del aire, el área de referencia (factor de forma) y el arrastre y la sustentación producida sobre un cuerpo conocido (modelo).

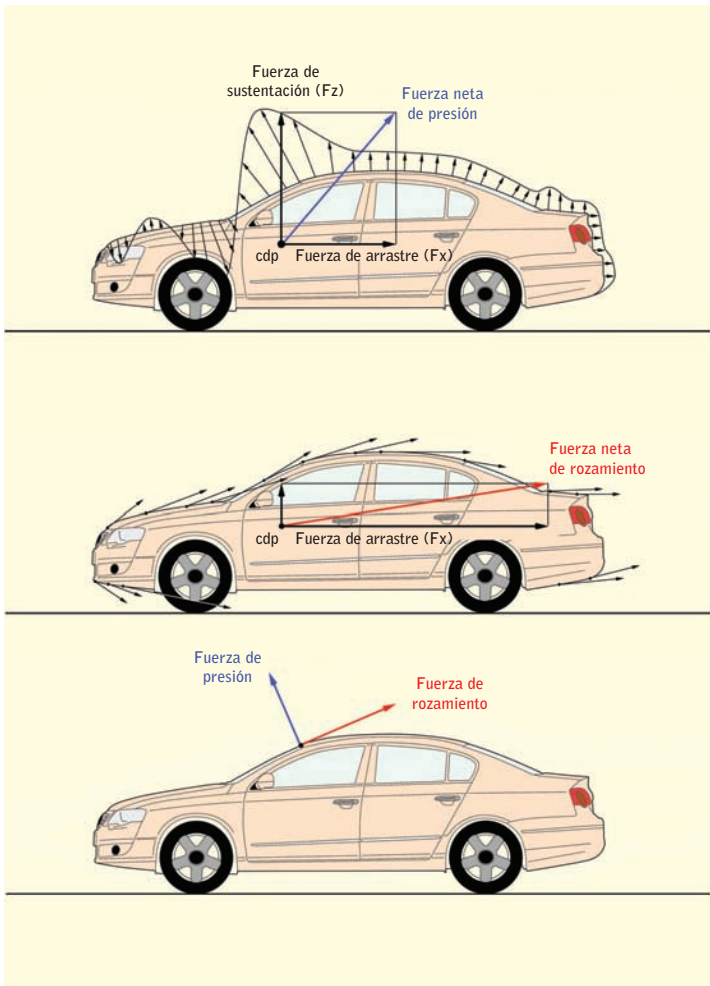
También se pueden determinar de forma teórica, haciendo uso de ordenadores para resolver las ecuaciones de la mecánica de fluidos. Los programas de simulación

permiten, así →



Los vehículos de elevadas prestaciones son más sensibles a los efectos aerodinámicos

Origen de las fuerzas aerodinámicas



Estos coeficientes permitirán predecir los efectos aerodinámicos sobre un cuerpo dado (prototipo) a partir de las mediciones obtenidas sobre el modelo conocido. Para ello, deberán cumplirse determinados parámetros de similitud como: similitud geométrica, cinemática y dinámica y, además, similitud en el número de Reynolds (Re), pues, a bajas velocidades, como en el caso del automóvil, son mucho más importantes los efectos de la viscosidad que los de la compresibilidad.

Los coeficientes más importantes en este campo son el coeficiente de arrastre (C_x) y el coeficiente de sustentación (C_z), que se determinan por una simple división entre las fuerzas correspondientes, fuerza de arrastre (F_x) o fuerza de sustentación (F_z), y el producto de la presión dinámica por una superficie de referencia. Valores todos ellos conocidos en ese entorno controlado.

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot S}$$

Donde: C_x = Coeficiente de arrastre
 F_x = Fuerza de arrastre
 ρ = Densidad del aire
 V = Velocidad
 S = Superficie frontal de referencia

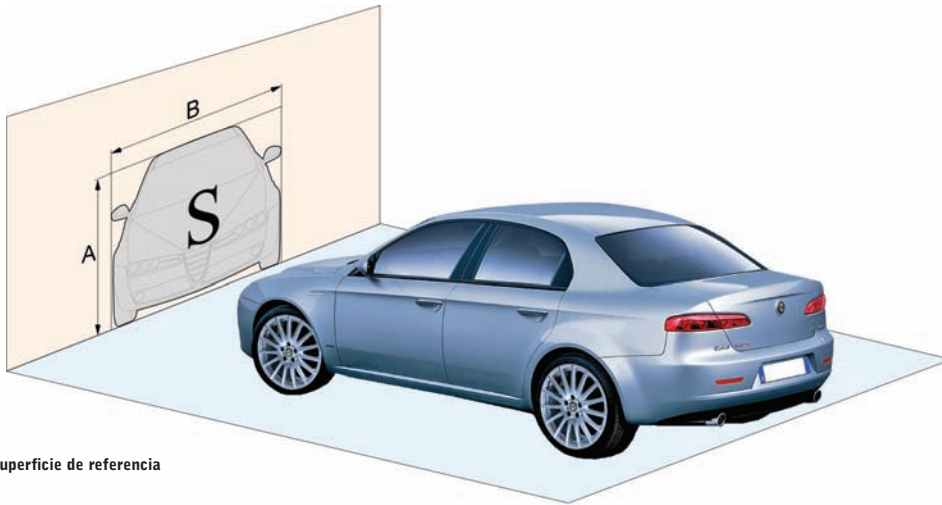
↓
 mismo, optimizar el diseño de los automóviles desde el punto de vista aerodinámico, sin pretender sustituir los túneles de viento, sino más bien complementarlos.

En principio, la superficie de referencia puede ser cualquiera del vehículo; lo habitual es tomar la superficie frontal proyectada del vehículo $S = 0,80$ a $0,85 \cdot (A \cdot B)$. Los coeficientes aerodinámicos son un número adimensional, que nos permite

La parte trasera tiene una influencia aerodinámica más importante que la delantera

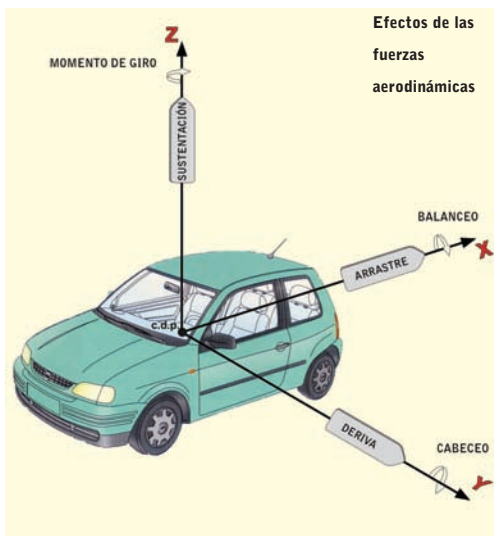
ELEMENTOS DEL VEHÍCULO CON INFLUENCIA AERODINÁMICA

- Paragolpes delantero:** Disminuir su altura es beneficioso. Ha de evitar que pase mucho aire por los bajos del coche.
- Capó delantero:** Contribuye a reducir el C_x . Desvía el viento a los laterales, reduciendo el aire que incide sobre el parabrisas.
- Parabrisas:** Abombados, redondeados y suavemente unidos a los cristales laterales. Su inclinación disminuye el C_x , con un límite práctico en los 60° .
- Tapacubos:** Lisos y sólo con los agujeros imprescindibles para la refrigeración de los frenos.
- Retrovisores:** Verdaderos aerofrenos. Con una forma redondeada y con la parte trasera más pequeña que la delantera facilitarán el paso del aire.
- Baca:** Nefasta para la aerodinámica. Mejor con barras perfiladas y colocarla en la parte trasera cuando no se esté utilizando.
- Bajos del vehículo:** Muchos vehículos presentan un carenado en el hueco motor, que puede extenderse a todos los bajos. Este carenado pega más el coche al firme.
- Parte trasera:** Las depresiones que se producen en la estela del vehículo se traducen en un efecto de succión que frena más al vehículo que las sobrepresiones de la parte frontal. Por ello, se estrecha la forma de los costados hacia atrás y se cuida la unión entre el techo y la luneta trasera. Una regla de oro es evitar una pendiente de de la luneta trasera entre 25° y 40° .



Superficie de referencia

Los deflectores delanteros anulan la sustentación y eliminan gran parte de las turbulencias debajo del vehículo; los spoilers traseros aumentan la adherencia



conocer el grado de eficiencia del perfil, pero nada más. Para poder comparar las diferencias entre la eficacia aerodinámica de distintos automóviles, lo más apropiado es comparar el producto $C_x \cdot S$, que tendrá normalmente unidades de m^2 . Lo ideal es que dicho producto sea lo más bajo

posible. De este modo, no sólo se tendrá en cuenta el perfil del vehículo, sino también su tamaño. Existe una tercera fuerza, denominada **fuerza de deriva (F_y)**, que actúa en la dirección transversal del vehículo, influyendo sobre su estabilidad cuando hay presente viento lateral. Las notaciones X, Y, Z dependen de las coordenadas de referencia adoptadas sobre el vehículo. El hecho de que estas fuerzas aerodinámicas se encuentren aplicadas en el centro de presiones, punto imaginario que no coincide con el centro de gravedad del vehículo, hace que las mismas den lugar a unos momentos aerodinámicos, denominados **giro, balanceo y cabeceo**, como se puede ver en la imagen adjunta. La fuerza de arrastre tiene una incidencia directa en la velocidad y en el consumo de combustible y la fuerza de sustentación en la adherencia del vehículo ✘



PARA SABER MÁS

- ▶ Nasa, National Aeronautics and Space Administration
www.nas.nasa.gov/About/Education/Racecar/aerodynamics.html
- ▶ Estudios avanzados sobre aerodinámica
www.aerodyn.org/Annexes/Roadv/roadv.html
- ▶ Estudios sobre la aerodinámica de vehículos rodantes
www.dd.chalmers.se/~gullberg/rvad/index.htm
- ▶ Cesviteca, nueva biblioteca multimedia
www.cesvimap.com
- ▶ www.revistacesvimap.com