

Autos de Fórmula 1: física

Alejandro Ramírez Solís
Facultad de Ciencias, UAEM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Todos conocemos lo que son los autos de carreras, la mayoría de nosotros a través de la TV. Existen múltiples categorías de autos de carreras y éstas se definen, principalmente, por la potencia de los motores usados en cada una de ellas. Los autos con el mejor desempeño y mayor eficiencia son los que compiten en la categoría de Fórmula 1 (F1). Lo que la mayoría de la gente no conoce es que para lograr el desempeño extraordinario de los F1, la industria ha utilizado e incorporado durante más de seis décadas conocimientos que involucran cinco áreas de la física: la termodinámica, la cinemática, la dinámica de cuerpo rígido, la dinámica de fluidos y la ciencia de materiales. Sin embargo, y este resulta un aspecto crucial, no podemos descartar tampoco los avances impresionantes que ha aportado la fisicoquímica de materiales avanzados en lo que concierne al desarrollo de las llantas (mezclas de polímeros especiales), del chasis y de la celda que protege al piloto. Como el lector puede imaginarlo, se trata de un tema muy amplio y con muchas vertientes, así que en esta entrega nos centraremos solamente en algunos pocos aspectos de la aplicación de la física a la F1.

Para empezar y poner al lector en contexto, es útil tener un punto de comparación que nos permita apreciar mejor lo que significa el

desempeño extraordinario de los autos de F1. Para los constructores de autos el desempeño involucra cinco aspectos: aceleración máxima, desaceleración máxima, velocidad máxima, aceleración lateral máxima y seguridad para el piloto. Para comparación usaremos los autos que nos son familiares, y aunque podemos pensar que existen grandes diferencias entre un Tsuru taxi y un BMW, éstas son menores que las que separan al mejor auto deportivo de calle (digamos un Porsche 911) de un auto de F1. Expliquemos esto con una cantidad cinemática crucial, la aceleración que puede alcanzar un auto. Los autos modernos promedio son capaces de llegar a los 100 km/h en 8-10 segundos, partiendo del reposo en una carretera plana al nivel del mar (ya que la presión del oxígeno en la atmósfera juega un papel muy importante para la eficiencia del motor), mientras que los deportivos más caros pueden hacerlo en 5-6 segundos, aunque existe un modelo de Porsche para calle (cuyo valor se acerca al millón de dólares) que es capaz de hacerlo en 3.8 segundos utilizando un motor híbrido (eléctrico/gasolina) turbocargado. Actualmente, un auto de F1 (que no puede ser turbocargado por regulación) es capaz de acelerar de 0-100 km/h en 1.7 segundos, de 0-200 km/h en 3.8s y de 0-300 km/h en 7.8 s.

Para comprender mejor lo que estas cifras significan, es útil saber que 100 km/h equivale a 36 m/s y que la aceleración de la gravedad (g) aumenta la velocidad de un objeto 9.8



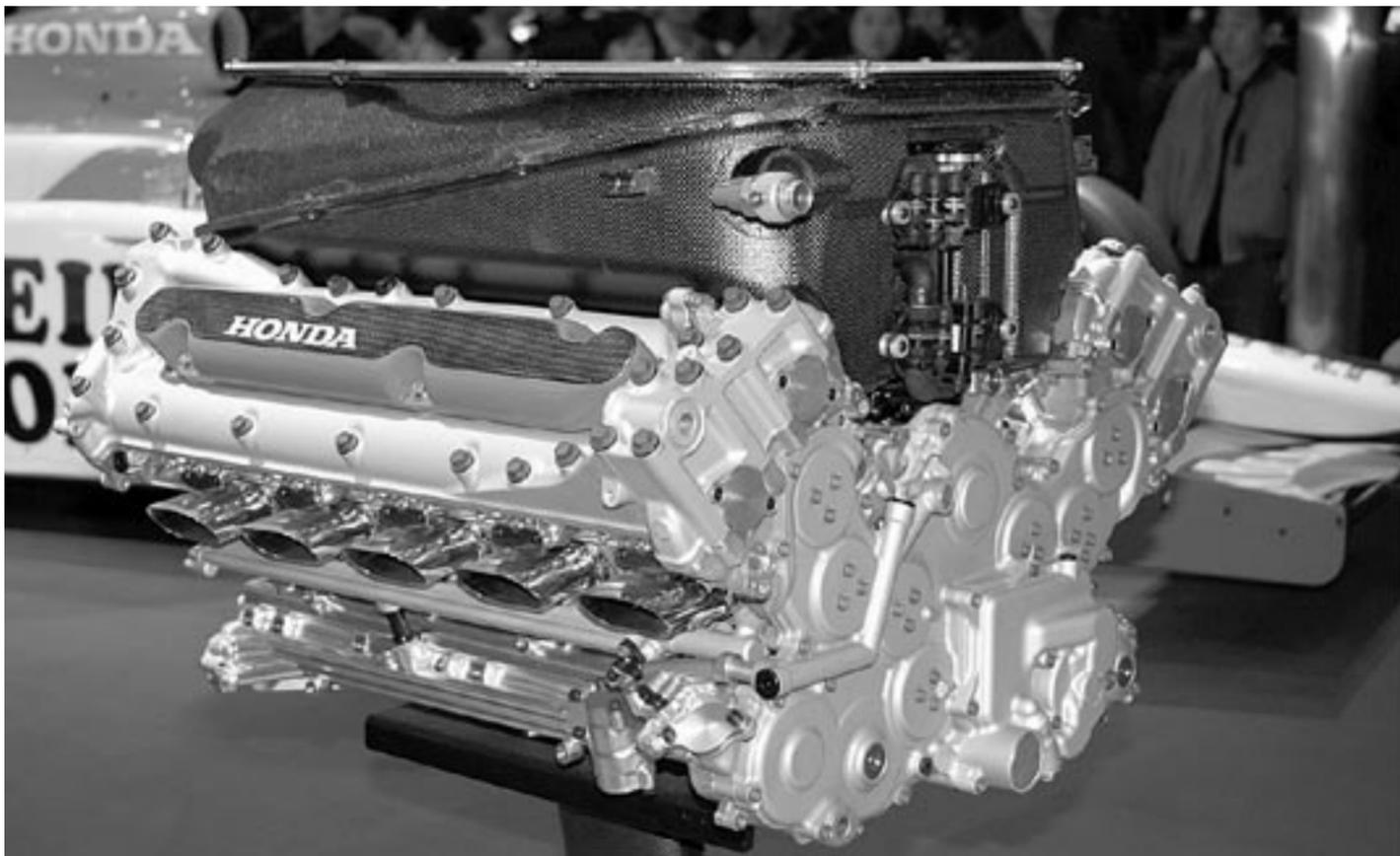
m/s por cada segundo de caída (es decir, $g=9.8 \text{ m/s}^2$). Esto nos permite calcular la aceleración de un F1 en unidades de g : 2.1 veces la gravedad durante los primeros 100 km/h y 1.9 veces g durante los primeros 4 segundos. Estas son aceleraciones que nos dejarían mareados y fuera de control a la mayoría de nosotros. Si recordamos la segunda ley de Newton, $F=ma$, que nos dice que la fuerza F es igual a la masa (m) de un objeto por la aceleración (a) a la que es sujeto, resulta evidente que para lograr una mayor aceleración es necesario optimizar dos canti-

dades, maximizar la fuerza que se le aplique (haciendo más potente el motor) y simultáneamente disminuir su masa. Un Newton es la fuerza capaz de acelerar un kg cambiando su velocidad 1m/s cada segundo. Aquí introducimos la cantidad crucial que usan todos los constructores de autos, conocida como la relación peso/potencia. La potencia es la cantidad de energía que se gasta por unidad de tiempo y se mide en Joules/segundo; esta es una cantidad familiar para todos pues corresponde a un Watt. Así que la relación peso/potencia de

un auto nos dice cuánta masa tiene que acelerar cada unidad de potencia del motor. La masa se mide en kg y la potencia (por razones históricas) se mide en caballos de fuerza (HP o *Horsepower* en inglés), con la equivalencia $1\text{HP}=745.7 \text{ Joules/segundo}$ o 746 Watts.

Aquí podemos regresar a nuestra referencia de los autos comunes, que pesan entre 1,000 y 1,700 kg, con motores de 110 a 180 HP, con lo cual podemos obtener un promedio de alrededor de 10 kg por caballo de fuerza para la relación peso/potencia de los autos actuales de calle. Este cociente explica porqué un auto barato con poca masa (1,000 kg) y poca potencia (100 HP) es capaz de acelerar casi tan rápido como un auto mucho más caro, con más masa (1,700 kg) y casi el doble de potencia (180 HP). La aceleración increíble de un auto de F1 se explica por el mismo principio, con una masa de alrededor de 600 kg (al principio de la carrera con el tanque de combustible lleno) y una potencia de 750-800 HP, lo que nos lleva a un cociente de menos de 1kg/HP.

Ahora resulta pertinente mencionar que si un F1 es capaz de alcanzar en pocos segundos los 370 km/h, dado que las carreras se llevan a cabo en circuitos especiales, es necesario poder frenar el auto con mucha rapidez para negociar las curvas al final de las rectas. Esta es otra de las características extraordinarias de los F1, ya que pueden lograr desaceleraciones desde los 340 km/h a 90 km/h en menos de 2 segundos utilizando frenos con discos hechos de fibra de carbono puro. Esto impone aceleraciones negativas de hasta nueve veces la



...a al límite



de la gravedad sobre los pilotos de F1. La aceleración lateral máxima, que es la que define qué tan rápido se puede tomar una curva, depende de la altura del centro de gravedad del auto (mientras más bajo mejor), de la anchura máxima entre dos puntos extremos de las ruedas (mientras más ancho mejor) y, crucialmente, del coeficiente de fricción dinámico entre el compuesto de las llantas y el pavimento de la pista. La altura y anchura máxima (1.8m) del auto está regulada por la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) y desde hace más de una década este organismo decidió que todos los autos deberían usar los mismos neumáticos para evitar ventajas extremas entre equipos por desarrollo de materiales especiales, lo que eliminaría el espectáculo de una competencia cerrada entre escuderías. Esto lleva a que un auto de F1 sea capaz de soportar aceleraciones laterales 4-6 veces mayores que las de un auto común.

Todas estas cifras son realmente impresionantes y reflejan porqué los autos F1 son una especie aparte. Sin embargo, para explicar cómo se logra semejante desempeño es necesario entrar en el ámbito de la termodinámica. Esta área de la física se encarga, entre otras, del estudio de las transformaciones del calor en energía mecánica. Todos los motores de combustión interna (de los autos comunes y de los F1) convierten la energía química almacenada en el combustible, en la forma de enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno, en energía

mecánica a través de la expansión que produce la explosión controlada de la mezcla aire-combustible dentro de una cámara (el cilindro) donde se mueve un pistón. El combustible que usan los F1 es prácticamente el mismo que usan los autos comunes y contiene 33.1 millones de Joules por litro +/-4% (o 46.8 MJ/kg). Desde 2007 los motores F1 están limitados a ocho cilindros con un volumen total de 2.4 litros, lo que es igual a la cilindrada de los autos medianos comunes. Si se quiere obtener la mayor potencia por unidad de volumen de la mezcla, resulta obvio que lo más importante es acelerar al máximo el proceso de quemado de combustible, pero minimizando al máximo las pérdidas por fricción entre las partes móviles del motor. Es por esto que, mientras que los motores de autos comunes pueden girar hasta 6,000-6,500 revoluciones por minuto (rpm), los motores de F1 pueden funcionar a 20,000 rpm, aunque las limitaciones reglamentarias los limitan desde hace 12 años a 18,000 rpm.

Es curioso saber que de 1974 a 1988, periodo en que los motores F1 podían utilizar alimentación turbocargada de la mezcla aire-combustible, la velocidad del motor alcanzaba las 24,000 rpm y la potencia era de 980 a 1250 HP con motores turbo de 1.5 litros o motores normales de 3 litros con 10 ó 12 cilindros. Evidentemente esto llevaba a aceleraciones mayores y velocidades tope que sobrepasaban los 400 km/h en los mismos circuitos de carrera. Dado que la relación peso/potencia tan baja provocaba situaciones mucho

más peligrosas para los pilotos, la FIA decidió limitar aún más los motores restringiendo su tamaño y la cilindrada a 2.4 litros. Otro elemento de comparación es que un motor de auto común tiene alrededor de 2000 piezas, pesa más de 140 kg y se acopla usualmente con cajas de velocidades de cinco velocidades, mientras que el motor de F1 actual tiene más de 5,000 piezas (donde 1,500 son móviles), pesa menos de 95kg y se acopla a una caja de siete velocidades. Dado que durante una carrera la velocidad de rotación del motor está 90% del tiempo entre 16,500 y 18,000 rpm, el calor generado por la combustión tan rápida de cantidades enormes de combustible debe ser liberado al aire de la forma más eficiente posible. Los lectores habrán notado que los F1 cuentan con grandes tomas de aire a ambos lados del chasis, una para alojar al radiador que enfría el agua y otra para el radiador que enfría el aceite del motor.

La eficiencia de un motor es el cociente de la cantidad de energía mecánica de rotación que puede hacer girar el eje de las ruedas, dividido entre la cantidad de energía que ingresó al motor en forma de combustible. Un motor ideal, cuya existencia impide la segunda ley de la termodinámica, sería capaz de convertir la totalidad de la energía contenida en el combustible

que quema en energía cinética (de movimiento) y su eficiencia sería 100%. Los motores comunes actuales tienen una eficiencia entre 24 y 26%, lo que significa que tiran 3/4 partes de la energía de la gasolina que usan a la atmósfera en forma de calor. Un motor de F1 es capaz de alcanzar una eficiencia de 36% ya que ha sido diseñado para minimizar la fricción entre sus partes móviles usando piezas con formas y materiales muy especiales. Los tamaños y las masas de las piezas que deben oscilar a 18,000 rpm se han minimizado para lograr la mayor eficiencia posible sin que las piezas fallen durante al menos cuatro carreras, lo que equivale a diez horas produciendo la máxima potencia. Finalmente, el papel de la aerodinámica es fundamental para aumentar el desempeño, en particular en lo que concierne a la velocidad máxima y la aceleración lateral máxima. Dado que la FIA limita el tamaño y ubicación de las superficies de control (los alerones delanteros y traseros que funcionan como anti-alas) los constructores invierten sumas millonarias en simulaciones computarizadas del flujo de aire alrededor del chasis para determinar la forma óptima de disminuir la resistencia al aire y, simultáneamente, de aumentar el empuje del aire sobre la parte trasera del auto hacia abajo. Este empuje hacia abajo permite que

el auto tenga mejor tracción y que pueda tomar las curvas a mayor velocidad que la que podría alcanzar sin los alerones. El diseño teórico elegido se prueba posteriormente con un prototipo en un túnel de viento.

El espacio se termina y aún quedan muchos aspectos de la física en la F1 por explorar, así que remitimos al lector interesado a algunos sitios con mayor información. Para comparar el desempeño de los mejores autos deportivos actuales con un F1 ir al sitio <http://www.youtube.com/watch?v=lpJshzMrpD4>. El sitio <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/8235611/Formula-1-Autos-campeones-del-88-al-2010.html> cuenta con datos básicos como la relación peso/potencia de los F1 hasta el año 2010. Los sitios <http://www.youtube.com/watch?v=E15a6AEAXTg&feature=related> y <http://www.youtube.com/watch?v=m27xXVgg1nc&NR=1> muestran un motor F1 en el banco de pruebas antes de ser montado en el auto. La temperatura del gas a la salida promedia los 1,150 °C, lo que requiere del diseño y fabricación de aleaciones especiales. Para la comparación de frenado de un F1 contra un auto deportivo actual, ver el sitio http://www.youtube.com/watch?v=JMp7UR_YGsw y http://www.youtube.com/watch?v=hQaTSYNs_Kg.

