



¿Fórmula 1 para todos?

La transferencia tecnológica de la F1 a los automóviles convencionales

La Fórmula 1 es conocida como la cumbre del automovilismo deportivo. Detrás de una envoltura de glamour, espectáculo e ingentes cantidades de dinero, se esconde uno de los sectores tecnológicamente más avanzados que existen. Es, sin duda, todo un placer admirar los formidables monoplasas de la categoría y descubrir sus impresionantes características técnicas. Sin embargo, desde una perspectiva global, no sólo deportiva, surgen algunas preguntas muy relevantes: ¿qué papel desempeña la Fórmula 1 en el sector de automoción en general?, ¿existe de verdad una transferencia tecnológica palpable entre la Fórmula 1 y los coches que todos conducimos?



Isaac Prada y Nogueira

Ingeniero Industrial del ICAI (2005). Investigador en FIDAMC (Fundación española para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos-EADS). Colaborador con Renault F1.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Desde sus inicios la F1 ha contado con el respaldo de un buen número de marcas de coches, como Alfa Romeo, Ferrari, Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Honda o Renault, entre otras. Los elevados presupuestos de las escuderías más poderosas que compiten actualmente en la Fórmula 1 (que rondan los 400 millones de dólares por temporada) sólo pueden cubrirlos los fabricantes de coches,

mientras que los equipos privados, sin patrocinio de ninguna marca, suelen tener dificultades financieras o bien han de conformarse con los últimos puestos en parrilla.

Uno de los motivos fundamentales que expresan las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplasas a los automóviles de calle.

Si bien es importante indicar que la Fórmula 1 es una potente forma de publicidad, no debemos olvidar que sin una transferencia tecnológica relevante para los coches de calle, muchas marcas no apoyarían con su dinero a las escuderías y la Fórmula 1 tal y como la conocemos hoy correría un grave peligro.

Este artículo pretende ofrecer una visión detallada de las aportaciones y los avances que la F1 ha supuesto realmente para nuestros automóviles en una serie de apartados que el autor considera de especial relevancia.

Antes de comenzar es fundamental señalar que, aunque tanto un monoplace de competición como un coche convencional son automóviles con muchos elementos comunes, los objetivos de diseño son tan distintos que los compromisos adoptados por los ingenieros en uno y otro caso pueden ser radicalmente diferentes. A pesar de ello se puede producir una transferencia tecnológica bastante fructífera entre los dos campos.

Electrónica

En la actualidad una de las áreas que más evolución experimenta en los automóviles es la electrónica, tanto para sistemas que buscan aumentar la seguridad (ABS, control de estabilidad, etc.) como para sistemas que tienen otras funciones, como puede ser optimizar el funcionamiento de distintos dispositivos del vehículo (unidades de control del motor, etc.). Gran parte de los avances en electrónica han venido de la mano de sistemas que se han probado primero en la Fórmula 1 y, como es habitual, se han ido introduciendo en los coches de alta gama y deportivos para posteriormente aparecer en coches de gama media y baja. En otros casos, si bien los sistemas han aparecido antes en los automóviles convencionales, normalmente de las gamas de lujo, el papel de la Fórmula 1 ha sido el de permitir el desarrollo y la rápida evolución de los dispositivos, al autorizar la normativa su uso en los monoplaces.

Sin embargo, las nuevas normas para 2008 imponen unidades de control electrónico estándar para todas las escuderías. De esta forma se paraliza gran parte de la investigación que se hacía en Fórmula 1 en este campo y

desaparecen diversas ayudas electrónicas con las que contaban los pilotos.

Uno de los equipos de Fórmula 1 que tiene fama de contar con una electrónica eficiente es BMW. Para Mario Theissen, director de BMW Motorsport, la investiga-

“Uno de los motivos fundamentales de las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplaces a los automóviles de la calle”

ción que se hace en la Fórmula 1 en el campo de la electrónica tiene una gran utilidad para el resto de automóviles de la marca. BMW se opuso a la introducción de la electrónica estándar que ha forzado la Federación Internacional del Automóvil (FIA¹). Las razones de la marca alemana han sido que, en primer lugar, este paso supone un gran coste para adaptar los bancos de ensayo y todos los sistemas del monoplace a los nuevos controles electrónicos y, en segundo lugar, que no permitirá sacar todo el partido posible a las distintas tecnologías que se encuentran en cada coche puesto que las escuderías no van a poder optimizar la electrónica para sus propios sistemas y van a tener que usar la versión estándar o aproximadamente estándar. Esta medida reduce la investigación en el campo de la electrónica en Fórmula 1 e impide los avances tan importantes que esta investigación permitía en el terreno del vehículo convencional.

Tomemos dos ejemplos concretos, las unidades de control electrónico de los nuevos sistemas de frenada regenerativa y el control de tracción, que es el cambio fundamental para la temporada 2008.

La frenada regenerativa se ha permitido en la Fórmula 1 para aprovechar el ritmo vertiginoso de investigación de este deporte y conseguir con ello desarrollar esta tecnología para su rápida introducción en los coches de calle. Este tipo de sistemas conseguirán reducir el consumo, y por tanto las emisiones contaminantes, de los vehículos del futuro.

El objetivo de la frenada regenerativa es evitar disipar la energía cinética del vehículo

⁽¹⁾ Organismo encargado de elaborar las normas tanto técnicas como deportivas para multitud de competiciones de motor; entre ellas la Fórmula 1 y el World Rally Championship.



Figura 1. Mercedes-Benz 500 SE (W126 de la clase S), 1979, versión de EE UU.

en forma de calor en los frenos y conseguir almacenar parte de esta energía en algún dispositivo para su posterior utilización como complemento a la energía que proporciona el motor (se alcanzarían hasta unos 100 CV adicionales durante entre cinco y diez segundos²).

La gestión eficiente de los flujos de energía entre el dispositivo que la almacena, el motor y las ruedas tractoras y, en suma, la optimización del funcionamiento de un sistema de frenada regenerativa requieren de una electrónica cuidadosamente desarrollada y adaptada al sistema particular que lleve cada modelo de vehículo. La introducción de unidades electrónicas estándar en la Fórmula 1 para el control de estos dispositivos probablemente impida aprovechar al máximo las posibilidades de la frenada regenerativa, al tiempo que provocará una disminución de los recursos que los equipos destinan a investigar y desarrollar la electrónica que controla este sistema, con las consecuencias que esto puede acarrear para la evolución de las versiones incorporadas en los vehículos convencionales.

Control de tracción

El control de tracción merece un epígrafe aparte porque es para muchos la muestra más relevante de la transferencia tecnológica entre la Fórmula 1 y los automóviles de calle. Si bien es cierto que el control de tracción hizo su aparición de la mano de Mercedes-Benz con su W126 de la clase S en 1979 (Figura 1), mientras que en la Fórmula 1 las primeras versiones, al menos las conocidas, son

de los ochenta, la investigación en las escuderías ha permitido el rápido desarrollo de los sistemas comerciales.

Analicemos brevemente el principio de funcionamiento del control de tracción. Este sistema tiene como objetivo impedir que las ruedas tractoras derrapen y en ocasiones avisar al piloto o conductor del inicio de esta circunstancia.

Si tratamos de acelerar las ruedas por encima de un cierto valor, que depende de factores como las condiciones del asfalto, el tipo de neumáticos o, especialmente en la Fórmula 1, de la carga aerodinámica que presione al monoplaza contra el circuito, se produce una pérdida de adherencia y las ruedas derrapan. Los neumáticos de un vehículo se ven sometidos a dos tipos de aceleración, una es la longitudinal debida a aceleraciones y frenadas y otra la lateral que aparece fundamentalmente cuando se circula por una curva. El nivel de adherencia entre neumático y carretera que exige esta combinación de acciones longitudinales y laterales no puede superar un cierto límite para evitar precisamente la pérdida de adherencia y el consiguiente deslizamiento de la rueda (la adherencia total que se le exige a un neumático, combinación de la adherencia longitudinal y transversal, debe situarse dentro de la denominada *ellipse de adherencia*).

“Los coches de la calle también poseen control de tracción, sistema que en los monoplazas tiene como misión lograr la estabilidad del vehículo”

Cuando los neumáticos derrapan se produce un desgaste mayor y el tiempo por vuelta aumenta. Esto es lo que se pretende evitar con el control de tracción, cuyo objetivo es permitir siempre enviar a las ruedas la máxima potencia posible. Para detectar si las ruedas derrapan se emplean sensores que comparan la velocidad de éstas con la de movimiento del vehículo (tanto en los monoplazas de Fórmula 1 como en coches de calle). Si la rueda gira más rápido de lo que debería en función de la velocidad del monoplaza es que hay derrape y entonces se reduce la potencia del motor hasta que la rueda deje de deslizarse³. Sistemas similares al

⁽²⁾ El autor es algo menos optimista que la FIA sobre esta cifra, al menos durante unos años.

⁽³⁾ El control de tracción puede realizar otra serie de acciones, no únicamente reducir la potencia del motor: El diseño y actuaciones concretas dependen del modelo de vehículo considerado.

control de tracción también se emplearon para que los coches tuvieran una mejor salida al comienzo de las carreras, aunque estos dispositivos están prohibidos en la actualidad. De hecho, como se indicó más arriba, los coches de calle también poseen control de tracción, y la diferencia respecto al sistema de los monoplazas es que en vehículos convencionales la misión del sistema es lograr la estabilidad del vehículo y no la máxima transmisión de potencia⁴.

En la Fórmula 1, el control de tracción ya ha sido prohibido en el pasado, pero la FIA lo reintrodujo en la Fórmula 1 en 2002 porque era muy complicado controlar que los equipos no estuvieran realizando las mismas funciones que el control de tracción a escondidas, por medio de las unidades de control electrónico del motor. Sin embargo, para 2008, la obligación de usar unidades electrónicas estándar hace más fácil prohibir el control de tracción y vigilar que ninguna escudería lo esté empleando de forma encubierta. La desaparición del control de tracción de la Fórmula 1 deja a la investigación en automóviles sin el constante aprendizaje de la competición para seguir desarrollando estos sistemas.

Aerodinámica

Prácticamente desde sus inicios la industria del automóvil tuvo en cuenta consideraciones aerodinámicas. Sin embargo, el objetivo principal era reducir el coeficiente drag del coche (un menor valor de este coeficiente supone una mejor penetración del vehículo en el aire, es decir una menor resistencia al avance). La definición matemática del coeficiente drag es⁵:

$$C_d = \frac{D}{1/2 \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot A}$$

donde D representa el drag propiamente dicho, es decir, la fuerza de resistencia aerodinámica que actúa sobre el vehículo en dirección longitudinal, ρ la densidad del aire, V_{∞} la velocidad del aire sin perturbar⁶ elevada al cuadrado y A el área de referencia (en automoción se suele tomar el área frontal del vehículo).



Figura 2. Dario Resta y su mecánico en el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916.

El objetivo de los diseñadores era, por tanto, reducir el valor del coeficiente drag para con ello disminuir el valor de la fuerza longitudinal que el vehículo debía vencer para avanzar.

Por ejemplo, el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916 tenía una parte trasera con forma ligeramente afilada, y no cuadrada como la parte delantera, para reducir el drag del vehículo (se adivina en la figura 2, no sólo en el Peugeot, coche 17, sino también en el que está a la derecha de la imagen).

Sin embargo, el principal salto cualitativo se produjo cuando los ingenieros de aerodinámica se empezaron a preocupar por el coeficiente lift, de definición análoga al coeficiente drag pero sustituyendo la fuerza aerodinámica longitudinal por la fuerza aerodinámica vertical. En concreto, el objetivo de los diseñadores era reducir el valor del coeficiente lift, e incluso hacerlo negativo, especialmente para coches deportivos. Con un lift negativo o downforce (fuerza que aprieta al vehículo contra el suelo) se están consiguiendo velocidades de paso por curva

⁽⁴⁾ En el ámbito de este epígrafe, una aportación clave de la Fórmula 1 a nuestros vehículos es el control de estabilidad. El control de tracción puede evitar el derrape de las ruedas de diversas formas, por ejemplo mediante la reducción de la potencia del motor o bien frenando ligeramente las ruedas adecuadas. En este último caso, también el ABS y los sistemas de control de estabilidad de las distintas marcas pueden actuar mediante la aplicación de pequeños pares de frenado sobre una o varias ruedas para mejorar la frenada o para evitar la pérdida de estabilidad.

⁽⁵⁾ En ocasiones se emplea el subíndice x en lugar de D para el coeficiente drag.

⁽⁶⁾ Velocidad relativa aire-vehículo. Por ejemplo, si el automóvil circula a 300 km/h la velocidad V_{∞} sería precisamente 300 km/h. Se habla de la zona del aire sin perturbar porque la velocidad relativa entre aire y coche en la zona próxima a la superficie del vehículo cambia por la interacción fluido-cuerpo.



Figura 3. Dodge Ram 2005, versión de calle.



Figura 4. Dodge Ram 2006, versión deportiva.

que pueden superar en más de tres veces las velocidades del mismo vehículo sin downforce.

La introducción de los distintos alerones tan típicos en un coche de competición actual se produce precisamente para lograr downforce (los vehículos convencionales tienen en general un lift positivo, es decir, al aumentar la velocidad la fuerza aerodinámica vertical es de sustentación y tiende a despejarlos del suelo, especialmente en la zona del eje trasero).

En el terreno de la aerodinámica, los coches de calle han heredado numerosos elementos de las lecciones aprendidas en la competición y, si bien en general no cuentan

con alerones ni con un suelo aerodinámico⁷, sí que han incorporado avances que permiten una mejor estabilidad del vehículo a elevada velocidad, cuando la aerodinámica es realmente importante, así como otras modificaciones para lograr un menor ruido aerodinámico en el habitáculo, menor acumulación de suciedad en los trayectos largos y una mayor eficiencia en temas como ventilación o refrigeración.

En las siguientes imágenes se incluyen algunos ejemplos de las mejoras aerodinámicas que los coches de calle han ido incorporando de la automoción deportiva.

En primer lugar, el Dodge Ram de 2005, tipo de vehículo muy común en EE.UU., incorpora un frontal redondeado que busca reducir el drag. En este tipo de vehículos, dos elementos que contribuyen a aumentar el drag son la cabina y el portón trasero. Este efecto se reduce cubriendo la parte descubierta del vehículo o abriendo el portón. En la versión deportiva de este modelo se aprecia una apariencia similar pero una parte trasera efectivamente cubierta y un portón trasero modificado para actuar de alerón. En la versión de calle se incorpora un pequeño alerón en la parte posterior, que tiene de todas formas un papel predominantemente decorativo.

La competición ha permitido en este caso aprender a emplear elementos en la versión de calle que reducen el drag, como es el frontal redondeado comentado.

Como segundo ejemplo se puede considerar el Chrysler Neon, que utiliza en el modelo de venta al público numerosos elementos de la versión deportiva (spoiler delantero, faldones laterales, etc.). Esto tiene por objeto, por un lado, mejorar su atractivo y aumentar las ventas, pero por otro lado, aumentar su estabilidad a alta velocidad, lo que incrementa notablemente la seguridad. Sobre este último aspecto es importante comentar que lo que permite esa mayor estabilidad es un diseño de vehículo en el que el centro de presiones coincide con el centro de gravedad o se encuentre lo más próximo posible. De esta forma la distribución del lift entre eje delantero y trasero es muy similar al reparto del peso entre los dos ejes, lo que proporciona la mayor estabilidad. En las imágenes se muestran las dos versiones del Chrysler Neon.

⁷⁾ Suelo se refiere a la parte inferior del coche, que en muchos vehículos de competición está tapada por una placa con forma aerodinámica, si las normas de la competición en concreto lo permiten, que contribuye a la generación de downforce.

Como último apunte sobre aerodinámica, es interesante comentar el caso del Honda Civic. Este vehículo, en cuyo diseño se emplean bastantes lecciones aprendidas en la Fórmula 1, carece curiosamente de limpiaparabrisas trasero, ya que el propio diseño se encarga de evacuar el agua de esta zona del coche (Figura 7).

Motor

El motor de un Fórmula 1 opera en unas condiciones muy distintas y mucho más exigentes que el motor de un vehículo convencional. Sin embargo, el objetivo de la competición es, al menos según la FIA, hacer que la investigación sobre los motores de los monoplazas sí tenga utilidad para los motores del resto de automóviles. Para ello, por ejemplo, se han reducido las revoluciones máximas hasta 19.000 r.p.m., que de todas formas sigue muy lejos del régimen máximo de un motor normal.

El hecho es que la investigación sobre motores, no sólo en la Fórmula 1, sino también en otras competiciones deportivas, ha servido en algunas ocasiones para contribuir al avance de los diseños de los automóviles de alta gama e incluso a veces de los vehículos en general. Sirva de ejemplo el caso de Audi, marca que, si bien no participa en la Fórmula 1, sí lo hace en otras competiciones como las 24 Horas de Le Mans. Como destacaba un portavoz del fabricante alemán, Josef Schlossmacher, los motores especiales turbo combinados con inyección directa que se emplearon en 2001 en la competición se han introducido con éxito en varios modelos de venta al público.

Combustible

Según las normas actuales de la Fórmula 1, los combustibles deben estar basados en compuestos comerciales habituales, para así acercar la investigación que se lleva a cabo en competición a los desarrollos de los combustibles convencionales. Ya no se permiten las mezclas que hace años lograban superar la barrera de los 1.000 CV de potencia en los motores de los monoplazas.

En concreto, desde ELF, que proporciona el combustible al equipo Renault F1, indican que los motores convencionales se han beneficiado de la investigación que en Fórmula 1 se ha llevado a cabo por ejemplo sobre algunos fluidos que permiten un mayor ahorro de energía. También la Fórmula 1 ha aprendido de la investigación en



Figura 5. Chrysler Neon, versión de call



Figura 6. Chrysler Neon, versión deportiva.

coches de calle, por ejemplo sobre soluciones para reducir el desgaste de los componentes del motor. Tras adaptar dichas soluciones para la competición, se han introducido de buen grado en las distintas escuderías.

Por último, es importante señalar que, poco a poco, se irán introduciendo los denominados biocombustibles en la Fórmula 1, para orientar la investigación que realizan los equipos hacia las necesidades de las marcas fabricantes en sus modelos de venta al público.

Materiales

Aunque hay algunos resultados de la investigación en el ámbito de los materiales que sí encuentran su aplicación en los automóviles de calle, hay que admitir que, en general, los



Figura 7. Nuevo Honda Civic, que carece de limpiaparabrisas trasero. © Honda.



Figura 8. El HANS (Head and Neck Support System), que va unido al casco de los pilotos.

materiales de un Fórmula 1 o no se aplican en otros sectores o, como mucho, se emplean en aeronáutica, pero no en automoción. Tal es el caso de la fibra de carbono, de la que se construye el casco del monoplaza y los alerones y otros elementos aerodinámicos (en conjunto hasta el 80% del coche). El elevado coste tanto de la fibra de carbono como de otros materiales especiales que se empleaban, sobre todo hace unos años, en el motor no justifica su uso en automóviles convencionales, a pesar de sus numerosas ventajas.

La FIA tiene por objetivo acercar la investigación de la Fórmula 1 a los automóviles de calle que fabrican las marcas que participan en la competición, pero el campo de los materiales es uno de los más alejados de nuestros vehículos de todos los días.

Seguridad

Relacionado con los materiales se encuentra el importante tema de la seguridad. Tras el estremecedor accidente de Robert Kubica

en el GP de Canadá de este año, del que el piloto polaco de BMW salió ileso, así como después de presenciar otra serie de accidentes sin consecuencias graves, pero no menos violentos, en monoplazas de otras categorías, el tema de la seguridad en las competiciones de motor ha vuelto a estar de actualidad.

Aunque sería maravilloso que nuestros coches se comportasen como el Fórmula 1 de Kubica, no debemos olvidar que la célula de supervivencia de un monoplaza, que es la zona del chasis alrededor del piloto y cuya función es proteger su vida, está construida de paneles tipo sandwich formados por fibra de carbono con un interior de honeycomb de aluminio (estructura hexagonal similar a la de una colmena). Esto sería impensable actualmente en un coche cualquiera debido a su precio.

En el caso de la seguridad, si bien la Fórmula 1 ha podido contribuir a algún avance puntual, lo cierto es que nuestros automóviles son cada día más seguros debido a factores como los ensayos de impacto o crash tests cada vez más desarrollados, el estudio de los datos recopilados de accidentes, la electrónica, etc.

Un ejemplo curioso de la aportación de la Fórmula 1 a la seguridad lo constituye el dispositivo HANS (Figura 8). En competición se emplea desde hace unos años para proteger la zona del cuello tras un impacto. La marca Renault trabaja para introducir paulatinamente un dispositivo parecido para los niños de entre seis y diez años en sus coches. Los estudios llevados a cabo por la marca gala han concluido que una de las causas por las que se producen más lesiones en niños que en adultos es que aquéllos no encajan perfectamente en los sistemas de sujeción que emplean la mayoría de los vehículos. Además si los niños se duermen pueden quedar mal colocados y estar desprotegidos ante un posible impacto. El sistema de Renault busca mantener a los niños sujetos aunque éstos se duerman durante un viaje. ■

Bibliografía

- [1] Isaac Prada y Nogueira, Blog Tecnología de Fórmula 1 en Yahoo!.
- [2] Joseph Katz. *Race Car Aerodynamics*. Bentley Publishers.com, 2006.
- [3] Publicaciones varias, Renault FI Team.
- [4] F. Aparicio Izquierdo. *Teoría de los Vehículos Automóviles*. UPM, 2001.



¿Fórmula 1 para todos?

La transferencia tecnológica de la F1 a los automóviles convencionales

La Fórmula 1 es conocida como la cumbre del automovilismo deportivo. Detrás de una envoltura de glamour, espectáculo e ingentes cantidades de dinero, se esconde uno de los sectores tecnológicamente más avanzados que existen. Es, sin duda, todo un placer admirar los formidables monoplasas de la categoría y descubrir sus impresionantes características técnicas. Sin embargo, desde una perspectiva global, no sólo deportiva, surgen algunas preguntas muy relevantes: ¿qué papel desempeña la Fórmula 1 en el sector de automoción en general?, ¿existe de verdad una transferencia tecnológica palpable entre la Fórmula 1 y los coches que todos conducimos?



Isaac Prada y Nogueira

Ingeniero Industrial del ICAI (2005). Investigador en FIDAMC (Fundación española para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos-EADS). Colaborador con Renault F1.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Desde sus inicios la F1 ha contado con el respaldo de un buen número de marcas de coches, como Alfa Romeo, Ferrari, Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Honda o Renault, entre otras. Los elevados presupuestos de las escuderías más poderosas que compiten actualmente en la Fórmula 1 (que rondan los 400 millones de dólares por temporada) sólo pueden cubrirlos los fabricantes de coches,

mientras que los equipos privados, sin patrocinio de ninguna marca, suelen tener dificultades financieras o bien han de conformarse con los últimos puestos en parrilla.

Uno de los motivos fundamentales que expresan las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplasas a los automóviles de calle.

Si bien es importante indicar que la Fórmula 1 es una potente forma de publicidad, no debemos olvidar que sin una transferencia tecnológica relevante para los coches de calle, muchas marcas no apoyarían con su dinero a las escuderías y la Fórmula 1 tal y como la conocemos hoy correría un grave peligro.

Este artículo pretende ofrecer una visión detallada de las aportaciones y los avances que la F1 ha supuesto realmente para nuestros automóviles en una serie de apartados que el autor considera de especial relevancia.

Antes de comenzar es fundamental señalar que, aunque tanto un monoplace de competición como un coche convencional son automóviles con muchos elementos comunes, los objetivos de diseño son tan distintos que los compromisos adoptados por los ingenieros en uno y otro caso pueden ser radicalmente diferentes. A pesar de ello se puede producir una transferencia tecnológica bastante fructífera entre los dos campos.

Electrónica

En la actualidad una de las áreas que más evolución experimenta en los automóviles es la electrónica, tanto para sistemas que buscan aumentar la seguridad (ABS, control de estabilidad, etc.) como para sistemas que tienen otras funciones, como puede ser optimizar el funcionamiento de distintos dispositivos del vehículo (unidades de control del motor, etc.). Gran parte de los avances en electrónica han venido de la mano de sistemas que se han probado primero en la Fórmula 1 y, como es habitual, se han ido introduciendo en los coches de alta gama y deportivos para posteriormente aparecer en coches de gama media y baja. En otros casos, si bien los sistemas han aparecido antes en los automóviles convencionales, normalmente de las gamas de lujo, el papel de la Fórmula 1 ha sido el de permitir el desarrollo y la rápida evolución de los dispositivos, al autorizar la normativa su uso en los monoplaces.

Sin embargo, las nuevas normas para 2008 imponen unidades de control electrónico estándar para todas las escuderías. De esta forma se paraliza gran parte de la investigación que se hacía en Fórmula 1 en este campo y

desaparecen diversas ayudas electrónicas con las que contaban los pilotos.

Uno de los equipos de Fórmula 1 que tiene fama de contar con una electrónica eficiente es BMW. Para Mario Theissen, director de BMW Motorsport, la investiga-

“Uno de los motivos fundamentales de las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplaces a los automóviles de la calle”

ción que se hace en la Fórmula 1 en el campo de la electrónica tiene una gran utilidad para el resto de automóviles de la marca. BMW se opuso a la introducción de la electrónica estándar que ha forzado la Federación Internacional del Automóvil (FIA¹). Las razones de la marca alemana han sido que, en primer lugar, este paso supone un gran coste para adaptar los bancos de ensayo y todos los sistemas del monoplace a los nuevos controles electrónicos y, en segundo lugar, que no permitirá sacar todo el partido posible a las distintas tecnologías que se encuentran en cada coche puesto que las escuderías no van a poder optimizar la electrónica para sus propios sistemas y van a tener que usar la versión estándar o aproximadamente estándar. Esta medida reduce la investigación en el campo de la electrónica en Fórmula 1 e impide los avances tan importantes que esta investigación permitía en el terreno del vehículo convencional.

Tomemos dos ejemplos concretos, las unidades de control electrónico de los nuevos sistemas de frenada regenerativa y el control de tracción, que es el cambio fundamental para la temporada 2008.

La frenada regenerativa se ha permitido en la Fórmula 1 para aprovechar el ritmo vertiginoso de investigación de este deporte y conseguir con ello desarrollar esta tecnología para su rápida introducción en los coches de calle. Este tipo de sistemas conseguirán reducir el consumo, y por tanto las emisiones contaminantes, de los vehículos del futuro.

El objetivo de la frenada regenerativa es evitar disipar la energía cinética del vehículo

⁽¹⁾ Organismo encargado de elaborar las normas tanto técnicas como deportivas para multitud de competiciones de motor; entre ellas la Fórmula 1 y el World Rally Championship.



Figura 1. Mercedes-Benz 500 SE (W126 de la clase S), 1979, versión de EE UU.

en forma de calor en los frenos y conseguir almacenar parte de esta energía en algún dispositivo para su posterior utilización como complemento a la energía que proporciona el motor (se alcanzarían hasta unos 100 CV adicionales durante entre cinco y diez segundos²).

La gestión eficiente de los flujos de energía entre el dispositivo que la almacena, el motor y las ruedas tractoras y, en suma, la optimización del funcionamiento de un sistema de frenada regenerativa requieren de una electrónica cuidadosamente desarrollada y adaptada al sistema particular que lleve cada modelo de vehículo. La introducción de unidades electrónicas estándar en la Fórmula 1 para el control de estos dispositivos probablemente impida aprovechar al máximo las posibilidades de la frenada regenerativa, al tiempo que provocará una disminución de los recursos que los equipos destinan a investigar y desarrollar la electrónica que controla este sistema, con las consecuencias que esto puede acarrear para la evolución de las versiones incorporadas en los vehículos convencionales.

Control de tracción

El control de tracción merece un epígrafe aparte porque es para muchos la muestra más relevante de la transferencia tecnológica entre la Fórmula 1 y los automóviles de calle. Si bien es cierto que el control de tracción hizo su aparición de la mano de Mercedes-Benz con su W126 de la clase S en 1979 (Figura 1), mientras que en la Fórmula 1 las primeras versiones, al menos las conocidas, son

de los ochenta, la investigación en las escuderías ha permitido el rápido desarrollo de los sistemas comerciales.

Analicemos brevemente el principio de funcionamiento del control de tracción. Este sistema tiene como objetivo impedir que las ruedas tractoras derrapen y en ocasiones avisar al piloto o conductor del inicio de esta circunstancia.

Si tratamos de acelerar las ruedas por encima de un cierto valor, que depende de factores como las condiciones del asfalto, el tipo de neumáticos o, especialmente en la Fórmula 1, de la carga aerodinámica que presione al monoplaza contra el circuito, se produce una pérdida de adherencia y las ruedas derrapan. Los neumáticos de un vehículo se ven sometidos a dos tipos de aceleración, una es la longitudinal debida a aceleraciones y frenadas y otra la lateral que aparece fundamentalmente cuando se circula por una curva. El nivel de adherencia entre neumático y carretera que exige esta combinación de acciones longitudinales y laterales no puede superar un cierto límite para evitar precisamente la pérdida de adherencia y el consiguiente deslizamiento de la rueda (la adherencia total que se le exige a un neumático, combinación de la adherencia longitudinal y transversal, debe situarse dentro de la denominada *ellipse de adherencia*).

“Los coches de la calle también poseen control de tracción, sistema que en los monoplazas tiene como misión lograr la estabilidad del vehículo”

Cuando los neumáticos derrapan se produce un desgaste mayor y el tiempo por vuelta aumenta. Esto es lo que se pretende evitar con el control de tracción, cuyo objetivo es permitir siempre enviar a las ruedas la máxima potencia posible. Para detectar si las ruedas derrapan se emplean sensores que comparan la velocidad de éstas con la de movimiento del vehículo (tanto en los monoplazas de Fórmula 1 como en coches de calle). Si la rueda gira más rápido de lo que debería en función de la velocidad del monoplaza es que hay derrape y entonces se reduce la potencia del motor hasta que la rueda deje de deslizarse³. Sistemas similares al

⁽²⁾ El autor es algo menos optimista que la FIA sobre esta cifra, al menos durante unos años.

⁽³⁾ El control de tracción puede realizar otra serie de acciones, no únicamente reducir la potencia del motor: El diseño y actuaciones concretas dependen del modelo de vehículo considerado.

control de tracción también se emplearon para que los coches tuvieran una mejor salida al comienzo de las carreras, aunque estos dispositivos están prohibidos en la actualidad. De hecho, como se indicó más arriba, los coches de calle también poseen control de tracción, y la diferencia respecto al sistema de los monoplasas es que en vehículos convencionales la misión del sistema es lograr la estabilidad del vehículo y no la máxima transmisión de potencia⁴.

En la Fórmula 1, el control de tracción ya ha sido prohibido en el pasado, pero la FIA lo reintrodujo en la Fórmula 1 en 2002 porque era muy complicado controlar que los equipos no estuvieran realizando las mismas funciones que el control de tracción a escondidas, por medio de las unidades de control electrónico del motor. Sin embargo, para 2008, la obligación de usar unidades electrónicas estándar hace más fácil prohibir el control de tracción y vigilar que ninguna escudería lo esté empleando de forma encubierta. La desaparición del control de tracción de la Fórmula 1 deja a la investigación en automóviles sin el constante aprendizaje de la competición para seguir desarrollando estos sistemas.

Aerodinámica

Prácticamente desde sus inicios la industria del automóvil tuvo en cuenta consideraciones aerodinámicas. Sin embargo, el objetivo principal era reducir el coeficiente drag del coche (un menor valor de este coeficiente supone una mejor penetración del vehículo en el aire, es decir una menor resistencia al avance). La definición matemática del coeficiente drag es⁵:

$$C_d = \frac{D}{1/2 \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot A}$$

donde D representa el drag propiamente dicho, es decir, la fuerza de resistencia aerodinámica que actúa sobre el vehículo en dirección longitudinal, ρ la densidad del aire, V_{∞} la velocidad del aire sin perturbar⁶ elevada al cuadrado y A el área de referencia (en automoción se suele tomar el área frontal del vehículo).



Figura 2. Dario Resta y su mecánico en el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916.

El objetivo de los diseñadores era, por tanto, reducir el valor del coeficiente drag para con ello disminuir el valor de la fuerza longitudinal que el vehículo debía vencer para avanzar.

Por ejemplo, el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916 tenía una parte trasera con forma ligeramente afilada, y no cuadrada como la parte delantera, para reducir el drag del vehículo (se adivina en la figura 2, no sólo en el Peugeot, coche 17, sino también en el que está a la derecha de la imagen).

Sin embargo, el principal salto cualitativo se produjo cuando los ingenieros de aerodinámica se empezaron a preocupar por el coeficiente lift, de definición análoga al coeficiente drag pero sustituyendo la fuerza aerodinámica longitudinal por la fuerza aerodinámica vertical. En concreto, el objetivo de los diseñadores era reducir el valor del coeficiente lift, e incluso hacerlo negativo, especialmente para coches deportivos. Con un lift negativo o downforce (fuerza que aprieta al vehículo contra el suelo) se están consiguiendo velocidades de paso por curva

⁽⁴⁾ En el ámbito de este epígrafe, una aportación clave de la Fórmula 1 a nuestros vehículos es el control de estabilidad. El control de tracción puede evitar el derrape de las ruedas de diversas formas, por ejemplo mediante la reducción de la potencia del motor o bien frenando ligeramente las ruedas adecuadas. En este último caso, también el ABS y los sistemas de control de estabilidad de las distintas marcas pueden actuar mediante la aplicación de pequeños pares de frenado sobre una o varias ruedas para mejorar la frenada o para evitar la pérdida de estabilidad.

⁽⁵⁾ En ocasiones se emplea el subíndice x en lugar de D para el coeficiente drag.

⁽⁶⁾ Velocidad relativa aire-vehículo. Por ejemplo, si el automóvil circula a 300 km/h la velocidad V_{∞} sería precisamente 300 km/h. Se habla de la zona del aire sin perturbar porque la velocidad relativa entre aire y coche en la zona próxima a la superficie del vehículo cambia por la interacción fluido-cuerpo.



Figura 3. Dodge Ram 2005, versión de calle.



Figura 4. Dodge Ram 2006, versión deportiva.

que pueden superar en más de tres veces las velocidades del mismo vehículo sin downforce.

La introducción de los distintos alerones tan típicos en un coche de competición actual se produce precisamente para lograr downforce (los vehículos convencionales tienen en general un lift positivo, es decir, al aumentar la velocidad la fuerza aerodinámica vertical es de sustentación y tiende a despejarlos del suelo, especialmente en la zona del eje trasero).

En el terreno de la aerodinámica, los coches de calle han heredado numerosos elementos de las lecciones aprendidas en la competición y, si bien en general no cuentan

con alerones ni con un suelo aerodinámico⁷, sí que han incorporado avances que permiten una mejor estabilidad del vehículo a elevada velocidad, cuando la aerodinámica es realmente importante, así como otras modificaciones para lograr un menor ruido aerodinámico en el habitáculo, menor acumulación de suciedad en los trayectos largos y una mayor eficiencia en temas como ventilación o refrigeración.

En las siguientes imágenes se incluyen algunos ejemplos de las mejoras aerodinámicas que los coches de calle han ido incorporando de la automoción deportiva.

En primer lugar, el Dodge Ram de 2005, tipo de vehículo muy común en EE.UU., incorpora un frontal redondeado que busca reducir el drag. En este tipo de vehículos, dos elementos que contribuyen a aumentar el drag son la cabina y el portón trasero. Este efecto se reduce cubriendo la parte descubierta del vehículo o abriendo el portón. En la versión deportiva de este modelo se aprecia una apariencia similar pero una parte trasera efectivamente cubierta y un portón trasero modificado para actuar de alerón. En la versión de calle se incorpora un pequeño alerón en la parte posterior, que tiene de todas formas un papel predominantemente decorativo.

La competición ha permitido en este caso aprender a emplear elementos en la versión de calle que reducen el drag, como es el frontal redondeado comentado.

Como segundo ejemplo se puede considerar el Chrysler Neon, que utiliza en el modelo de venta al público numerosos elementos de la versión deportiva (spoiler delantero, faldones laterales, etc.). Esto tiene por objeto, por un lado, mejorar su atractivo y aumentar las ventas, pero por otro lado, aumentar su estabilidad a alta velocidad, lo que incrementa notablemente la seguridad. Sobre este último aspecto es importante comentar que lo que permite esa mayor estabilidad es un diseño de vehículo en el que el centro de presiones coincide con el centro de gravedad o se encuentre lo más próximo posible. De esta forma la distribución del lift entre eje delantero y trasero es muy similar al reparto del peso entre los dos ejes, lo que proporciona la mayor estabilidad. En las imágenes se muestran las dos versiones del Chrysler Neon.

⁷⁾ Suelo se refiere a la parte inferior del coche, que en muchos vehículos de competición está tapada por una placa con forma aerodinámica, si las normas de la competición en concreto lo permiten, que contribuye a la generación de downforce.

Como último apunte sobre aerodinámica, es interesante comentar el caso del Honda Civic. Este vehículo, en cuyo diseño se emplean bastantes lecciones aprendidas en la Fórmula 1, carece curiosamente de limpiaparabrisas trasero, ya que el propio diseño se encarga de evacuar el agua de esta zona del coche (Figura 7).

Motor

El motor de un Fórmula 1 opera en unas condiciones muy distintas y mucho más exigentes que el motor de un vehículo convencional. Sin embargo, el objetivo de la competición es, al menos según la FIA, hacer que la investigación sobre los motores de los monoplazas sí tenga utilidad para los motores del resto de automóviles. Para ello, por ejemplo, se han reducido las revoluciones máximas hasta 19.000 r.p.m., que de todas formas sigue muy lejos del régimen máximo de un motor normal.

El hecho es que la investigación sobre motores, no sólo en la Fórmula 1, sino también en otras competiciones deportivas, ha servido en algunas ocasiones para contribuir al avance de los diseños de los automóviles de alta gama e incluso a veces de los vehículos en general. Sirva de ejemplo el caso de Audi, marca que, si bien no participa en la Fórmula 1, sí lo hace en otras competiciones como las 24 Horas de Le Mans. Como destacaba un portavoz del fabricante alemán, Josef Schlossmacher, los motores especiales turbo combinados con inyección directa que se emplearon en 2001 en la competición se han introducido con éxito en varios modelos de venta al público.

Combustible

Según las normas actuales de la Fórmula 1, los combustibles deben estar basados en compuestos comerciales habituales, para así acercar la investigación que se lleva a cabo en competición a los desarrollos de los combustibles convencionales. Ya no se permiten las mezclas que hace años lograban superar la barrera de los 1.000 CV de potencia en los motores de los monoplazas.

En concreto, desde ELF, que proporciona el combustible al equipo Renault F1, indican que los motores convencionales se han beneficiado de la investigación que en Fórmula 1 se ha llevado a cabo por ejemplo sobre algunos fluidos que permiten un mayor ahorro de energía. También la Fórmula 1 ha aprendido de la investigación en



Figura 5. Chrysler Neon, versión de call



Figura 6. Chrysler Neon, versión deportiva.

coches de calle, por ejemplo sobre soluciones para reducir el desgaste de los componentes del motor. Tras adaptar dichas soluciones para la competición, se han introducido de buen grado en las distintas escuderías.

Por último, es importante señalar que, poco a poco, se irán introduciendo los denominados biocombustibles en la Fórmula 1, para orientar la investigación que realizan los equipos hacia las necesidades de las marcas fabricantes en sus modelos de venta al público.

Materiales

Aunque hay algunos resultados de la investigación en el ámbito de los materiales que sí encuentran su aplicación en los automóviles de calle, hay que admitir que, en general, los



Figura 7. Nuevo Honda Civic, que carece de limpiaparabrisas trasero. © Honda.



Figura 8. El HANS (Head and Neck Support System), que va unido al casco de los pilotos.

materiales de un Fórmula 1 o no se aplican en otros sectores o, como mucho, se emplean en aeronáutica, pero no en automoción. Tal es el caso de la fibra de carbono, de la que se construye el casco del monoplaza y los alerones y otros elementos aerodinámicos (en conjunto hasta el 80% del coche). El elevado coste tanto de la fibra de carbono como de otros materiales especiales que se empleaban, sobre todo hace unos años, en el motor no justifica su uso en automóviles convencionales, a pesar de sus numerosas ventajas.

La FIA tiene por objetivo acercar la investigación de la Fórmula 1 a los automóviles de calle que fabrican las marcas que participan en la competición, pero el campo de los materiales es uno de los más alejados de nuestros vehículos de todos los días.

Seguridad

Relacionado con los materiales se encuentra el importante tema de la seguridad. Tras el estremecedor accidente de Robert Kubica

en el GP de Canadá de este año, del que el piloto polaco de BMW salió ileso, así como después de presenciar otra serie de accidentes sin consecuencias graves, pero no menos violentos, en monoplazas de otras categorías, el tema de la seguridad en las competiciones de motor ha vuelto a estar de actualidad.

Aunque sería maravilloso que nuestros coches se comportasen como el Fórmula 1 de Kubica, no debemos olvidar que la célula de supervivencia de un monoplaza, que es la zona del chasis alrededor del piloto y cuya función es proteger su vida, está construida de paneles tipo sandwich formados por fibra de carbono con un interior de honeycomb de aluminio (estructura hexagonal similar a la de una colmena). Esto sería impensable actualmente en un coche cualquiera debido a su precio.

En el caso de la seguridad, si bien la Fórmula 1 ha podido contribuir a algún avance puntual, lo cierto es que nuestros automóviles son cada día más seguros debido a factores como los ensayos de impacto o crash tests cada vez más desarrollados, el estudio de los datos recopilados de accidentes, la electrónica, etc.

Un ejemplo curioso de la aportación de la Fórmula 1 a la seguridad lo constituye el dispositivo HANS (Figura 8). En competición se emplea desde hace unos años para proteger la zona del cuello tras un impacto. La marca Renault trabaja para introducir paulatinamente un dispositivo parecido para los niños de entre seis y diez años en sus coches. Los estudios llevados a cabo por la marca gala han concluido que una de las causas por las que se producen más lesiones en niños que en adultos es que aquéllos no encajan perfectamente en los sistemas de sujeción que emplean la mayoría de los vehículos. Además si los niños se duermen pueden quedar mal colocados y estar desprotegidos ante un posible impacto. El sistema de Renault busca mantener a los niños sujetos aunque éstos se duerman durante un viaje. ■

Bibliografía

- [1] Isaac Prada y Nogueira, Blog Tecnología de Fórmula 1 en Yahoo!.
- [2] Joseph Katz. *Race Car Aerodynamics*. Bentley Publishers.com, 2006.
- [3] Publicaciones varias, Renault FI Team.
- [4] F. Aparicio Izquierdo. *Teoría de los Vehículos Automóviles*. UPM, 2001.



¿Fórmula 1 para todos?

La transferencia tecnológica de la F1 a los automóviles convencionales

La Fórmula 1 es conocida como la cumbre del automovilismo deportivo. Detrás de una envoltura de glamour, espectáculo e ingentes cantidades de dinero, se esconde uno de los sectores tecnológicamente más avanzados que existen. Es, sin duda, todo un placer admirar los formidables monoplasas de la categoría y descubrir sus impresionantes características técnicas. Sin embargo, desde una perspectiva global, no sólo deportiva, surgen algunas preguntas muy relevantes: ¿qué papel desempeña la Fórmula 1 en el sector de automoción en general?, ¿existe de verdad una transferencia tecnológica palpable entre la Fórmula 1 y los coches que todos conducimos?



Isaac Prada y Nogueira

Ingeniero Industrial del ICAI (2005). Investigador en FIDAMC (Fundación española para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos-EADS). Colaborador con Renault F1.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Desde sus inicios la F1 ha contado con el respaldo de un buen número de marcas de coches, como Alfa Romeo, Ferrari, Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Honda o Renault, entre otras. Los elevados presupuestos de las escuderías más poderosas que compiten actualmente en la Fórmula 1 (que rondan los 400 millones de dólares por temporada) sólo pueden cubrirlos los fabricantes de coches,

mientras que los equipos privados, sin patrocinio de ninguna marca, suelen tener dificultades financieras o bien han de conformarse con los últimos puestos en parrilla.

Uno de los motivos fundamentales que expresan las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplasas a los automóviles de calle.

Si bien es importante indicar que la Fórmula 1 es una potente forma de publicidad, no debemos olvidar que sin una transferencia tecnológica relevante para los coches de calle, muchas marcas no apoyarían con su dinero a las escuderías y la Fórmula 1 tal y como la conocemos hoy correría un grave peligro.

Este artículo pretende ofrecer una visión detallada de las aportaciones y los avances que la F1 ha supuesto realmente para nuestros automóviles en una serie de apartados que el autor considera de especial relevancia.

Antes de comenzar es fundamental señalar que, aunque tanto un monoplace de competición como un coche convencional son automóviles con muchos elementos comunes, los objetivos de diseño son tan distintos que los compromisos adoptados por los ingenieros en uno y otro caso pueden ser radicalmente diferentes. A pesar de ello se puede producir una transferencia tecnológica bastante fructífera entre los dos campos.

Electrónica

En la actualidad una de las áreas que más evolución experimenta en los automóviles es la electrónica, tanto para sistemas que buscan aumentar la seguridad (ABS, control de estabilidad, etc.) como para sistemas que tienen otras funciones, como puede ser optimizar el funcionamiento de distintos dispositivos del vehículo (unidades de control del motor, etc.). Gran parte de los avances en electrónica han venido de la mano de sistemas que se han probado primero en la Fórmula 1 y, como es habitual, se han ido introduciendo en los coches de alta gama y deportivos para posteriormente aparecer en coches de gama media y baja. En otros casos, si bien los sistemas han aparecido antes en los automóviles convencionales, normalmente de las gamas de lujo, el papel de la Fórmula 1 ha sido el de permitir el desarrollo y la rápida evolución de los dispositivos, al autorizar la normativa su uso en los monoplaces.

Sin embargo, las nuevas normas para 2008 imponen unidades de control electrónico estándar para todas las escuderías. De esta forma se paraliza gran parte de la investigación que se hacía en Fórmula 1 en este campo y

desaparecen diversas ayudas electrónicas con las que contaban los pilotos.

Uno de los equipos de Fórmula 1 que tiene fama de contar con una electrónica eficiente es BMW. Para Mario Theissen, director de BMW Motorsport, la investiga-

“Uno de los motivos fundamentales de las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplaces a los automóviles de la calle”

ción que se hace en la Fórmula 1 en el campo de la electrónica tiene una gran utilidad para el resto de automóviles de la marca. BMW se opuso a la introducción de la electrónica estándar que ha forzado la Federación Internacional del Automóvil (FIA¹). Las razones de la marca alemana han sido que, en primer lugar, este paso supone un gran coste para adaptar los bancos de ensayo y todos los sistemas del monoplace a los nuevos controles electrónicos y, en segundo lugar, que no permitirá sacar todo el partido posible a las distintas tecnologías que se encuentran en cada coche puesto que las escuderías no van a poder optimizar la electrónica para sus propios sistemas y van a tener que usar la versión estándar o aproximadamente estándar. Esta medida reduce la investigación en el campo de la electrónica en Fórmula 1 e impide los avances tan importantes que esta investigación permitía en el terreno del vehículo convencional.

Tomemos dos ejemplos concretos, las unidades de control electrónico de los nuevos sistemas de frenada regenerativa y el control de tracción, que es el cambio fundamental para la temporada 2008.

La frenada regenerativa se ha permitido en la Fórmula 1 para aprovechar el ritmo vertiginoso de investigación de este deporte y conseguir con ello desarrollar esta tecnología para su rápida introducción en los coches de calle. Este tipo de sistemas conseguirán reducir el consumo, y por tanto las emisiones contaminantes, de los vehículos del futuro.

El objetivo de la frenada regenerativa es evitar disipar la energía cinética del vehículo

⁽¹⁾ Organismo encargado de elaborar las normas tanto técnicas como deportivas para multitud de competiciones de motor; entre ellas la Fórmula 1 y el World Rally Championship.



Figura 1. Mercedes-Benz 500 SE (W126 de la clase S), 1979, versión de EE UU.

en forma de calor en los frenos y conseguir almacenar parte de esta energía en algún dispositivo para su posterior utilización como complemento a la energía que proporciona el motor (se alcanzarían hasta unos 100 CV adicionales durante entre cinco y diez segundos²).

La gestión eficiente de los flujos de energía entre el dispositivo que la almacena, el motor y las ruedas tractoras y, en suma, la optimización del funcionamiento de un sistema de frenada regenerativa requieren de una electrónica cuidadosamente desarrollada y adaptada al sistema particular que lleve cada modelo de vehículo. La introducción de unidades electrónicas estándar en la Fórmula 1 para el control de estos dispositivos probablemente impida aprovechar al máximo las posibilidades de la frenada regenerativa, al tiempo que provocará una disminución de los recursos que los equipos destinan a investigar y desarrollar la electrónica que controla este sistema, con las consecuencias que esto puede acarrear para la evolución de las versiones incorporadas en los vehículos convencionales.

Control de tracción

El control de tracción merece un epígrafe aparte porque es para muchos la muestra más relevante de la transferencia tecnológica entre la Fórmula 1 y los automóviles de calle. Si bien es cierto que el control de tracción hizo su aparición de la mano de Mercedes-Benz con su W126 de la clase S en 1979 (Figura 1), mientras que en la Fórmula 1 las primeras versiones, al menos las conocidas, son

de los ochenta, la investigación en las escuderías ha permitido el rápido desarrollo de los sistemas comerciales.

Analicemos brevemente el principio de funcionamiento del control de tracción. Este sistema tiene como objetivo impedir que las ruedas tractoras derrapen y en ocasiones avisar al piloto o conductor del inicio de esta circunstancia.

Si tratamos de acelerar las ruedas por encima de un cierto valor, que depende de factores como las condiciones del asfalto, el tipo de neumáticos o, especialmente en la Fórmula 1, de la carga aerodinámica que presione al monoplaza contra el circuito, se produce una pérdida de adherencia y las ruedas derrapan. Los neumáticos de un vehículo se ven sometidos a dos tipos de aceleración, una es la longitudinal debida a aceleraciones y frenadas y otra la lateral que aparece fundamentalmente cuando se circula por una curva. El nivel de adherencia entre neumático y carretera que exige esta combinación de acciones longitudinales y laterales no puede superar un cierto límite para evitar precisamente la pérdida de adherencia y el consiguiente deslizamiento de la rueda (la adherencia total que se le exige a un neumático, combinación de la adherencia longitudinal y transversal, debe situarse dentro de la denominada *ellipse de adherencia*).

“Los coches de la calle también poseen control de tracción, sistema que en los monoplazas tiene como misión lograr la estabilidad del vehículo”

Cuando los neumáticos derrapan se produce un desgaste mayor y el tiempo por vuelta aumenta. Esto es lo que se pretende evitar con el control de tracción, cuyo objetivo es permitir siempre enviar a las ruedas la máxima potencia posible. Para detectar si las ruedas derrapan se emplean sensores que comparan la velocidad de éstas con la de movimiento del vehículo (tanto en los monoplazas de Fórmula 1 como en coches de calle). Si la rueda gira más rápido de lo que debería en función de la velocidad del monoplaza es que hay derrape y entonces se reduce la potencia del motor hasta que la rueda deje de deslizarse³. Sistemas similares al

⁽²⁾ El autor es algo menos optimista que la FIA sobre esta cifra, al menos durante unos años.

⁽³⁾ El control de tracción puede realizar otra serie de acciones, no únicamente reducir la potencia del motor: El diseño y actuaciones concretas dependen del modelo de vehículo considerado.

control de tracción también se emplearon para que los coches tuvieran una mejor salida al comienzo de las carreras, aunque estos dispositivos están prohibidos en la actualidad. De hecho, como se indicó más arriba, los coches de calle también poseen control de tracción, y la diferencia respecto al sistema de los monoplazas es que en vehículos convencionales la misión del sistema es lograr la estabilidad del vehículo y no la máxima transmisión de potencia⁴.

En la Fórmula 1, el control de tracción ya ha sido prohibido en el pasado, pero la FIA lo reintrodujo en la Fórmula 1 en 2002 porque era muy complicado controlar que los equipos no estuvieran realizando las mismas funciones que el control de tracción a escondidas, por medio de las unidades de control electrónico del motor. Sin embargo, para 2008, la obligación de usar unidades electrónicas estándar hace más fácil prohibir el control de tracción y vigilar que ninguna escudería lo esté empleando de forma encubierta. La desaparición del control de tracción de la Fórmula 1 deja a la investigación en automóviles sin el constante aprendizaje de la competición para seguir desarrollando estos sistemas.

Aerodinámica

Prácticamente desde sus inicios la industria del automóvil tuvo en cuenta consideraciones aerodinámicas. Sin embargo, el objetivo principal era reducir el coeficiente drag del coche (un menor valor de este coeficiente supone una mejor penetración del vehículo en el aire, es decir una menor resistencia al avance). La definición matemática del coeficiente drag es⁵:

$$C_d = \frac{D}{1/2 \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot A}$$

donde D representa el drag propiamente dicho, es decir, la fuerza de resistencia aerodinámica que actúa sobre el vehículo en dirección longitudinal, ρ la densidad del aire, V_{∞} la velocidad del aire sin perturbar⁶ elevada al cuadrado y A el área de referencia (en automoción se suele tomar el área frontal del vehículo).



Figura 2. Dario Resta y su mecánico en el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916.

El objetivo de los diseñadores era, por tanto, reducir el valor del coeficiente drag para con ello disminuir el valor de la fuerza longitudinal que el vehículo debía vencer para avanzar.

Por ejemplo, el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916 tenía una parte trasera con forma ligeramente afilada, y no cuadrada como la parte delantera, para reducir el drag del vehículo (se adivina en la figura 2, no sólo en el Peugeot, coche 17, sino también en el que está a la derecha de la imagen).

Sin embargo, el principal salto cualitativo se produjo cuando los ingenieros de aerodinámica se empezaron a preocupar por el coeficiente lift, de definición análoga al coeficiente drag pero sustituyendo la fuerza aerodinámica longitudinal por la fuerza aerodinámica vertical. En concreto, el objetivo de los diseñadores era reducir el valor del coeficiente lift, e incluso hacerlo negativo, especialmente para coches deportivos. Con un lift negativo o downforce (fuerza que aprieta al vehículo contra el suelo) se están consiguiendo velocidades de paso por curva

⁽⁴⁾ En el ámbito de este epígrafe, una aportación clave de la Fórmula 1 a nuestros vehículos es el control de estabilidad. El control de tracción puede evitar el derrape de las ruedas de diversas formas, por ejemplo mediante la reducción de la potencia del motor o bien frenando ligeramente las ruedas adecuadas. En este último caso, también el ABS y los sistemas de control de estabilidad de las distintas marcas pueden actuar mediante la aplicación de pequeños pares de frenado sobre una o varias ruedas para mejorar la frenada o para evitar la pérdida de estabilidad.

⁽⁵⁾ En ocasiones se emplea el subíndice x en lugar de D para el coeficiente drag.

⁽⁶⁾ Velocidad relativa aire-vehículo. Por ejemplo, si el automóvil circula a 300 km/h la velocidad V_{∞} sería precisamente 300 km/h. Se habla de la zona del aire sin perturbar porque la velocidad relativa entre aire y coche en la zona próxima a la superficie del vehículo cambia por la interacción fluido-cuerpo.



Figura 3. Dodge Ram 2005, versión de calle.



Figura 4. Dodge Ram 2006, versión deportiva.

que pueden superar en más de tres veces las velocidades del mismo vehículo sin downforce.

La introducción de los distintos alerones tan típicos en un coche de competición actual se produce precisamente para lograr downforce (los vehículos convencionales tienen en general un lift positivo, es decir, al aumentar la velocidad la fuerza aerodinámica vertical es de sustentación y tiende a despejarlos del suelo, especialmente en la zona del eje trasero).

En el terreno de la aerodinámica, los coches de calle han heredado numerosos elementos de las lecciones aprendidas en la competición y, si bien en general no cuentan

con alerones ni con un suelo aerodinámico⁷, sí que han incorporado avances que permiten una mejor estabilidad del vehículo a elevada velocidad, cuando la aerodinámica es realmente importante, así como otras modificaciones para lograr un menor ruido aerodinámico en el habitáculo, menor acumulación de suciedad en los trayectos largos y una mayor eficiencia en temas como ventilación o refrigeración.

En las siguientes imágenes se incluyen algunos ejemplos de las mejoras aerodinámicas que los coches de calle han ido incorporando de la automoción deportiva.

En primer lugar, el Dodge Ram de 2005, tipo de vehículo muy común en EE.UU., incorpora un frontal redondeado que busca reducir el drag. En este tipo de vehículos, dos elementos que contribuyen a aumentar el drag son la cabina y el portón trasero. Este efecto se reduce cubriendo la parte descubierta del vehículo o abriendo el portón. En la versión deportiva de este modelo se aprecia una apariencia similar pero una parte trasera efectivamente cubierta y un portón trasero modificado para actuar de alerón. En la versión de calle se incorpora un pequeño alerón en la parte posterior, que tiene de todas formas un papel predominantemente decorativo.

La competición ha permitido en este caso aprender a emplear elementos en la versión de calle que reducen el drag, como es el frontal redondeado comentado.

Como segundo ejemplo se puede considerar el Chrysler Neon, que utiliza en el modelo de venta al público numerosos elementos de la versión deportiva (spoiler delantero, faldones laterales, etc.). Esto tiene por objeto, por un lado, mejorar su atractivo y aumentar las ventas, pero por otro lado, aumentar su estabilidad a alta velocidad, lo que incrementa notablemente la seguridad. Sobre este último aspecto es importante comentar que lo que permite esa mayor estabilidad es un diseño de vehículo en el que el centro de presiones coincide con el centro de gravedad o se encuentre lo más próximo posible. De esta forma la distribución del lift entre eje delantero y trasero es muy similar al reparto del peso entre los dos ejes, lo que proporciona la mayor estabilidad. En las imágenes se muestran las dos versiones del Chrysler Neon.

⁷⁾ Suelo se refiere a la parte inferior del coche, que en muchos vehículos de competición está tapada por una placa con forma aerodinámica, si las normas de la competición en concreto lo permiten, que contribuye a la generación de downforce.

Como último apunte sobre aerodinámica, es interesante comentar el caso del Honda Civic. Este vehículo, en cuyo diseño se emplean bastantes lecciones aprendidas en la Fórmula 1, carece curiosamente de limpiaparabrisas trasero, ya que el propio diseño se encarga de evacuar el agua de esta zona del coche (Figura 7).

Motor

El motor de un Fórmula 1 opera en unas condiciones muy distintas y mucho más exigentes que el motor de un vehículo convencional. Sin embargo, el objetivo de la competición es, al menos según la FIA, hacer que la investigación sobre los motores de los monoplazas sí tenga utilidad para los motores del resto de automóviles. Para ello, por ejemplo, se han reducido las revoluciones máximas hasta 19.000 r.p.m., que de todas formas sigue muy lejos del régimen máximo de un motor normal.

El hecho es que la investigación sobre motores, no sólo en la Fórmula 1, sino también en otras competiciones deportivas, ha servido en algunas ocasiones para contribuir al avance de los diseños de los automóviles de alta gama e incluso a veces de los vehículos en general. Sirva de ejemplo el caso de Audi, marca que, si bien no participa en la Fórmula 1, sí lo hace en otras competiciones como las 24 Horas de Le Mans. Como destacaba un portavoz del fabricante alemán, Josef Schlossmacher, los motores especiales turbo combinados con inyección directa que se emplearon en 2001 en la competición se han introducido con éxito en varios modelos de venta al público.

Combustible

Según las normas actuales de la Fórmula 1, los combustibles deben estar basados en compuestos comerciales habituales, para así acercar la investigación que se lleva a cabo en competición a los desarrollos de los combustibles convencionales. Ya no se permiten las mezclas que hace años lograban superar la barrera de los 1.000 CV de potencia en los motores de los monoplazas.

En concreto, desde ELF, que proporciona el combustible al equipo Renault F1, indican que los motores convencionales se han beneficiado de la investigación que en Fórmula 1 se ha llevado a cabo por ejemplo sobre algunos fluidos que permiten un mayor ahorro de energía. También la Fórmula 1 ha aprendido de la investigación en



Figura 5. Chrysler Neon, versión de call



Figura 6. Chrysler Neon, versión deportiva.

coches de calle, por ejemplo sobre soluciones para reducir el desgaste de los componentes del motor. Tras adaptar dichas soluciones para la competición, se han introducido de buen grado en las distintas escuderías.

Por último, es importante señalar que, poco a poco, se irán introduciendo los denominados biocombustibles en la Fórmula 1, para orientar la investigación que realizan los equipos hacia las necesidades de las marcas fabricantes en sus modelos de venta al público.

Materiales

Aunque hay algunos resultados de la investigación en el ámbito de los materiales que sí encuentran su aplicación en los automóviles de calle, hay que admitir que, en general, los



Figura 7. Nuevo Honda Civic, que carece de limpiaparabrisas trasero. © Honda.



Figura 8. El HANS (Head and Neck Support System), que va unido al casco de los pilotos.

materiales de un Fórmula 1 o no se aplican en otros sectores o, como mucho, se emplean en aeronáutica, pero no en automoción. Tal es el caso de la fibra de carbono, de la que se construye el casco del monoplaza y los alerones y otros elementos aerodinámicos (en conjunto hasta el 80% del coche). El elevado coste tanto de la fibra de carbono como de otros materiales especiales que se empleaban, sobre todo hace unos años, en el motor no justifica su uso en automóviles convencionales, a pesar de sus numerosas ventajas.

La FIA tiene por objetivo acercar la investigación de la Fórmula 1 a los automóviles de calle que fabrican las marcas que participan en la competición, pero el campo de los materiales es uno de los más alejados de nuestros vehículos de todos los días.

Seguridad

Relacionado con los materiales se encuentra el importante tema de la seguridad. Tras el estremecedor accidente de Robert Kubica

en el GP de Canadá de este año, del que el piloto polaco de BMW salió ileso, así como después de presenciar otra serie de accidentes sin consecuencias graves, pero no menos violentos, en monoplazas de otras categorías, el tema de la seguridad en las competiciones de motor ha vuelto a estar de actualidad.

Aunque sería maravilloso que nuestros coches se comportasen como el Fórmula 1 de Kubica, no debemos olvidar que la célula de supervivencia de un monoplaza, que es la zona del chasis alrededor del piloto y cuya función es proteger su vida, está construida de paneles tipo sandwich formados por fibra de carbono con un interior de honeycomb de aluminio (estructura hexagonal similar a la de una colmena). Esto sería impensable actualmente en un coche cualquiera debido a su precio.

En el caso de la seguridad, si bien la Fórmula 1 ha podido contribuir a algún avance puntual, lo cierto es que nuestros automóviles son cada día más seguros debido a factores como los ensayos de impacto o crash tests cada vez más desarrollados, el estudio de los datos recopilados de accidentes, la electrónica, etc.

Un ejemplo curioso de la aportación de la Fórmula 1 a la seguridad lo constituye el dispositivo HANS (Figura 8). En competición se emplea desde hace unos años para proteger la zona del cuello tras un impacto. La marca Renault trabaja para introducir paulatinamente un dispositivo parecido para los niños de entre seis y diez años en sus coches. Los estudios llevados a cabo por la marca gala han concluido que una de las causas por las que se producen más lesiones en niños que en adultos es que aquéllos no encajan perfectamente en los sistemas de sujeción que emplean la mayoría de los vehículos. Además si los niños se duermen pueden quedar mal colocados y estar desprotegidos ante un posible impacto. El sistema de Renault busca mantener a los niños sujetos aunque éstos se duerman durante un viaje. ■

Bibliografía

- [1] Isaac Prada y Nogueira, Blog Tecnología de Fórmula 1 en Yahoo!.
- [2] Joseph Katz. *Race Car Aerodynamics*. Bentley Publishers.com, 2006.
- [3] Publicaciones varias, Renault FI Team.
- [4] F. Aparicio Izquierdo. *Teoría de los Vehículos Automóviles*. UPM, 2001.



¿Fórmula 1 para todos?

La transferencia tecnológica de la F1 a los automóviles convencionales

La Fórmula 1 es conocida como la cumbre del automovilismo deportivo. Detrás de una envoltura de glamour, espectáculo e ingentes cantidades de dinero, se esconde uno de los sectores tecnológicamente más avanzados que existen. Es, sin duda, todo un placer admirar los formidables monoplasas de la categoría y descubrir sus impresionantes características técnicas. Sin embargo, desde una perspectiva global, no sólo deportiva, surgen algunas preguntas muy relevantes: ¿qué papel desempeña la Fórmula 1 en el sector de automoción en general?, ¿existe de verdad una transferencia tecnológica palpable entre la Fórmula 1 y los coches que todos conducimos?



Isaac Prada y Nogueira

Ingeniero Industrial del ICAI (2005). Investigador en FIDAMC (Fundación española para la Investigación, Desarrollo y Aplicación de Materiales Compuestos-EADS). Colaborador con Renault F1.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

Desde sus inicios la F1 ha contado con el respaldo de un buen número de marcas de coches, como Alfa Romeo, Ferrari, Mercedes-Benz, BMW, Toyota, Honda o Renault, entre otras. Los elevados presupuestos de las escuderías más poderosas que compiten actualmente en la Fórmula 1 (que rondan los 400 millones de dólares por temporada) sólo pueden cubrirlos los fabricantes de coches,

mientras que los equipos privados, sin patrocinio de ninguna marca, suelen tener dificultades financieras o bien han de conformarse con los últimos puestos en parrilla.

Uno de los motivos fundamentales que expresan las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplasas a los automóviles de calle.

Si bien es importante indicar que la Fórmula 1 es una potente forma de publicidad, no debemos olvidar que sin una transferencia tecnológica relevante para los coches de calle, muchas marcas no apoyarían con su dinero a las escuderías y la Fórmula 1 tal y como la conocemos hoy correría un grave peligro.

Este artículo pretende ofrecer una visión detallada de las aportaciones y los avances que la F1 ha supuesto realmente para nuestros automóviles en una serie de apartados que el autor considera de especial relevancia.

Antes de comenzar es fundamental señalar que, aunque tanto un monoplace de competición como un coche convencional son automóviles con muchos elementos comunes, los objetivos de diseño son tan distintos que los compromisos adoptados por los ingenieros en uno y otro caso pueden ser radicalmente diferentes. A pesar de ello se puede producir una transferencia tecnológica bastante fructífera entre los dos campos.

Electrónica

En la actualidad una de las áreas que más evolución experimenta en los automóviles es la electrónica, tanto para sistemas que buscan aumentar la seguridad (ABS, control de estabilidad, etc.) como para sistemas que tienen otras funciones, como puede ser optimizar el funcionamiento de distintos dispositivos del vehículo (unidades de control del motor, etc.). Gran parte de los avances en electrónica han venido de la mano de sistemas que se han probado primero en la Fórmula 1 y, como es habitual, se han ido introduciendo en los coches de alta gama y deportivos para posteriormente aparecer en coches de gama media y baja. En otros casos, si bien los sistemas han aparecido antes en los automóviles convencionales, normalmente de las gamas de lujo, el papel de la Fórmula 1 ha sido el de permitir el desarrollo y la rápida evolución de los dispositivos, al autorizar la normativa su uso en los monoplaces.

Sin embargo, las nuevas normas para 2008 imponen unidades de control electrónico estándar para todas las escuderías. De esta forma se paraliza gran parte de la investigación que se hacía en Fórmula 1 en este campo y

desaparecen diversas ayudas electrónicas con las que contaban los pilotos.

Uno de los equipos de Fórmula 1 que tiene fama de contar con una electrónica eficiente es BMW. Para Mario Theissen, director de BMW Motorsport, la investiga-

“Uno de los motivos fundamentales de las marcas fabricantes para justificar las gigantescas inversiones en Fórmula 1 es el de la transferencia tecnológica de los monoplaces a los automóviles de la calle”

ción que se hace en la Fórmula 1 en el campo de la electrónica tiene una gran utilidad para el resto de automóviles de la marca. BMW se opuso a la introducción de la electrónica estándar que ha forzado la Federación Internacional del Automóvil (FIA¹). Las razones de la marca alemana han sido que, en primer lugar, este paso supone un gran coste para adaptar los bancos de ensayo y todos los sistemas del monoplace a los nuevos controles electrónicos y, en segundo lugar, que no permitirá sacar todo el partido posible a las distintas tecnologías que se encuentran en cada coche puesto que las escuderías no van a poder optimizar la electrónica para sus propios sistemas y van a tener que usar la versión estándar o aproximadamente estándar. Esta medida reduce la investigación en el campo de la electrónica en Fórmula 1 e impide los avances tan importantes que esta investigación permitía en el terreno del vehículo convencional.

Tomemos dos ejemplos concretos, las unidades de control electrónico de los nuevos sistemas de frenada regenerativa y el control de tracción, que es el cambio fundamental para la temporada 2008.

La frenada regenerativa se ha permitido en la Fórmula 1 para aprovechar el ritmo vertiginoso de investigación de este deporte y conseguir con ello desarrollar esta tecnología para su rápida introducción en los coches de calle. Este tipo de sistemas conseguirán reducir el consumo, y por tanto las emisiones contaminantes, de los vehículos del futuro.

El objetivo de la frenada regenerativa es evitar disipar la energía cinética del vehículo

⁽¹⁾ Organismo encargado de elaborar las normas tanto técnicas como deportivas para multitud de competiciones de motor; entre ellas la Fórmula 1 y el World Rally Championship.



Figura 1. Mercedes-Benz 500 SE (W126 de la clase S), 1979, versión de EE UU.

en forma de calor en los frenos y conseguir almacenar parte de esta energía en algún dispositivo para su posterior utilización como complemento a la energía que proporciona el motor (se alcanzarían hasta unos 100 CV adicionales durante entre cinco y diez segundos²).

La gestión eficiente de los flujos de energía entre el dispositivo que la almacena, el motor y las ruedas tractoras y, en suma, la optimización del funcionamiento de un sistema de frenada regenerativa requieren de una electrónica cuidadosamente desarrollada y adaptada al sistema particular que lleve cada modelo de vehículo. La introducción de unidades electrónicas estándar en la Fórmula 1 para el control de estos dispositivos probablemente impida aprovechar al máximo las posibilidades de la frenada regenerativa, al tiempo que provocará una disminución de los recursos que los equipos destinan a investigar y desarrollar la electrónica que controla este sistema, con las consecuencias que esto puede acarrear para la evolución de las versiones incorporadas en los vehículos convencionales.

Control de tracción

El control de tracción merece un epígrafe aparte porque es para muchos la muestra más relevante de la transferencia tecnológica entre la Fórmula 1 y los automóviles de calle. Si bien es cierto que el control de tracción hizo su aparición de la mano de Mercedes-Benz con su W126 de la clase S en 1979 (Figura 1), mientras que en la Fórmula 1 las primeras versiones, al menos las conocidas, son

de los ochenta, la investigación en las escuderías ha permitido el rápido desarrollo de los sistemas comerciales.

Analicemos brevemente el principio de funcionamiento del control de tracción. Este sistema tiene como objetivo impedir que las ruedas tractoras derrapen y en ocasiones avisar al piloto o conductor del inicio de esta circunstancia.

Si tratamos de acelerar las ruedas por encima de un cierto valor, que depende de factores como las condiciones del asfalto, el tipo de neumáticos o, especialmente en la Fórmula 1, de la carga aerodinámica que presione al monoplaza contra el circuito, se produce una pérdida de adherencia y las ruedas derrapan. Los neumáticos de un vehículo se ven sometidos a dos tipos de aceleración, una es la longitudinal debida a aceleraciones y frenadas y otra la lateral que aparece fundamentalmente cuando se circula por una curva. El nivel de adherencia entre neumático y carretera que exige esta combinación de acciones longitudinales y laterales no puede superar un cierto límite para evitar precisamente la pérdida de adherencia y el consiguiente deslizamiento de la rueda (la adherencia total que se le exige a un neumático, combinación de la adherencia longitudinal y transversal, debe situarse dentro de la denominada *elipse de adherencia*).

“Los coches de la calle también poseen control de tracción, sistema que en los monoplazas tiene como misión lograr la estabilidad del vehículo”

Cuando los neumáticos derrapan se produce un desgaste mayor y el tiempo por vuelta aumenta. Esto es lo que se pretende evitar con el control de tracción, cuyo objetivo es permitir siempre enviar a las ruedas la máxima potencia posible. Para detectar si las ruedas derrapan se emplean sensores que comparan la velocidad de éstas con la de movimiento del vehículo (tanto en los monoplazas de Fórmula 1 como en coches de calle). Si la rueda gira más rápido de lo que debería en función de la velocidad del monoplaza es que hay derrape y entonces se reduce la potencia del motor hasta que la rueda deje de deslizarse³. Sistemas similares al

⁽²⁾ El autor es algo menos optimista que la FIA sobre esta cifra, al menos durante unos años.

⁽³⁾ El control de tracción puede realizar otra serie de acciones, no únicamente reducir la potencia del motor: El diseño y actuaciones concretas dependen del modelo de vehículo considerado.

control de tracción también se emplearon para que los coches tuvieran una mejor salida al comienzo de las carreras, aunque estos dispositivos están prohibidos en la actualidad. De hecho, como se indicó más arriba, los coches de calle también poseen control de tracción, y la diferencia respecto al sistema de los monoplasas es que en vehículos convencionales la misión del sistema es lograr la estabilidad del vehículo y no la máxima transmisión de potencia⁴.

En la Fórmula 1, el control de tracción ya ha sido prohibido en el pasado, pero la FIA lo reintrodujo en la Fórmula 1 en 2002 porque era muy complicado controlar que los equipos no estuvieran realizando las mismas funciones que el control de tracción a escondidas, por medio de las unidades de control electrónico del motor. Sin embargo, para 2008, la obligación de usar unidades electrónicas estándar hace más fácil prohibir el control de tracción y vigilar que ninguna escudería lo esté empleando de forma encubierta. La desaparición del control de tracción de la Fórmula 1 deja a la investigación en automóviles sin el constante aprendizaje de la competición para seguir desarrollando estos sistemas.

Aerodinámica

Prácticamente desde sus inicios la industria del automóvil tuvo en cuenta consideraciones aerodinámicas. Sin embargo, el objetivo principal era reducir el coeficiente drag del coche (un menor valor de este coeficiente supone una mejor penetración del vehículo en el aire, es decir una menor resistencia al avance). La definición matemática del coeficiente drag es⁵:

$$C_d = \frac{D}{1/2 \cdot \rho \cdot V_{\infty}^2 \cdot A}$$

donde D representa el drag propiamente dicho, es decir, la fuerza de resistencia aerodinámica que actúa sobre el vehículo en dirección longitudinal, ρ la densidad del aire, V_{∞} la velocidad del aire sin perturbar⁶ elevada al cuadrado y A el área de referencia (en automoción se suele tomar el área frontal del vehículo).



Figura 2. Dario Resta y su mecánico en el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916.

El objetivo de los diseñadores era, por tanto, reducir el valor del coeficiente drag para con ello disminuir el valor de la fuerza longitudinal que el vehículo debía vencer para avanzar.

Por ejemplo, el Peugeot que ganó las 500 Millas de Indianápolis en 1916 tenía una parte trasera con forma ligeramente afilada, y no cuadrada como la parte delantera, para reducir el drag del vehículo (se adivina en la figura 2, no sólo en el Peugeot, coche 17, sino también en el que está a la derecha de la imagen).

Sin embargo, el principal salto cualitativo se produjo cuando los ingenieros de aerodinámica se empezaron a preocupar por el coeficiente lift, de definición análoga al coeficiente drag pero sustituyendo la fuerza aerodinámica longitudinal por la fuerza aerodinámica vertical. En concreto, el objetivo de los diseñadores era reducir el valor del coeficiente lift, e incluso hacerlo negativo, especialmente para coches deportivos. Con un lift negativo o downforce (fuerza que aprieta al vehículo contra el suelo) se están consiguiendo velocidades de paso por curva

⁽⁴⁾ En el ámbito de este epígrafe, una aportación clave de la Fórmula 1 a nuestros vehículos es el control de estabilidad. El control de tracción puede evitar el derrape de las ruedas de diversas formas, por ejemplo mediante la reducción de la potencia del motor o bien frenando ligeramente las ruedas adecuadas. En este último caso, también el ABS y los sistemas de control de estabilidad de las distintas marcas pueden actuar mediante la aplicación de pequeños pares de frenado sobre una o varias ruedas para mejorar la frenada o para evitar la pérdida de estabilidad.

⁽⁵⁾ En ocasiones se emplea el subíndice x en lugar de D para el coeficiente drag.

⁽⁶⁾ Velocidad relativa aire-vehículo. Por ejemplo, si el automóvil circula a 300 km/h la velocidad V_{∞} sería precisamente 300 km/h. Se habla de la zona del aire sin perturbar porque la velocidad relativa entre aire y coche en la zona próxima a la superficie del vehículo cambia por la interacción fluido-cuerpo.



Figura 3. Dodge Ram 2005, versión de calle.



Figura 4. Dodge Ram 2006, versión deportiva.

que pueden superar en más de tres veces las velocidades del mismo vehículo sin downforce.

La introducción de los distintos alerones tan típicos en un coche de competición actual se produce precisamente para lograr downforce (los vehículos convencionales tienen en general un lift positivo, es decir, al aumentar la velocidad la fuerza aerodinámica vertical es de sustentación y tiende a despejarlos del suelo, especialmente en la zona del eje trasero).

En el terreno de la aerodinámica, los coches de calle han heredado numerosos elementos de las lecciones aprendidas en la competición y, si bien en general no cuentan

con alerones ni con un suelo aerodinámico⁷, sí que han incorporado avances que permiten una mejor estabilidad del vehículo a elevada velocidad, cuando la aerodinámica es realmente importante, así como otras modificaciones para lograr un menor ruido aerodinámico en el habitáculo, menor acumulación de suciedad en los trayectos largos y una mayor eficiencia en temas como ventilación o refrigeración.

En las siguientes imágenes se incluyen algunos ejemplos de las mejoras aerodinámicas que los coches de calle han ido incorporando de la automoción deportiva.

En primer lugar, el Dodge Ram de 2005, tipo de vehículo muy común en EE.UU., incorpora un frontal redondeado que busca reducir el drag. En este tipo de vehículos, dos elementos que contribuyen a aumentar el drag son la cabina y el portón trasero. Este efecto se reduce cubriendo la parte descubierta del vehículo o abriendo el portón. En la versión deportiva de este modelo se aprecia una apariencia similar pero una parte trasera efectivamente cubierta y un portón trasero modificado para actuar de alerón. En la versión de calle se incorpora un pequeño alerón en la parte posterior, que tiene de todas formas un papel predominantemente decorativo.

La competición ha permitido en este caso aprender a emplear elementos en la versión de calle que reducen el drag, como es el frontal redondeado comentado.

Como segundo ejemplo se puede considerar el Chrysler Neon, que utiliza en el modelo de venta al público numerosos elementos de la versión deportiva (spoiler delantero, faldones laterales, etc.). Esto tiene por objeto, por un lado, mejorar su atractivo y aumentar las ventas, pero por otro lado, aumentar su estabilidad a alta velocidad, lo que incrementa notablemente la seguridad. Sobre este último aspecto es importante comentar que lo que permite esa mayor estabilidad es un diseño de vehículo en el que el centro de presiones coincide con el centro de gravedad o se encuentre lo más próximo posible. De esta forma la distribución del lift entre eje delantero y trasero es muy similar al reparto del peso entre los dos ejes, lo que proporciona la mayor estabilidad. En las imágenes se muestran las dos versiones del Chrysler Neon.

⁷⁾ Suelo se refiere a la parte inferior del coche, que en muchos vehículos de competición está tapada por una placa con forma aerodinámica, si las normas de la competición en concreto lo permiten, que contribuye a la generación de downforce.

Como último apunte sobre aerodinámica, es interesante comentar el caso del Honda Civic. Este vehículo, en cuyo diseño se emplean bastantes lecciones aprendidas en la Fórmula 1, carece curiosamente de limpiaparabrisas trasero, ya que el propio diseño se encarga de evacuar el agua de esta zona del coche (Figura 7).

Motor

El motor de un Fórmula 1 opera en unas condiciones muy distintas y mucho más exigentes que el motor de un vehículo convencional. Sin embargo, el objetivo de la competición es, al menos según la FIA, hacer que la investigación sobre los motores de los monoplazas sí tenga utilidad para los motores del resto de automóviles. Para ello, por ejemplo, se han reducido las revoluciones máximas hasta 19.000 r.p.m., que de todas formas sigue muy lejos del régimen máximo de un motor normal.

El hecho es que la investigación sobre motores, no sólo en la Fórmula 1, sino también en otras competiciones deportivas, ha servido en algunas ocasiones para contribuir al avance de los diseños de los automóviles de alta gama e incluso a veces de los vehículos en general. Sirva de ejemplo el caso de Audi, marca que, si bien no participa en la Fórmula 1, sí lo hace en otras competiciones como las 24 Horas de Le Mans. Como destacaba un portavoz del fabricante alemán, Josef Schlossmacher, los motores especiales turbo combinados con inyección directa que se emplearon en 2001 en la competición se han introducido con éxito en varios modelos de venta al público.

Combustible

Según las normas actuales de la Fórmula 1, los combustibles deben estar basados en compuestos comerciales habituales, para así acercar la investigación que se lleva a cabo en competición a los desarrollos de los combustibles convencionales. Ya no se permiten las mezclas que hace años lograban superar la barrera de los 1.000 CV de potencia en los motores de los monoplazas.

En concreto, desde ELF, que proporciona el combustible al equipo Renault F1, indican que los motores convencionales se han beneficiado de la investigación que en Fórmula 1 se ha llevado a cabo por ejemplo sobre algunos fluidos que permiten un mayor ahorro de energía. También la Fórmula 1 ha aprendido de la investigación en



Figura 5. Chrysler Neon, versión de call



Figura 6. Chrysler Neon, versión deportiva.

coches de calle, por ejemplo sobre soluciones para reducir el desgaste de los componentes del motor. Tras adaptar dichas soluciones para la competición, se han introducido de buen grado en las distintas escuderías.

Por último, es importante señalar que, poco a poco, se irán introduciendo los denominados biocombustibles en la Fórmula 1, para orientar la investigación que realizan los equipos hacia las necesidades de las marcas fabricantes en sus modelos de venta al público.

Materiales

Aunque hay algunos resultados de la investigación en el ámbito de los materiales que sí encuentran su aplicación en los automóviles de calle, hay que admitir que, en general, los



Figura 7. Nuevo Honda Civic, que carece de limpiaparabrisas trasero. © Honda.



Figura 8. El HANS (Head and Neck Support System), que va unido al casco de los pilotos.

materiales de un Fórmula 1 o no se aplican en otros sectores o, como mucho, se emplean en aeronáutica, pero no en automoción. Tal es el caso de la fibra de carbono, de la que se construye el casco del monoplaza y los alerones y otros elementos aerodinámicos (en conjunto hasta el 80% del coche). El elevado coste tanto de la fibra de carbono como de otros materiales especiales que se empleaban, sobre todo hace unos años, en el motor no justifica su uso en automóviles convencionales, a pesar de sus numerosas ventajas.

La FIA tiene por objetivo acercar la investigación de la Fórmula 1 a los automóviles de calle que fabrican las marcas que participan en la competición, pero el campo de los materiales es uno de los más alejados de nuestros vehículos de todos los días.

Seguridad

Relacionado con los materiales se encuentra el importante tema de la seguridad. Tras el estremecedor accidente de Robert Kubica

en el GP de Canadá de este año, del que el piloto polaco de BMW salió ileso, así como después de presenciar otra serie de accidentes sin consecuencias graves, pero no menos violentos, en monoplazas de otras categorías, el tema de la seguridad en las competiciones de motor ha vuelto a estar de actualidad.

Aunque sería maravilloso que nuestros coches se comportasen como el Fórmula 1 de Kubica, no debemos olvidar que la célula de supervivencia de un monoplaza, que es la zona del chasis alrededor del piloto y cuya función es proteger su vida, está construida de paneles tipo sandwich formados por fibra de carbono con un interior de honeycomb de aluminio (estructura hexagonal similar a la de una colmena). Esto sería impensable actualmente en un coche cualquiera debido a su precio.

En el caso de la seguridad, si bien la Fórmula 1 ha podido contribuir a algún avance puntual, lo cierto es que nuestros automóviles son cada día más seguros debido a factores como los ensayos de impacto o crash tests cada vez más desarrollados, el estudio de los datos recopilados de accidentes, la electrónica, etc.

Un ejemplo curioso de la aportación de la Fórmula 1 a la seguridad lo constituye el dispositivo HANS (Figura 8). En competición se emplea desde hace unos años para proteger la zona del cuello tras un impacto. La marca Renault trabaja para introducir paulatinamente un dispositivo parecido para los niños de entre seis y diez años en sus coches. Los estudios llevados a cabo por la marca gala han concluido que una de las causas por las que se producen más lesiones en niños que en adultos es que aquéllos no encajan perfectamente en los sistemas de sujeción que emplean la mayoría de los vehículos. Además si los niños se duermen pueden quedar mal colocados y estar desprotegidos ante un posible impacto. El sistema de Renault busca mantener a los niños sujetos aunque éstos se duerman durante un viaje. ■

Bibliografía

- [1] Isaac Prada y Nogueira, Blog Tecnología de Fórmula 1 en Yahoo!.
- [2] Joseph Katz. *Race Car Aerodynamics*. Bentley Publishers.com, 2006.
- [3] Publicaciones varias, Renault FI Team.
- [4] F.Aparicio Izquierdo. *Teoría de los Vehículos Automóviles*. UPM, 2001.