

# Software de Simulación Dinámica de Suspensiones en Vehículos de Competición.



**Nacho Suárez**

Ingeniero Electrónico, de Sistemas y de Control  
(nacho\_suarez@telefonica.net)



**Timoteo Briet**

Ingeniero de Aerodinámica y de Competición  
(info@timoteobriet.com)

## Introducción

La puesta a punto de un vehículo de competición es clave a la hora de obtener buenos resultados en las carreras. Los coches más equilibrados y con mejor puesta a punto suelen ser los más fáciles de conducir y los preferidos por los pilotos. Entre la multitud de parámetros que los ingenieros suelen modificar en un coche están los que se refieren a las suspensiones del vehículo. Estos ajustes de las suspensiones son claves para el buen comportamiento de los neumáticos y del chasis. Modificaciones a ciegas o malos ajustes pueden llevar a coches ingobernables o muy difíciles de conducir o de llevar al límite. Por ello, el ingeniero de competición debe rodearse de todas las herramientas necesarias que hagan que su trabajo de puesta a punto del coche sea fácil, rápido y fiable. Entre estas herramientas se encuentran los programas de simulación como el que se presenta a continuación. Veremos las características más interesantes de este software y cómo puede ayudar al ingeniero de competición en su trabajo de puesta a punto de las suspensiones del vehículo.

## Capacidad de Simulación

Lo primero que se ha de conocer al utilizar una herramienta de simulación son sus propios límites. Según las palabras de Pascal Vasselon Director General de Chasis del equipo de F1 Panasonic Toyota Racing, *"...la simulación no te va a decir cómo de dura ha de ser tu suspensión, sino que te dará un diagnóstico o la dirección en la cual trabajar. Dependerá de cómo se use, ya que la simulación no es la realidad"*. Efectivamente hay que saber lo que ofrece la simulación y hasta dónde se puede llegar, es simplemente una herramienta que ayuda a la configuración del coche previamente a su salida a pista. Los ajustes finos y finales deberán hacerse según las indicaciones del piloto y según los resultados del análisis de los datos extraídos de la telemetría.

El software que aquí se presenta permite realizar una simulación del comportamiento dinámico de las suspensiones de un vehículo de competición. Cuando se habla de *dinámico* se refiere al estudio de los movimientos de los elementos de la suspensión teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre los mismos, es decir, que aparecerán términos tales como las masas, momentos de inercias, durezas, etc. En ningún momento se estudiará el comportamiento cinemático de la suspensión, aunque sí aparecerán parámetros relacionados como, por ejemplo, la *relación de movimiento* (motion ratio).

## Modelos de simulación

El software permite simular el comportamiento completo de un vehículo de competición de cuatro ruedas empleando un modelo linealizado como primera aproximación (figura 1). Puede parecer algo limitado emplear un modelo lineal, sin embargo, éste presenta ciertas ventajas que lo hacen muy atractivo. Por ejemplo, las suspensiones de un vehículo real pueden trabajar durante gran parte del tiempo alrededor de un punto de equilibrio o de partida, con desplazamientos relativamente cortos o pequeños de sus elementos. Esto hace que la mayor parte del tiempo el comportamiento dinámico de la suspensión se pueda aproximar a un comportamiento lineal. Evidentemente, cuando se requieran estudiar situaciones especiales en las que la suspensión se aleje del comportamiento lineal (por ejemplo, el paso por encima de un piano) se necesitará modelar los elementos de la suspensión de una manera distinta.

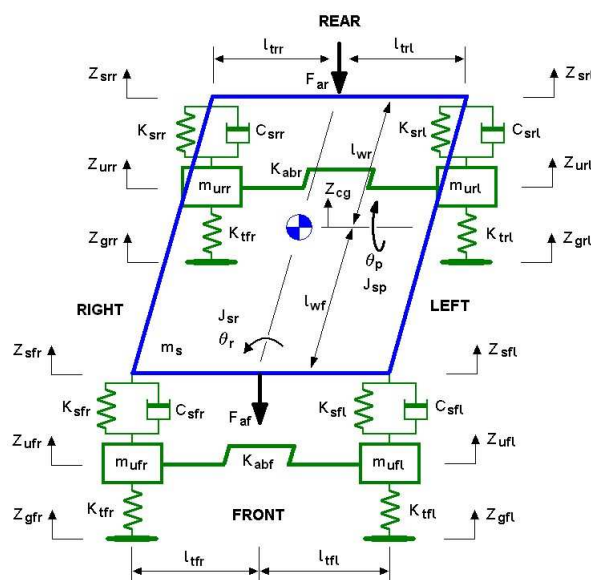


Figura 1

Otra ventaja de emplear un modelo lineal es la facilidad para caracterizarlo matemáticamente, lo que se traduce en tiempos de simulación relativamente cortos, muy útil en ambientes de competición donde el tiempo es oro. De sobra conocida es la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para estudios aerodinámicos en coches de competición, donde

una sola simulación puede llegar a tardar horas. Ello se debe fundamentalmente a la complejidad de las ecuaciones que el software debe resolver y al inmenso número de elementos simulados. Para reducir estos tiempos los grandes equipos recurren a superordenadores cuyos precios están al alcance de muy pocos.

Por último, también es de destacar que un modelo lineal es por lo general más sencillo y tiene pocos parámetros, lo que lo hace muy intuitivo y permite entender de forma fácil y cómoda cómo afecta cada uno de los parámetros al comportamiento general del sistema.

## Post-rig Virtual

El programa de simulación va a permitir al ingeniero disponer de una herramienta de ensayo post-rig virtual, donde poder estudiar el comportamiento global de las suspensiones del vehículo de competición antes de ponerlo en pista. Es decir, lo que se tiene es un ensayo en el que las entradas son señales que excitan verticalmente las suspensiones del vehículo (figura 2).



Figura 2

Como en todo ensayo post-rig, se podrá estudiar el comportamiento del coche desde el punto de vista de su respuesta en la frecuencia o de su respuesta en el tiempo. El primer caso es menos intuitivo pero muy útil, ya que permite evaluar de forma sencilla ciertas características de comportamiento, como por ejemplo la rapidez de respuesta de la suspensión, el agarre de los neumáticos, etc.

Hay que decir que la primera versión se trata de un post-rig virtual de cuatro postes en la que se puede incluir fuerzas aerodinámicas aunque de forma limitada. En versiones futuras se incluirá el uso de *aeromaps* (especialmente indicados para coches tipo fórmulas en los que existe una gran dependencia de la aerodinámica).

### – Elementos básicos de simulación

Como elementos más importantes de una suspensión que el software es capaz de simular están los muelles (springs) y los amortiguadores (dampers), ambos con modelos

lineales. Los amortiguadores de competición presentan ajustes y comportamientos no lineales, sin embargo, para el estudio de las características de respuesta en frecuencia, junto con las razones expuestas anteriormente, es más apropiado el uso de un modelo lineal. También incorpora los modelos de comportamiento vertical de las ruedas, donde se pueden ajustar las durezas de las mismas. Las barras antivuelco (anti-roll bars) son otro de los elementos simulados, de nuevo con ecuaciones lineales, en los que también se pueden elegir sus durezas.

Como elementos a incorporar en versiones futuras están el tercer amortiguador y los amortiguadores de inercia (inertor dampers) muy empleados en F1, así como modelos no lineales para los amortiguadores.

### – Parámetros del setup

El software permite introducir multitud de parámetros referentes al vehículo y las suspensiones de una forma clara y muy intuitiva. Por un lado se pueden establecer parámetros relativos al vehículo tales como, masa suspendida, masas no suspendidas, *motion ratios*, momentos de inercia, anchos de vía, batalla, etc. (figura 3).

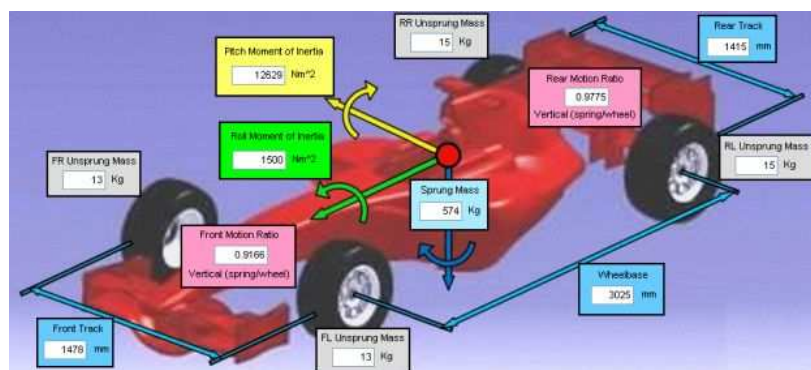


Figura 3

Por otro lado, se pueden ajustar las durezas de los elementos elásticos (muelles, ruedas y barras antivuelco) así como las constantes de los amortiguadores. También es posible variar el balance de pesos del coche expresado éste en tanto por ciento (figura 4). Las posiciones de partida de las masas suspendidas (*ride heights*) y no suspendidas son también ajustables.

Todos los parámetros ajustables que se han citado servirán para llevar a cabo la simulación dinámica del comportamiento de las suspensiones del vehículo, tanto desde el punto de vista de la frecuencia como del tiempo.

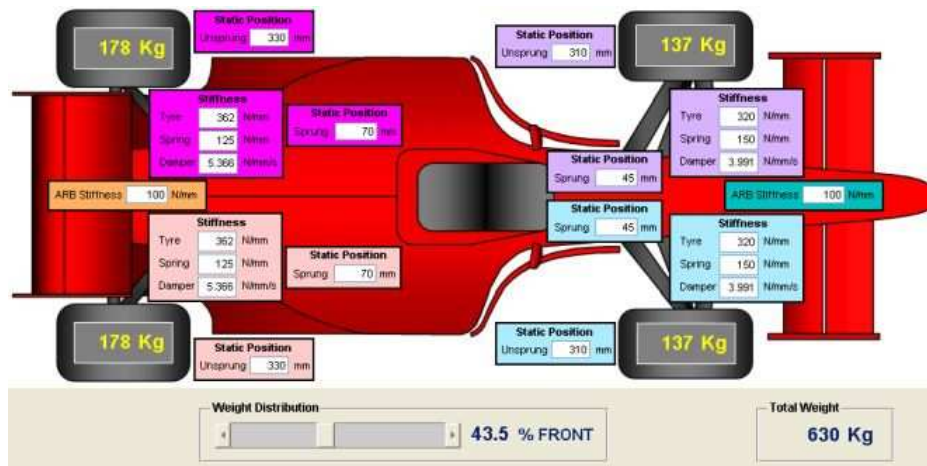


Figura 4

#### – Simulaciones en el dominio de la frecuencia

Este tipo de simulaciones permiten conocer el comportamiento de las diversas partes que conforman la suspensión del vehículo cuando es excitado con señales de diversas frecuencias. Para ello el software calcula varias *funciones de transferencias* que posteriormente podrán ser estudiadas a través de ciertas gráficas.

Pero, ¿qué son esas *funciones de transferencia* y cómo se interpretan sus gráficas? Básicamente, una *función de transferencia* es una relación entre dos señales, una que actúa como entrada al sistema y otra que actúa como salida, estudiada desde el punto de vista de la frecuencia. Supóngase que la señal de entrada es una senoide, que representa la ondulación de la carretera, a la que llamaremos  $Z_g$ . Esta señal puede ser representada en el dominio del tiempo como:

$$Z_g(t) = X \sin(2\pi ft)$$

donde  $t$  es el tiempo,  $X$  es la amplitud de la senoide y  $f$  su frecuencia. Si introducimos una señal como esta a una de las ruedas del vehículo y estudiamos lo que ocurre en otro punto de la suspensión que tomaremos como salida, por ejemplo la posición de la masa suspendida, tendremos otra señal senoidal de la misma frecuencia pero de distinta amplitud ( $Y$ ) y con cierto desfase ( $\phi$ ) respecto a la señal de entrada:

$$Z_s(t) = Y \sin(2\pi ft + \phi)$$

Estudiando la dinámica del sistema se puede obtener una *función de transferencia* que relacione la salida (posición de la masa suspendida) con la entrada (posición de la carretera). Esta relación puede ser estudiada a través de dos gráficas, una denominada *gráfica del módulo* y otra *gráfica de la fase*, que permiten observar el comportamiento del sistema en función de la frecuencia ( $f$ ) de la señal de entrada.

La primera de las gráficas permite conocer la relación de amplitudes entre la salida y la entrada en función de la frecuencia, es decir,

$$\text{módulo}(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

En muchas ocasiones el módulo se expresa en decibelios (dB), es decir,

$$\text{módulo}(f)_{dB} = 20 \log \frac{Y(f)}{X(f)}$$

por lo que cuando las amplitudes de la entrada y la salida son iguales ( $X=Y$ ) el módulo resulta ser 0 dB.

La gráfica de la fase muestra el desfase (expresado generalmente en grados) existente entre la entrada y la salida en función de la frecuencia, es decir,

$$\phi(f)$$

Un ejemplo de estos tipos de gráficas se observa en la figura 5.

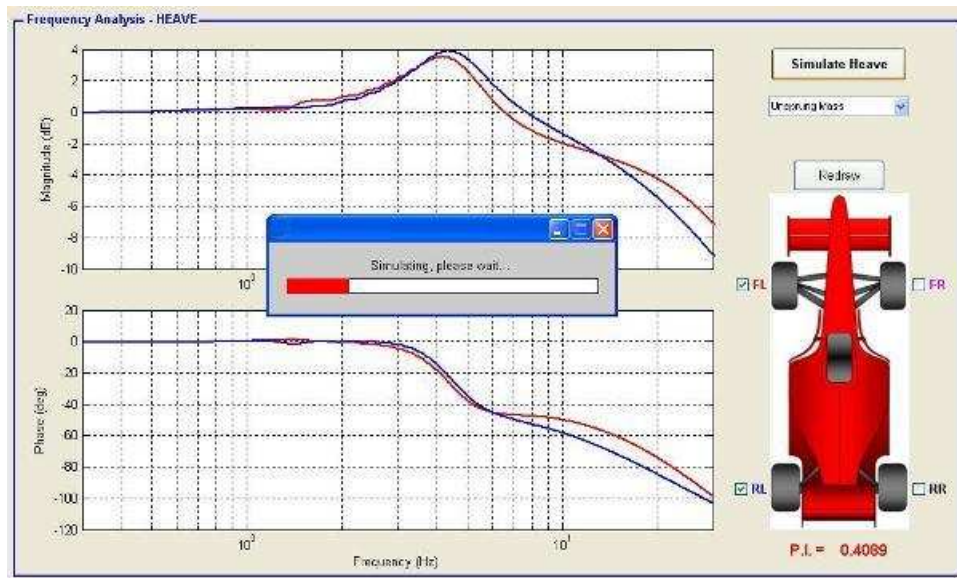


Figura 5

#### – Simulaciones en el dominio del tiempo

Del estudio de la respuesta en la frecuencia se puede establecer el comportamiento que se espera pueda tener la suspensión, sin embargo, para el usuario poco acostumbrado el dominio de la frecuencia es poco intuitivo, prefiriéndose en este caso la respuesta en el tiempo (figura 6). El software establece una serie de entradas a las ruedas, generalmente de tipo escalón (en versiones futuras de otros tipos), y permite conocer cómo influyen dichas excitaciones en el resto de elementos de la suspensión (masas suspendidas, no suspendidas, deformaciones en los neumáticos, etc.). El usuario podrá elegir el tipo de entrada y de análisis, así como las gráficas que desee visualizar (masas suspendidas, no suspendidas, deformaciones de los neumáticos, etc.). Las entradas de tipo escalón son muy útiles para determinar el

comportamiento global de las suspensiones ya que presentan componentes a todas las frecuencias.

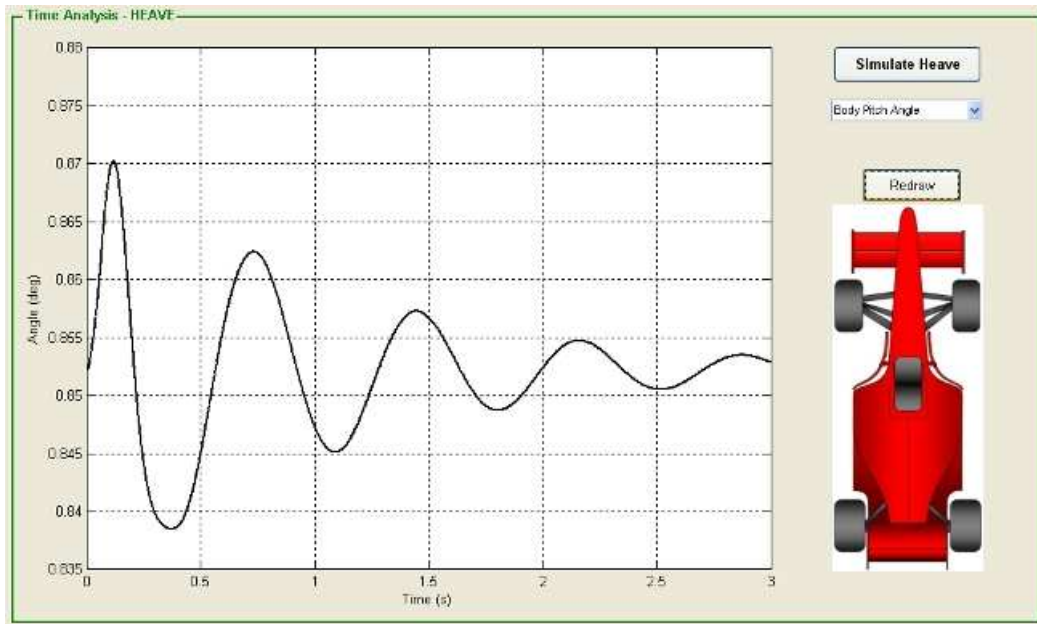


Figura 6

– **Performance Index.**

El programa proporciona una forma de comparar distintas configuraciones de la suspensión a través de un indicador llamado "Performance Index" (figura 7). En el cálculo de este número se tiene en cuenta el comportamiento de cada una de las partes que forman la suspensión de tal forma que las mejores configuraciones presenten un indicador más bajo.

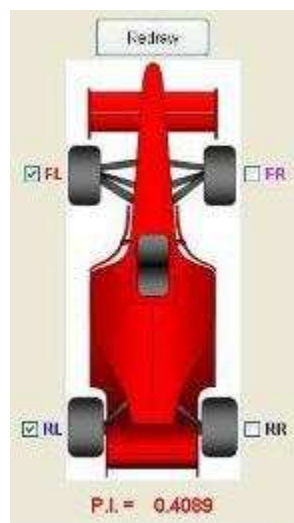


Figura 7

– **Otras Opciones.**

Entre las opciones más importantes del software están las que permiten almacenar todos los datos del setup en un archivo que posteriormente podrá ser cargado de nuevo en el programa. También se podrán guardar las distintas gráficas que se vayan generando. Además en versiones futuras se podrán intercambiar datos (setups, resultados,...) con Excel.

– **Versiones Futuras.**

Ya se ha ido avanzando previamente algunas de las posibilidades que en un futuro podrá incorporar el software. En resumen serán las siguientes:

- entradas de diversos tipos (por ejemplo, baches) aplicables por separado a cada una de las ruedas.
- incorporación de tercer amortiguador e *inertor dampers*,
- uso de *aeromaps*,
- simulaciones no lineales (dampers, bumps, packers, etc.),
- simulaciones en curvas y frenadas.
- otras, adaptables a las necesidades del cliente.