

motocicleta porque como consecuencia de la aceleración no viene completamente en línea con dicho eje, por tanto la fuerza lo que provoca es una frenada en una dirección que no es la misma que tiene el modelo en dicho instante.

## **6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **6.1 ANÁLISIS DE LA ACELERACIÓN**

La realización de este proyecto se ha centrado en hacer dos tipos de simulaciones por cada modelo de motocicleta, la primera de ellas consistente en hacer acelerar al modelo a través de una fuerza horizontal e intentar que dicho modelo se mantenga en equilibrio a través de fuerzas horizontales aplicadas en el centro de masas del chasis. El segundo tipo de simulación se basa en que una vez que la motocicleta ha alcanzado la velocidad adecuada y ha cesado la aceleración inicial, aplicarle una fuerza de frenada en la rueda delantera y observar su estabilidad.

Las fuerzas usadas para el guiado de las motocicletas vienen dadas por dos fuentes diferentes, empleando en cada caso la que mejor equilibrio ofrezca al modelo. La primera es el llamado control PID basado en los valores de inclinación y de velocidad angular del chasis. El segundo de tipo de fuerzas usadas para guiado del modelo se basa en una simple fuerza horizontal que es función del tiempo.

#### **6.1.1 MODELO PRINCIPAL**

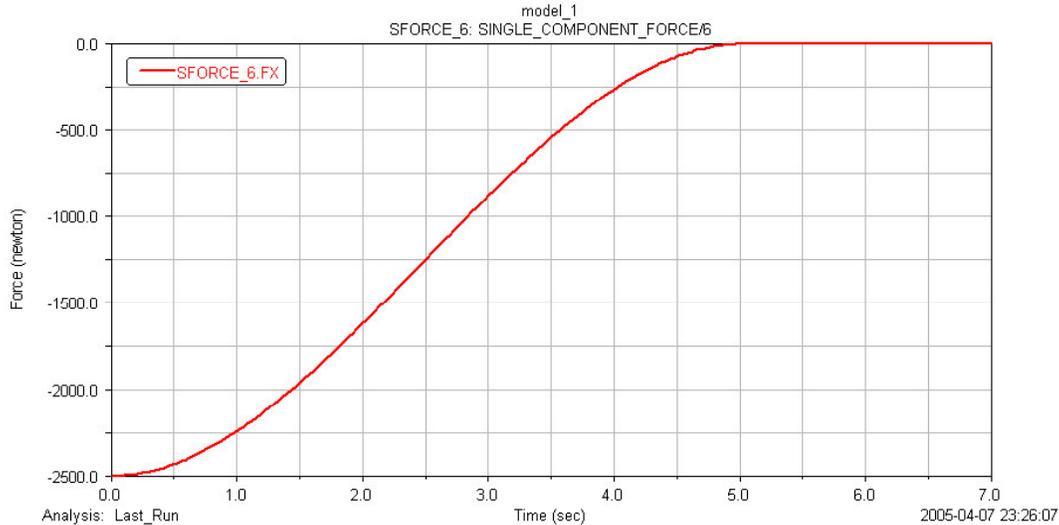
Primeramente, como se comento con anterioridad, habrá que obtener las frecuencias naturales del modelo. Para ello se anclará la rueda delantera y se eliminarán todas las fuerzas que actúan, es decir, tanto la de aceleración, frenada como la de rectificación para mantener el equilibrio.

Una vez realizada dicha comprobación se pasa a la simulación propiamente dicha, para lo cual habrá que darle al modelo una fuerza de aceleración para que alcance la velocidad que se quiere. En este modelo en

concreto se hará simulaciones con dos velocidades diferentes para lo cual habrá que modificar la fuerza de aceleración.

### 6.1.1.1 1ª SIMULACIÓN

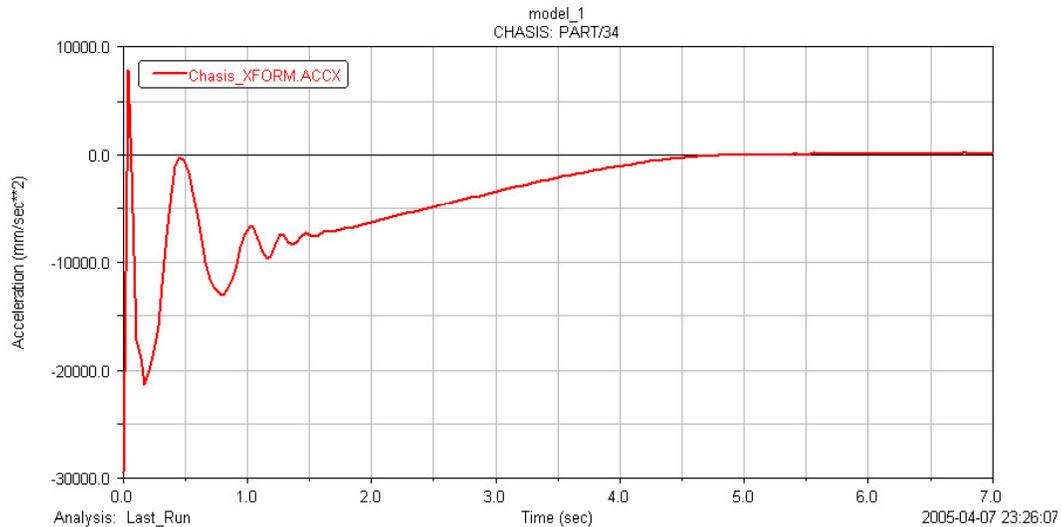
En esta primera simulación la fuerza de aceleración se le dará para que alcance una velocidad de aproximadamente 90 Km/ h y el tiempo con el que se realizará dicha simulación será de 7 segundos para que de esta manera se pueda ver el comportamiento de la moto después de la aceleración, que llega hasta  $t = 5$  segundos. El valor que tendrá esta fuerza será:



**Fig. 68.-** Fuerza de aceleración.

Como se puede observar dicha fuerza tiene un valor negativo pero es debido a que la dirección que posee nuestra fuerza es en el eje X negativo con respecto al eje de coordenadas de referencia.

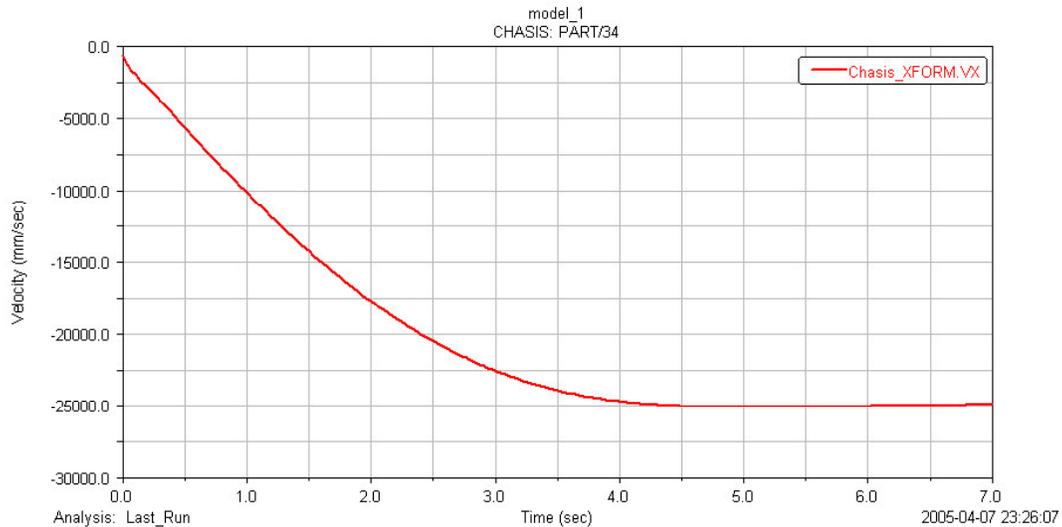
La aceleración producida en el chasis por dicha fuerza será la siguiente:



**Fig. 69.-** Aceleración en el chasis.

Como se puede observar, el inicio de la marcha del modelo es algo irregular debido a que la motocicleta no está apoyada perfectamente en la carretera sino que está situado tan cerca como ha sido posible del punto de apoyo. Cabe destacar en la aceleración producida en el chasis su forma descendente, coincidiendo con la forma que posee la fuerza de aceleración dada en la rueda trasera. Los primeros valores son muy elevados debido a que el modelo parte de velocidad nula siendo el esfuerzo a realizar mucho mayor que cuando la moto está ya en movimiento.

Con la fuerza de aceleración dada al modelo y la aceleración producida en él, la velocidad que adquiere el chasis, y por tanto la motocicleta, irá creciendo de forma parabólica al igual que lo hace, pero de manera decreciente, la fuerza. En la gráfica de la velocidad la velocidad viene dada en mm/ s y puede verse que crece desde velocidad nula hasta 25000 mm/ s, es decir, 90 Km/ h.



**Fig. 70.-** Velocidad del chasis.

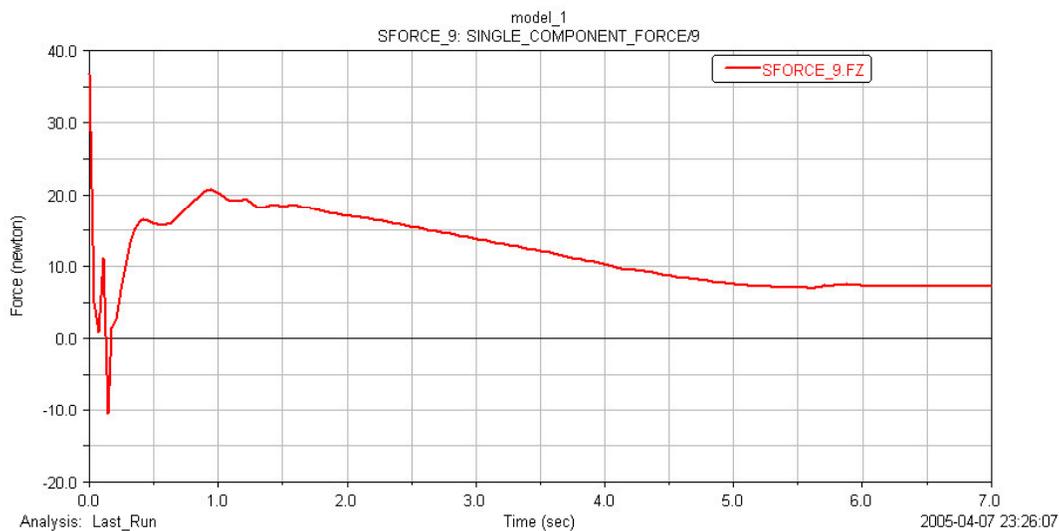
En el resto de las partes de la motocicleta, los valores que llegan a alcanzar tanto de aceleración como de velocidad son los mismo que en el caso del chasis.

Para poder saber lo que realmente sucede en la moto se analizará tanto la fuerza aplicada para mantener el equilibrio del modelo, los ángulos de inclinación y de cabeceo, la deformación que sufre los amortiguadores y las fuerzas en las uniones.

En cuanto a la fuerza usada para mantener a la motocicleta en equilibrio se ha optado en este primer caso por la solución que nos aporta el control PDI, es decir, basándonos en los valores de inclinación y de velocidad angular del chasis. El valor que se le dará a esta fuerza se ha conseguido de una manera totalmente aleatoria a base de hacer diversas simulaciones para poder afinar el valor de dicha fuerza, llegando a un valor de:

$$F = -128*az(\text{Chasis.cm})+59*wz(\text{Chasis.cm})$$

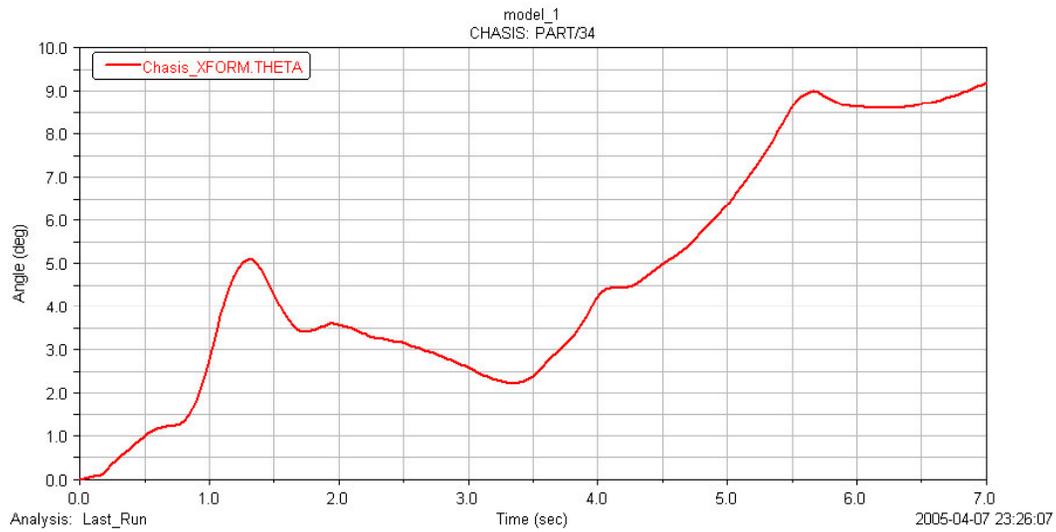
Con esta fuerza la motocicleta no se desvía demasiado de su posición recta como puede observarse tanto por la simulación propiamente dicha como por el ángulo de inclinación del chasis que alcanza un valor máximo de aproximadamente 9.5 grados, inclinación que puede ser resuelta fácilmente si se pudiese simular mejor al piloto. La forma y valor que alcanza dicha fuerza puede verse en la siguiente figura donde una vez estabilizado el modelo el valor que hace falta para poder mantener la moto en equilibrio son aproximadamente 10 N:



**Fig. 71.-** Fuerza estabilizadora.

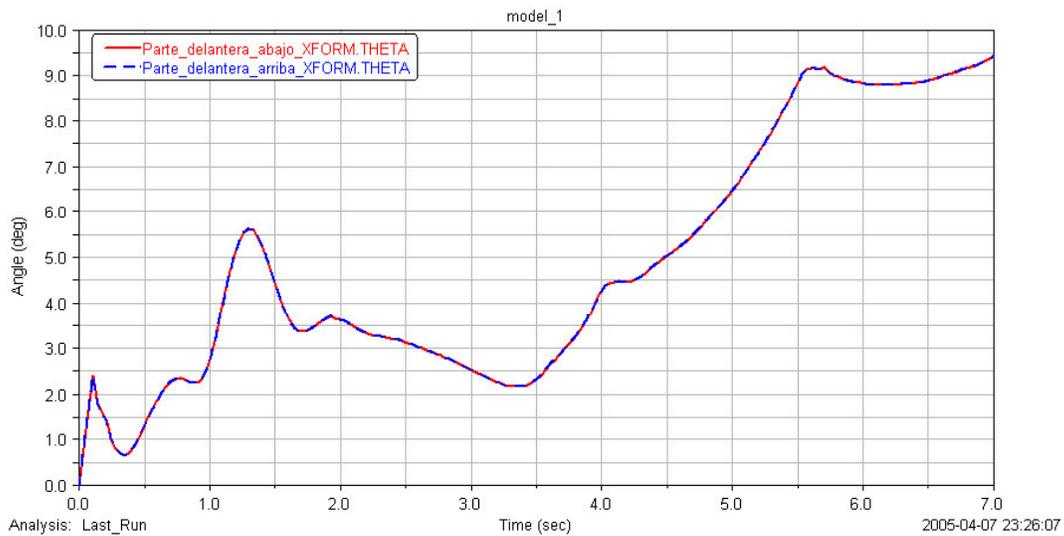
Los valores iniciales tanto del ángulo de inclinación como el ángulo de cabeceo, corresponden a la posición de diseño del modelo, por lo que no se juzgará su valor inicial sino su variación a lo largo de la simulación.

El valor del ángulo de inclinación del chasis será el siguiente:

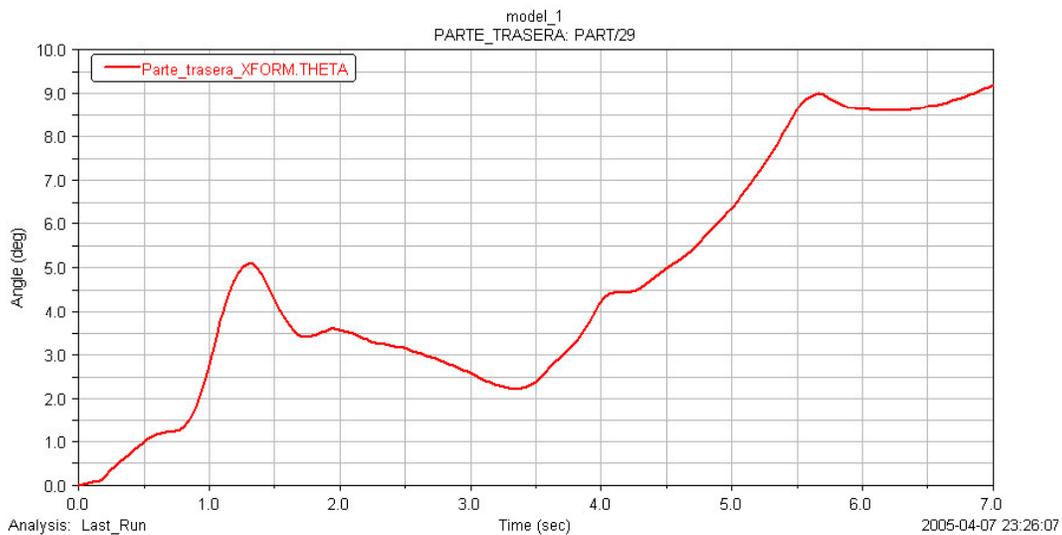


**Fig. 72.-** Ángulo de inclinación del chasis.

En las siguientes figuras puede verse como los valores y la forma del ángulo de inclinación para el resto de los componentes es idéntica a la curva del chasis:



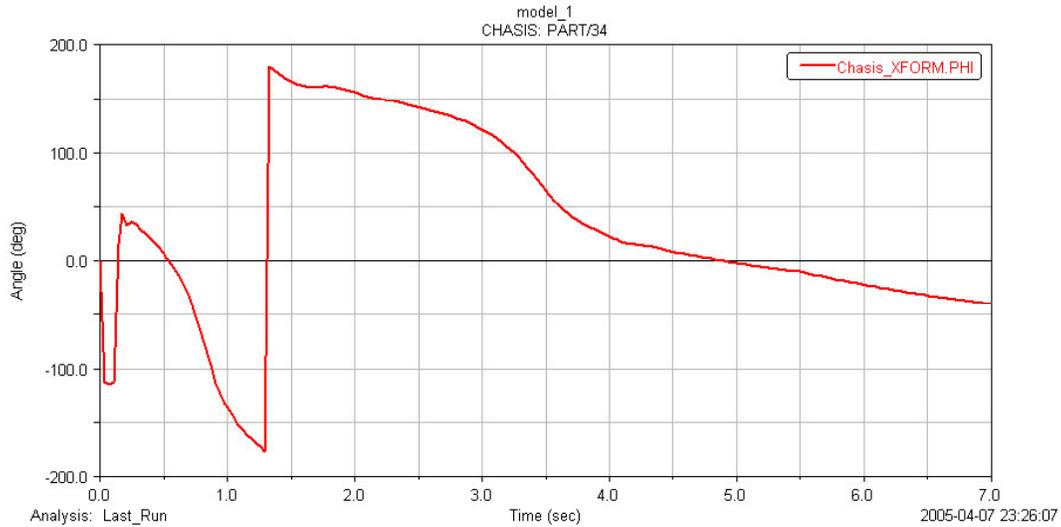
**Fig. 73.-** Ángulo de inclinación tren delantero.



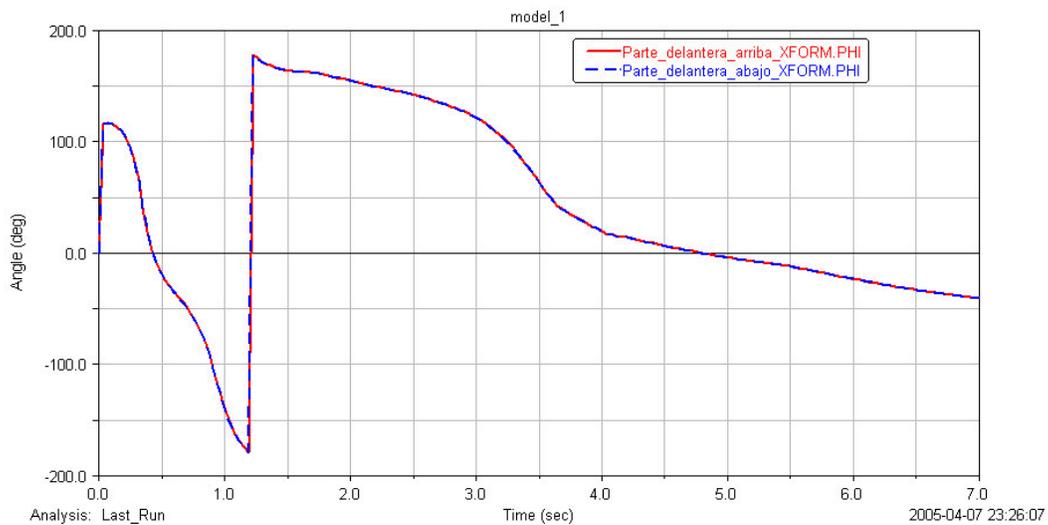
**Fig. 74.-** Ángulo de inclinación de la parte trasera.

En cuanto al cabeceo de la moto se puede observar como éste va creciendo a medida que la moto va acelerando, significando que debido a la aceleración de la motocicleta, el chasis se va inclinando hacia atrás, creciendo de manera progresiva hasta que llega al valor de  $-180^\circ$  donde por la forma que posee el programa de medir los ángulos pasa directamente a  $180^\circ$  positivos. También se puede notar como dicho ángulo va decreciendo a medida que cesa la aceleración y va estabilizándose hacia un determinado valor, como puede

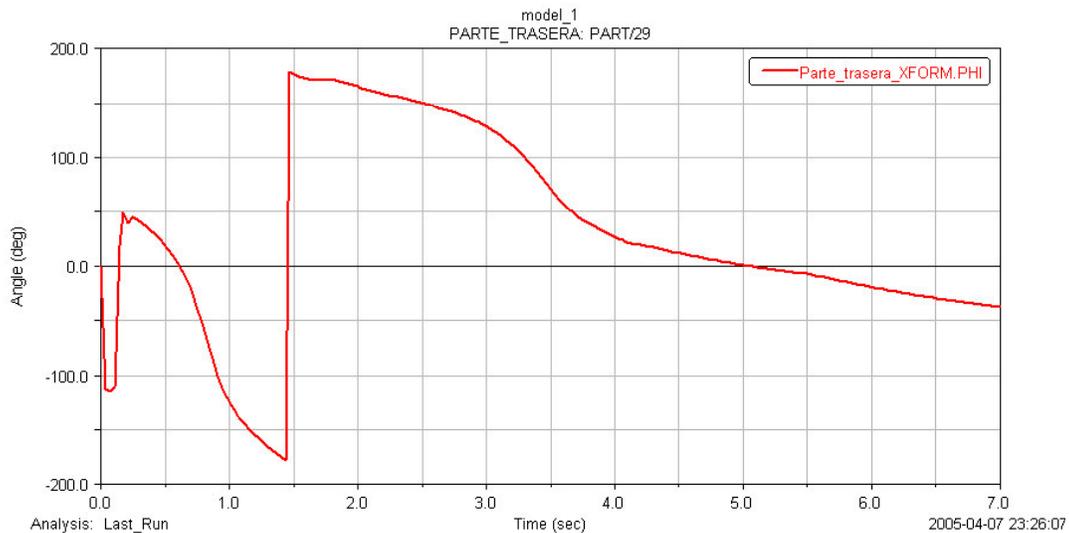
verse en las siguientes figuras donde primero se hace referencia al chasis, que es la parte de la motocicleta que se tomará como referencia para medir todas las magnitudes, y luego el resto de elementos del modelo.



**Fig. 75.-** Ángulo de cabeceo del chasis.

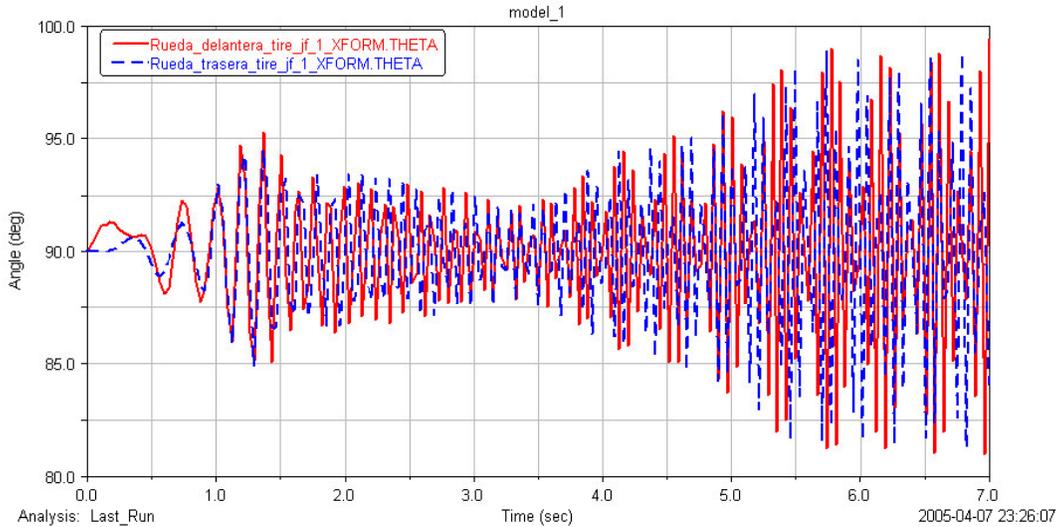


**Fig. 76.-** Ángulo de cabeceo del tren delantero.



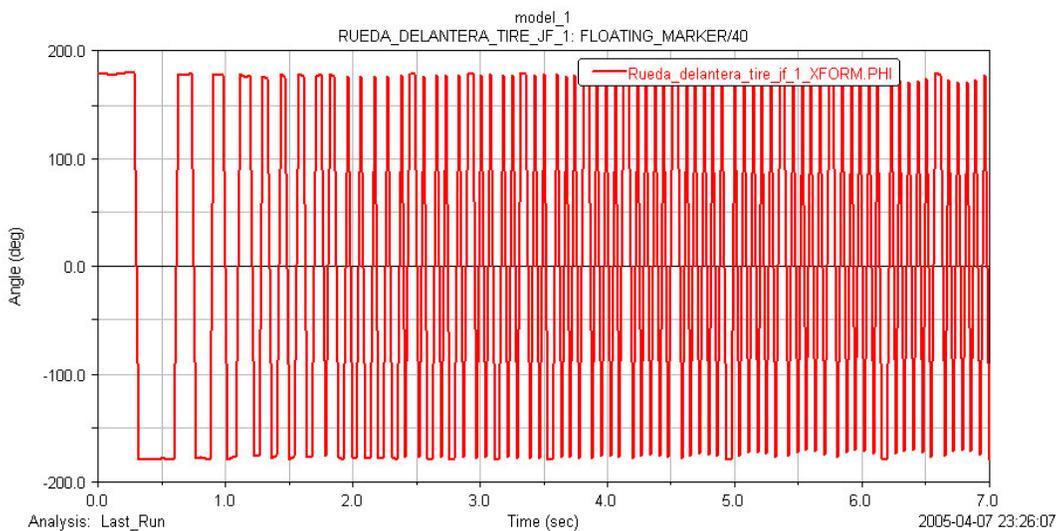
**Fig. 77.-** Ángulo de cabeceo de la parte trasera.

En cuanto a lo que se refiere a los neumáticos, puede destacarse que debido a que el recorrido que sigue la motocicleta es un movimiento prácticamente recto, los valores de inclinación y de cabeceo giran entorno a un valor medio que en el caso del ángulo de inclinación será de 90 grados pudiéndose observar un movimiento oscilatorio que llega a alcanzar unos valores aproximados máximos de oscilación de  $\pm 8$  grados, que son unos valores semejantes a los alcanzados por el resto de las partes del modelo. La mayor oscilación con respecto al resto de las partes es debido a que los neumáticos son los que reciben la información y son los que tienen que conducir al resto de la moto, que verán amortiguados dichas oscilaciones debido al hecho de que no existe un eje de giro en la rueda que este conectado al tren delantero.

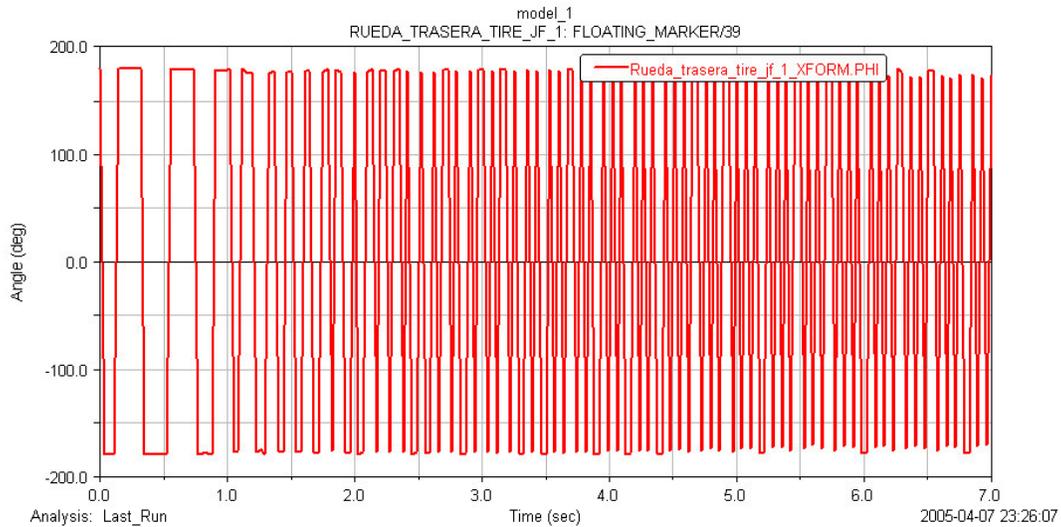


**Fig. 78.-** Ángulo de inclinación de los neumáticos.

El ángulo de cabeceo de los neumáticos sufre muy poca variación y solamente cabría hacer notar que las oscilaciones que se producen en las figuras son debidas a que, en su poca variación y debido a que parte de un valor inicial de aproximadamente 180 grados, pasa de 180 a  $-180$  grados con mucha facilidad aunque su variación sea mínima.

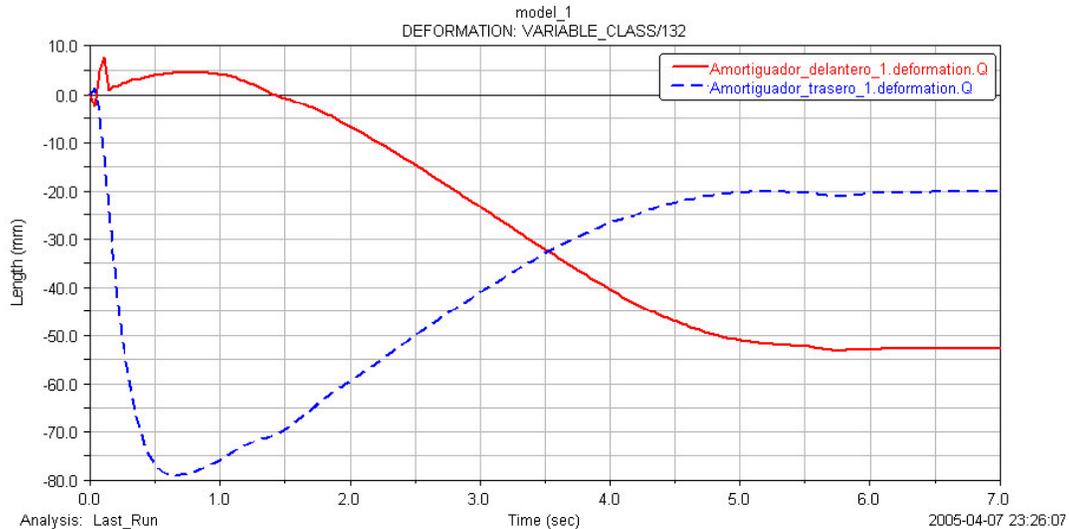


**Fig. 79.-** Cabeceo del neumático delantero.



**Fig. 80.-** Cabeceo del neumático trasero.

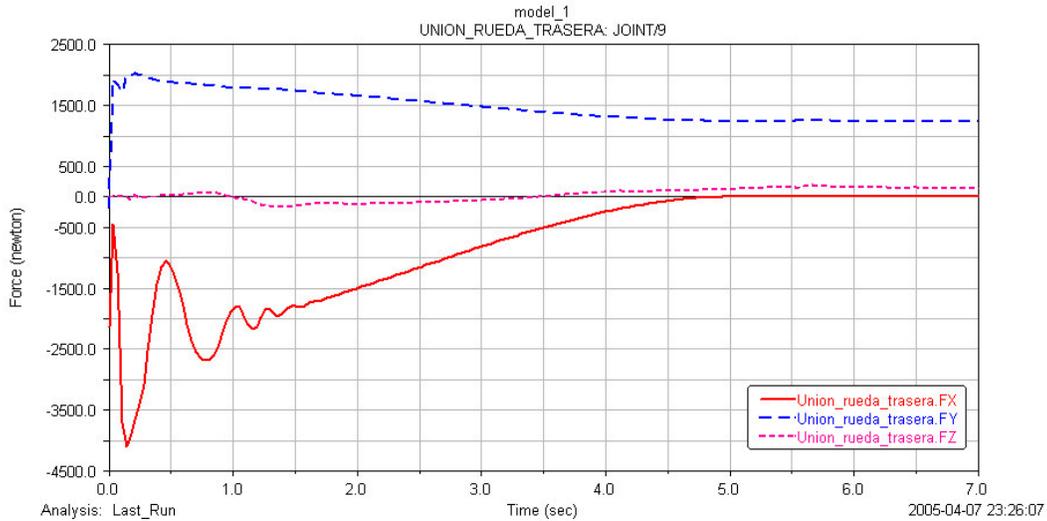
A continuación se analizarán la deformación que sufren los amortiguadores en la simulación. Debido a la aceleración que se produce en la motocicleta y al peso propio de la misma y del piloto, se produce una compresión del amortiguador trasero que va cesando y por lo tanto disminuyendo la compresión a medida que la aceleración va desapareciendo, siendo el efecto contrario en el amortiguador delantero, como cabría esperar debido a que a ser las motocicletas de tracción trasera, al acelerar se produce una compresión en la parte trasera y una descompresión en la parte delantera:



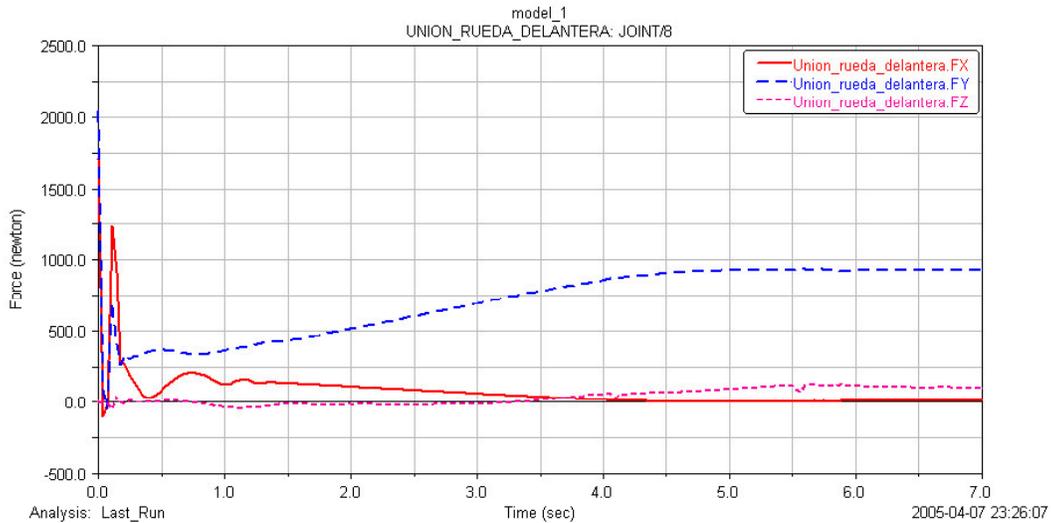
**Fig. 81.-** Deformación de los amortiguadores.

Por último se va a proceder a estudiar las fuerzas producidas en las distintas uniones del modelo. Primero hay que reseñar que las fuerzas que se producen al principio serán algo elevadas debido a que la motocicleta no está justo en el punto de apoyo con la carretera y sufrirán una serie de oscilaciones con unos picos de valores algo elevados hasta que por fin se consiga estabilizar.

Las uniones que mayores valores alcanzarán serán tanto la unión del tren delantero con la rueda delantera y la unión de la parte trasera con la rueda trasera debido a que a través de estas uniones se transmitirá todo el peso del modelo a las ruedas que realmente son las que soportan todo el esfuerzo y se lo transmiten a la carretera. Además habrá que añadir a estos esfuerzos el procedente de la aceleración dándonos unos picos máximos en la rueda trasera de 4000 N que se produce una vez comenzada la simulación y en la rueda delantera de 200 N antes de comenzar a simular. También cabe reseñar que los esfuerzos en la rueda trasera son mayores que en la delantera debido a que el peso en dicha parte es mayor y que debido a la aceleración esos esfuerzos se ven aumentados, como puede verse en las figuras 82 y 83:

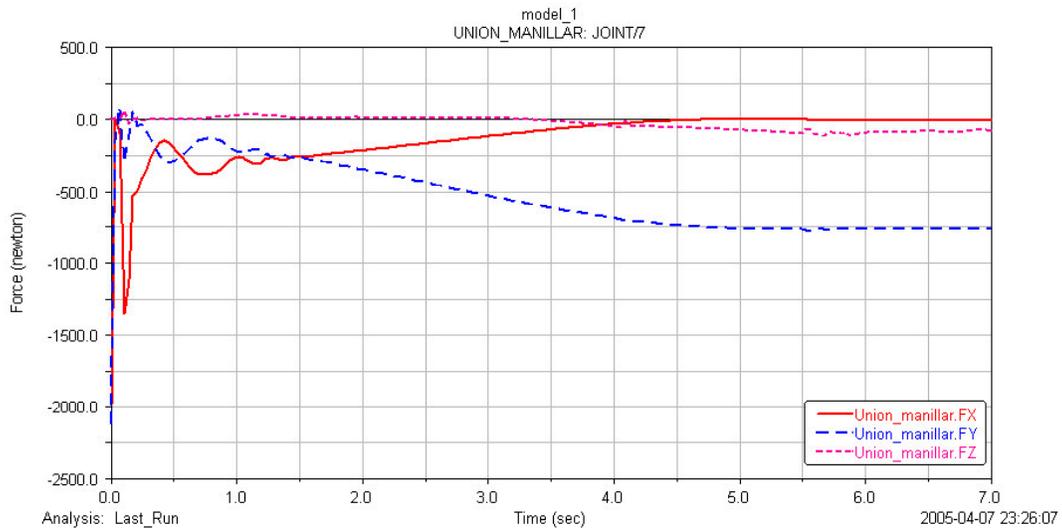


**Fig. 82.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.



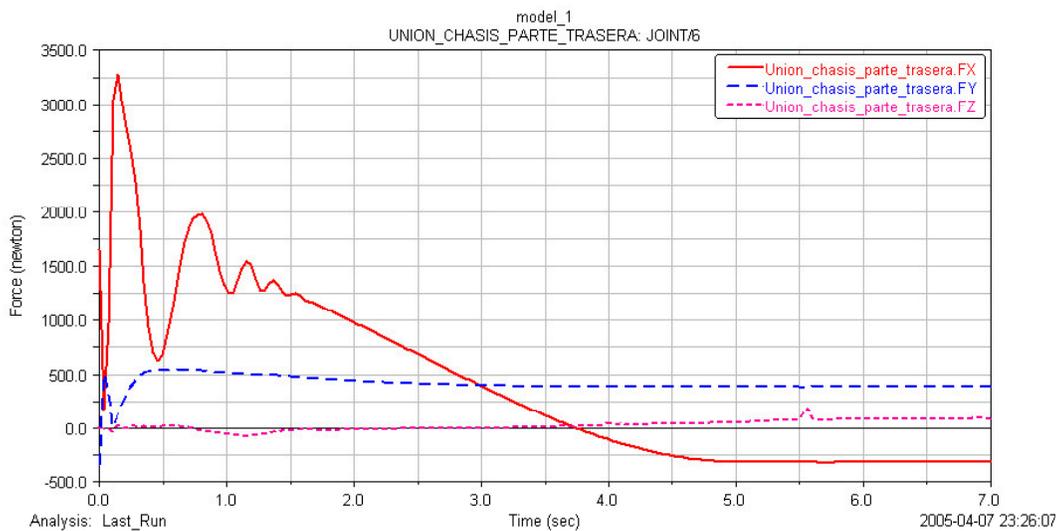
**Fig. 83.-** Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.

En el manillar puede verse como los esfuerzos van cambiando de dirección para poder mantener el equilibrio siendo más inestable al principio de la simulación y estabilizándose luego debido a que la motocicleta mantiene la línea recta y por tanto el esfuerzo a realizar resulta mucho menor que al principio de la marcha. En la dirección Z apenas hay esfuerzo debido a que la moto no tiende a levantarse, como puede verse en la figura 84:



**Fig. 84.-** Esfuerzo en el manillar.

Los esfuerzos producidos en la unión de la parte trasera con el chasis son elevados al principio debido a la tendencia a inclinarse que tienen las motocicletas al acelerar. Posteriormente a medida que cesa esa fuerza de aceleración va disminuyendo el esfuerzo en dicha unión.



**Fig. 85.-** Esfuerzo en la unión del chasis con la parte trasera.

### 6.1.1.2 2ª SIMULACIÓN

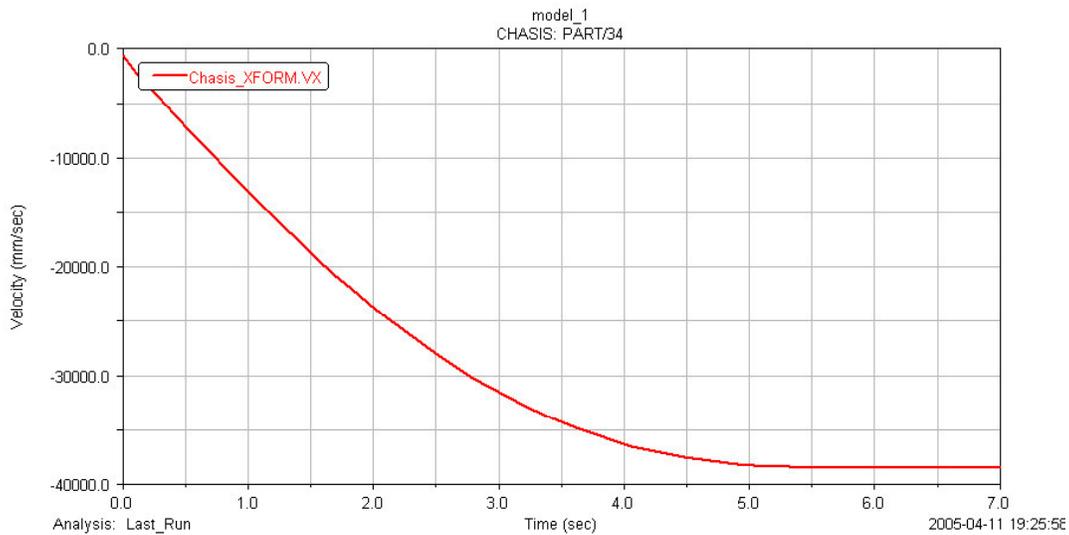
Esta segunda simulación es idéntica a la anterior variando la fuerza de aceleración dada al modelo para poder llegar en este caso a una velocidad superior a la anterior, siendo esta velocidad de 135 Km/ h. Al igual que aumenta la velocidad y la fuerza de aceleración también se verá aumentado todos los esfuerzos y los ángulos de inclinación en las distintas partes del modelo. En este caso el tiempo de simulación también será de 7 segundos ya que se considera que el tiempo de aceleración ha finalizado y se mantiene ya estable el modelo.

Como se ha comentado anteriormente, la velocidad alcanzada es mayor y como consecuencia de ello también se ha tenido que aumentar la fuerza de aceleración, tanto en magnitud como en tiempo, viniendo dada por la figura 86:



**Fig. 86.-** Fuerza de aceleración.

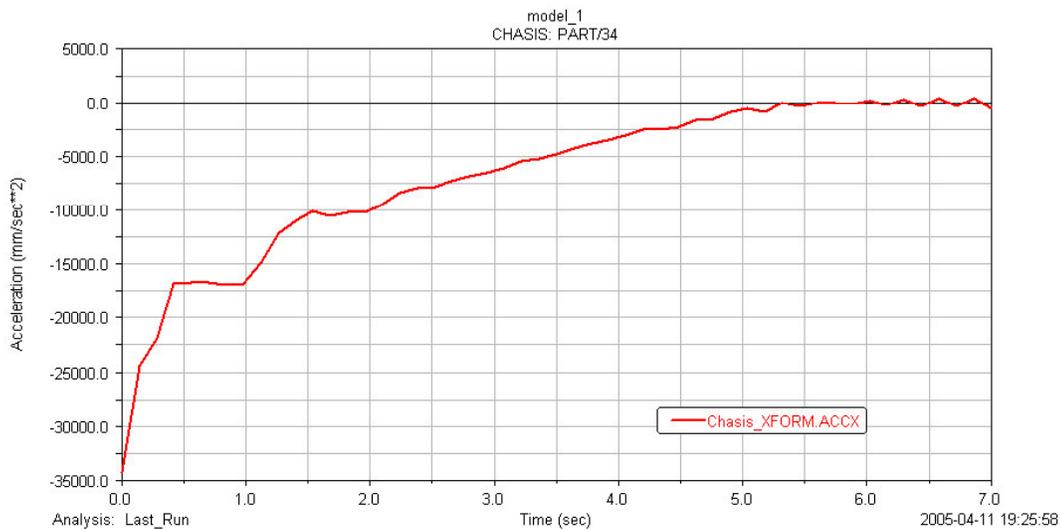
La fuerza en cuanto a forma es idéntica a la simulación anterior y por tanto la variación de la velocidad también será idéntica que en el caso anterior con la salvedad del aumento de la misma.



**Fig. 87.-** Velocidad del chasis.

Las velocidades del resto de las partes que componen el conjunto de la motocicleta es idéntico a la velocidad del chasis.

La aceleración producida en el chasis debido a la fuerza en la rueda trasera, es mayor que en el caso anterior llegando a valores cercanos a los 35  $m/s^2$  de máxima en el inicio del movimiento. Posteriormente a medida que va disminuyendo la fuerza va cesando la aceleración hasta hacerse prácticamente nula en  $t = 5.5$  seg, que viene a coincidir con el valor nulo alcanzado por la fuerza en dicho instante. Para un mayor entendimiento se puede ver la figura 88 de la aceleración del chasis:



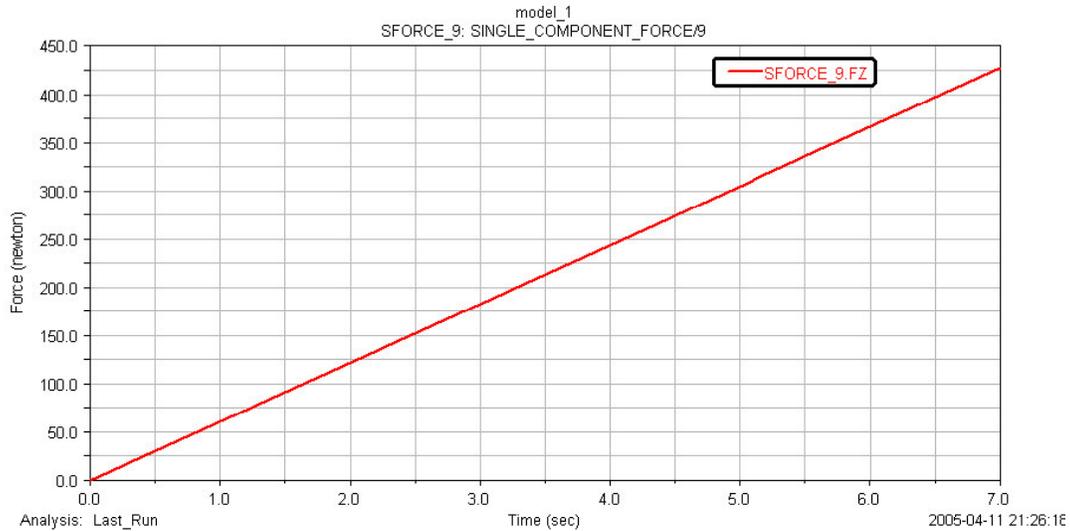
**Fig. 88.-** Aceleración del chasis.

Se puede ver como la forma de la curva de aceleración es más regular que en la primera simulación, esto se debe al hecho de que la moto alcanza más rápidamente la posición estable que en el caso anterior y también a que la posición relativa de la carretera respecto a los neumáticos es más cercana, aunque su variación relativa puede ser minúscula, pero suficiente para que se note en el comportamiento de nuestro modelo.

En este caso, para equilibrar el movimiento de la motocicleta se han probado ambas formas de estabilizarlo dando un mejor resultado la fuerza en función del tiempo, al contrario que sucedió con la primera simulación donde se optó por un control PID. Dicha fuerza también ha sido obtenida de una manera aleatoria, comprobando con que valores y con que tipo de fuerzas se obtenía el mejor guiado., dando un valor de:

$$F = 61 \cdot \text{time}$$

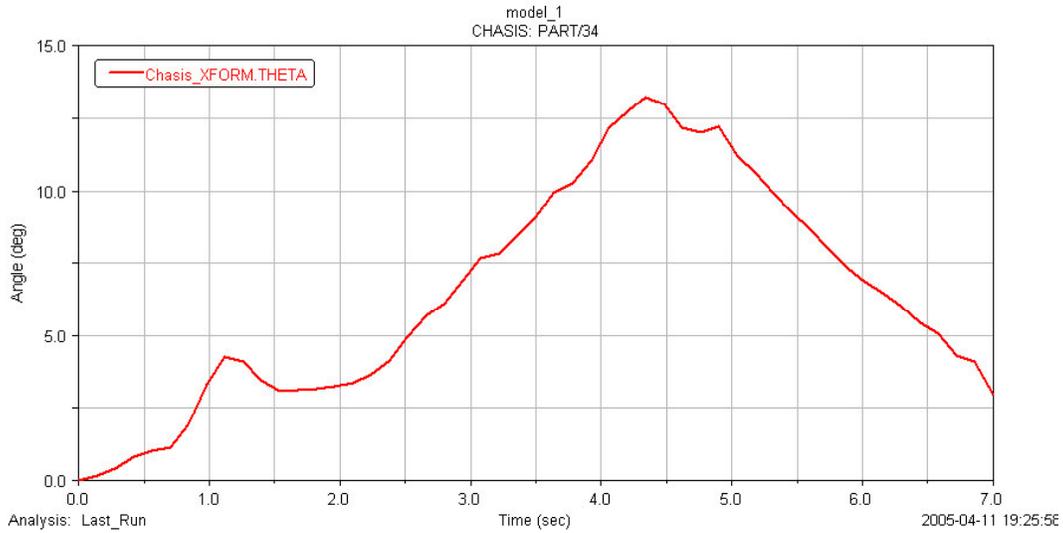
La variación de dicha fuerza en función del tiempo puede observarse en la figura 89:



**Fig. 89.-** Fuerza estabilizadora.

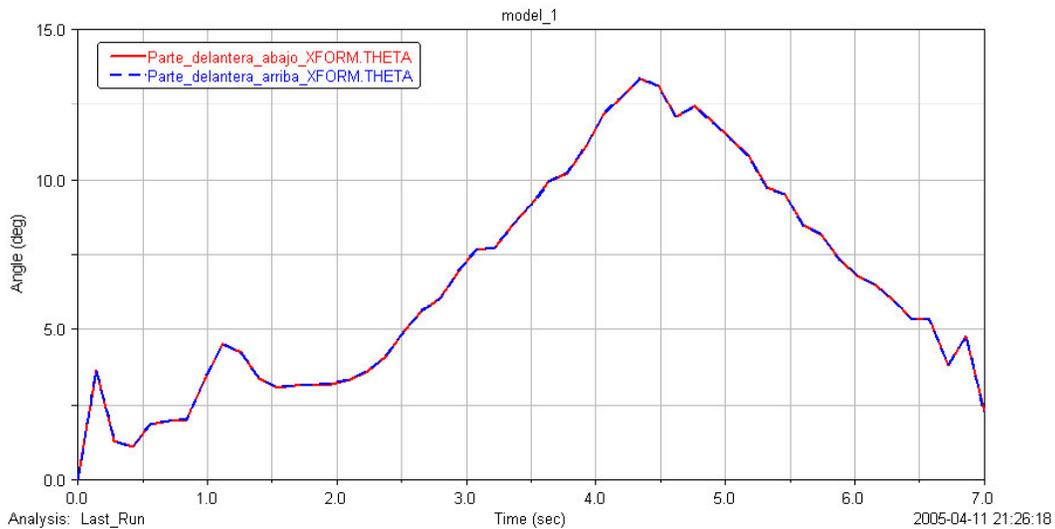
Una vez vistos estos aspectos se comenzará a ver el comportamiento y los esfuerzos producidos en las diferentes partes de la motocicleta en esta simulación.

Se empezará por ver el ángulo de inclinación que tiene el modelo, comprobándose que el máximo valor es mayor que para una velocidad de 90 Km/ h aunque también puede verse como a medida que la fuerza estabilizadora aumenta el ángulo de inclinación disminuye:

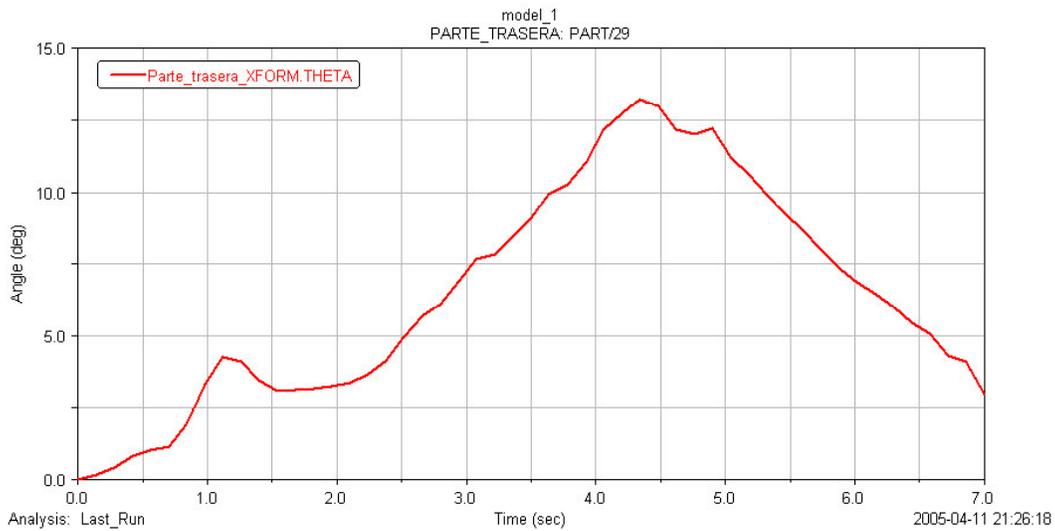


**Fig. 90.-** Ángulo de inclinación del chasis.

Esta misma forma de curva y de valores se dan en el resto de componentes del modelo.

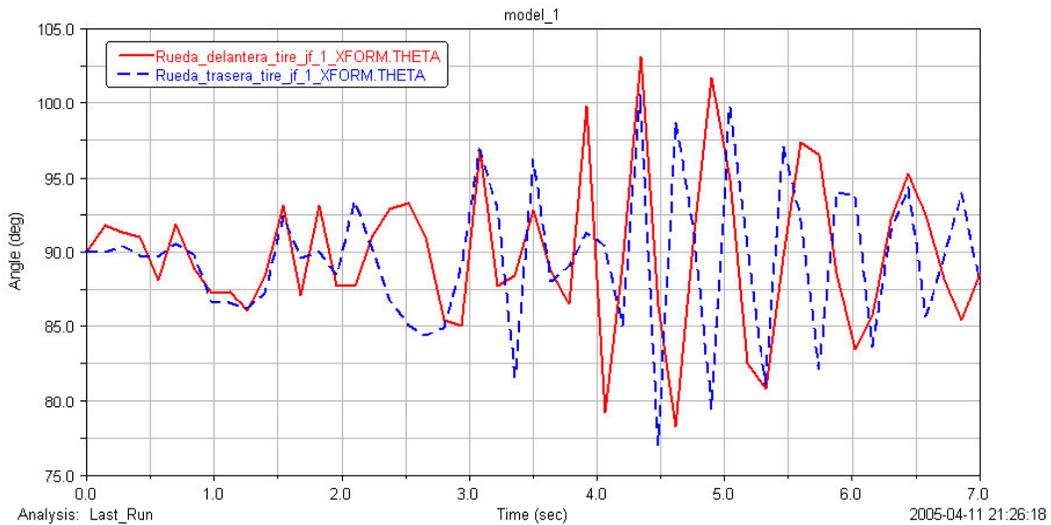


**Fig. 91.-** Ángulo de inclinación del tren delantero.



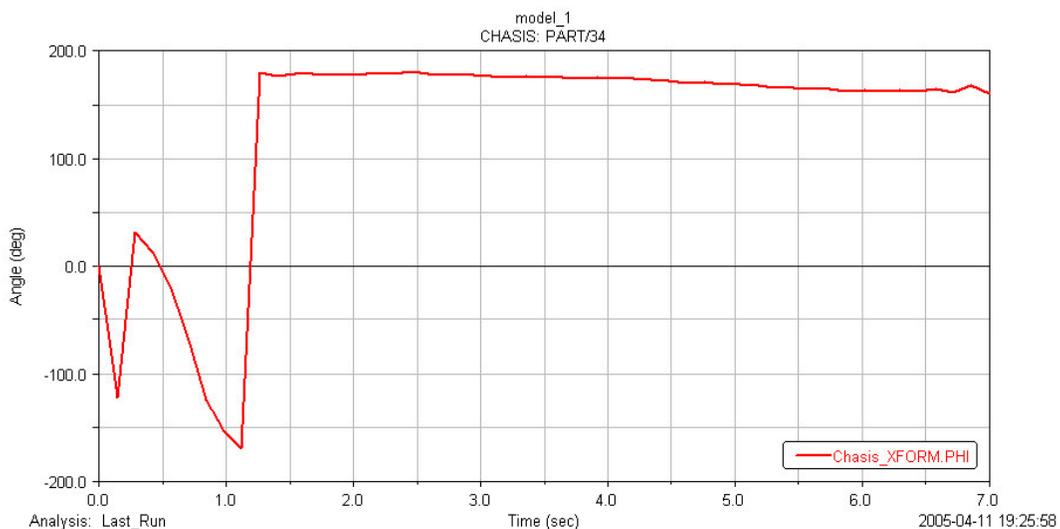
**Fig. 92.-** Ángulo de inclinación de la parte trasera.

En cuanto al ángulo de inclinación de las ruedas sucede lo mismo que el caso anterior, es decir, que la inclinación va a ir oscilando en torno a un valor medio que en este caso también es de 90 grados. Este hecho se debe a que los neumáticos son los que deben ir corrigiendo la trayectoria para mantenerla recta y como no están conectados directamente con el resto de modelos estas oscilaciones se verán amortiguadas.



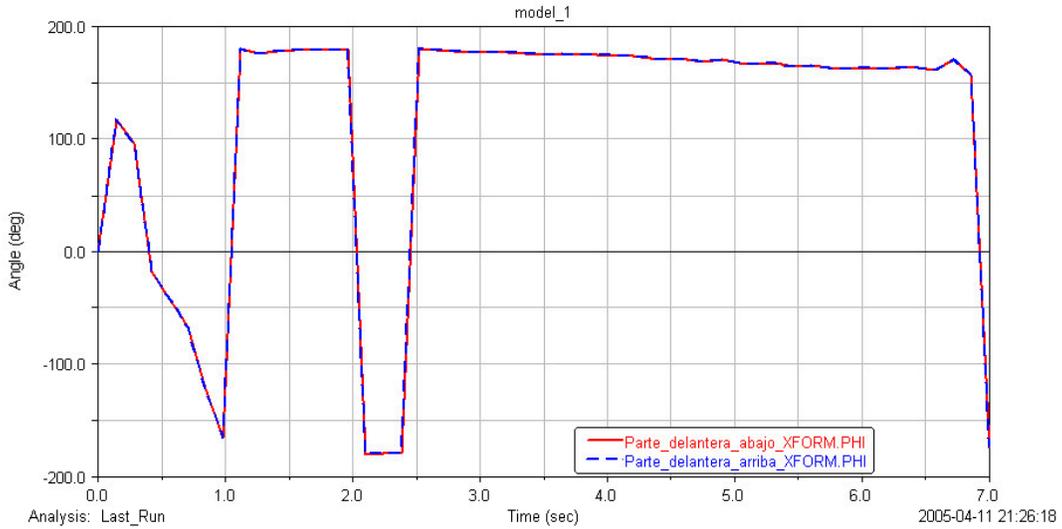
**Fig. 93.-** Ángulo de inclinación de los neumáticos.

En cuanto a lo que se refiere al ángulo de cabeceo se da una diferencia respecto a la simulación anterior y es que este ángulo se mantiene prácticamente constante a lo largo de la simulación, debido a la mayor inercia que la motocicleta lleva con esta mayor velocidad alcanzada. En este caso también ocurre el cambio brusco en la figura debido al paso de  $-180$  grados a  $180$  grados:

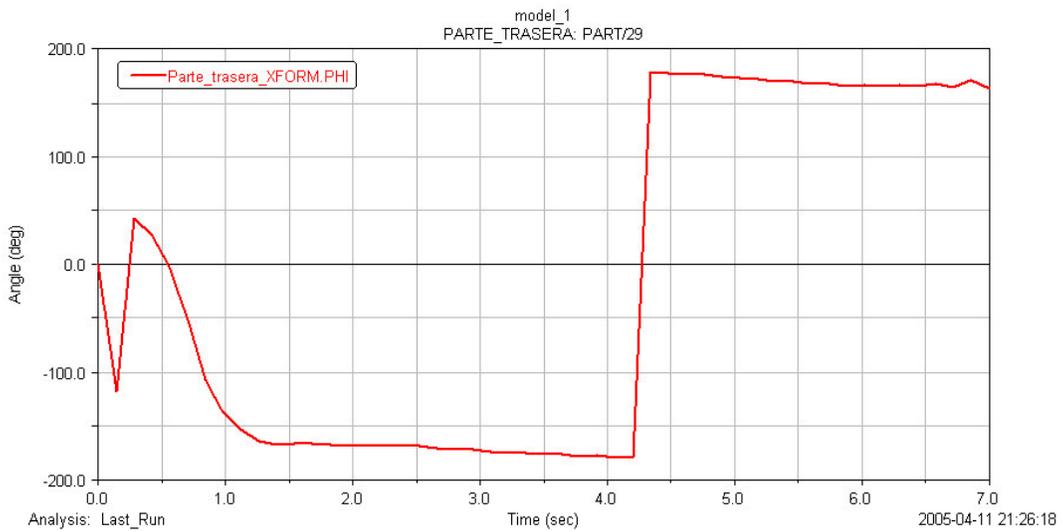


**Fig. 94.-** Ángulo de cabeceo del chasis.

El valor de dicho ángulo anda muy próximo a los 180 grados por lo que cualquier mínima variación en la forma de la figura del resto de los componentes en dicho ángulo hará que se produzca el cambio hacia  $-180$  grados, como de hecho sucede con el tren delantero, como puede verse en la figura 95:

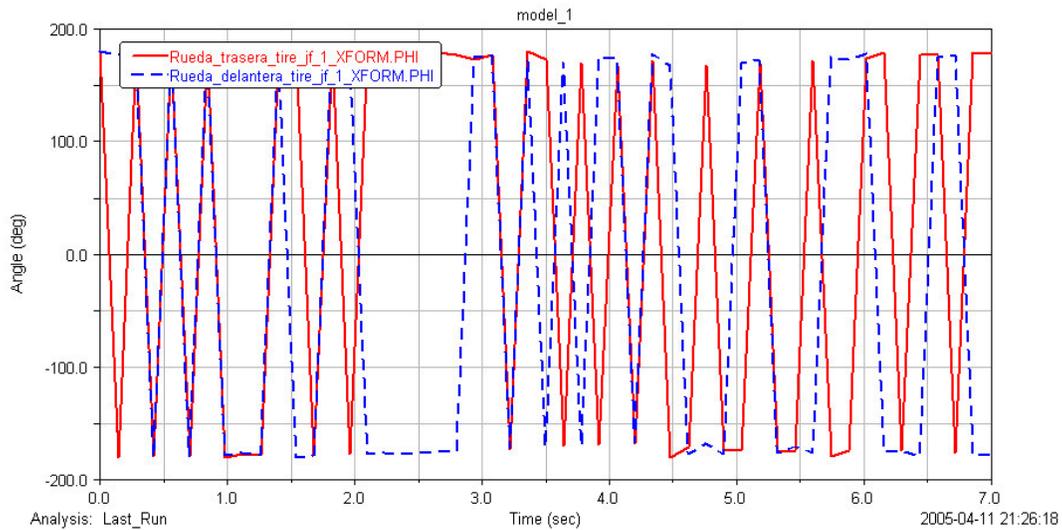


**Fig. 95.-** Ángulo de cabeceo del tren delantero.



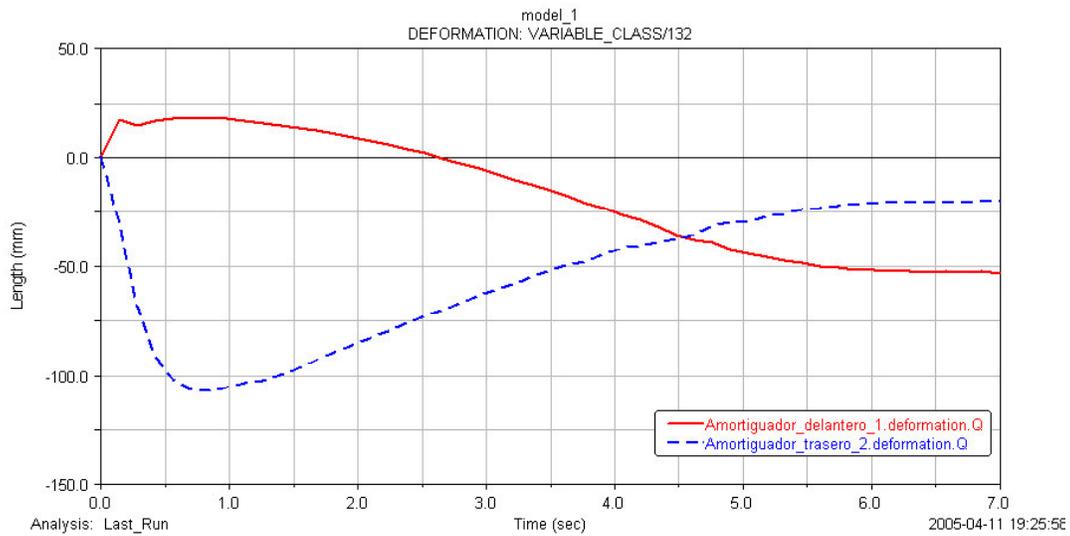
**Fig. 96.-** Ángulo de cabeceo del tren trasero.

El ángulo de cabeceo de los neumáticos, al igual que la simulación anterior, oscilan en torno a  $\pm 180$  grados siendo muy poca también su variación, como puede verse en la figura 97:



**Fig. 97.-** Ángulo de cabeceo de los neumáticos.

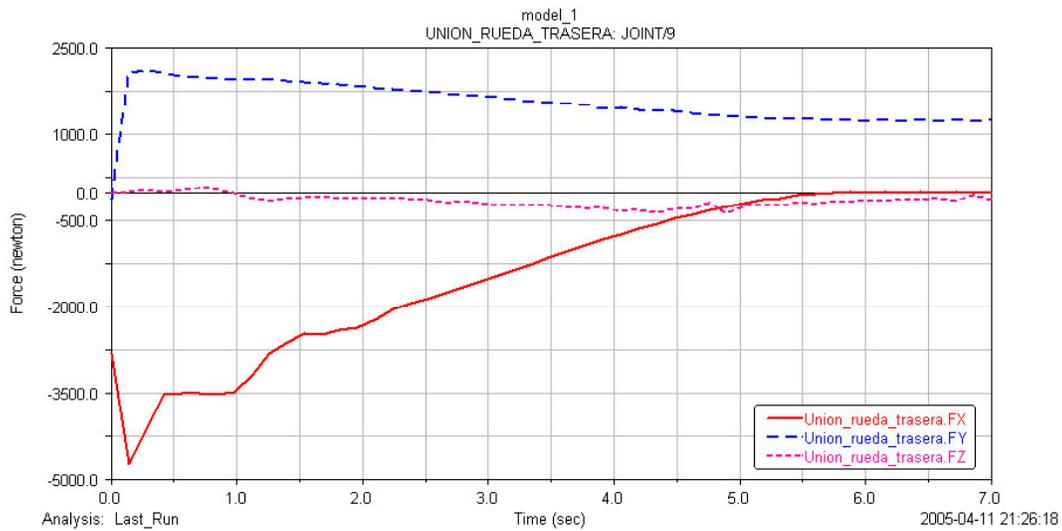
Lo que queda por analizar es lo que ocurre en los amortiguadores y los esfuerzos producidos en las uniones. En los amortiguadores lo que sucede es que al acelerar, el amortiguador trasero se irá comprimiendo y a medida que la aceleración va disminuyendo el amortiguador delantero se va cargando y el trasero descomprimiendo, llegándose de esta manera al equilibrio.



**Fig. 98.-** Deformación de los amortiguadores.

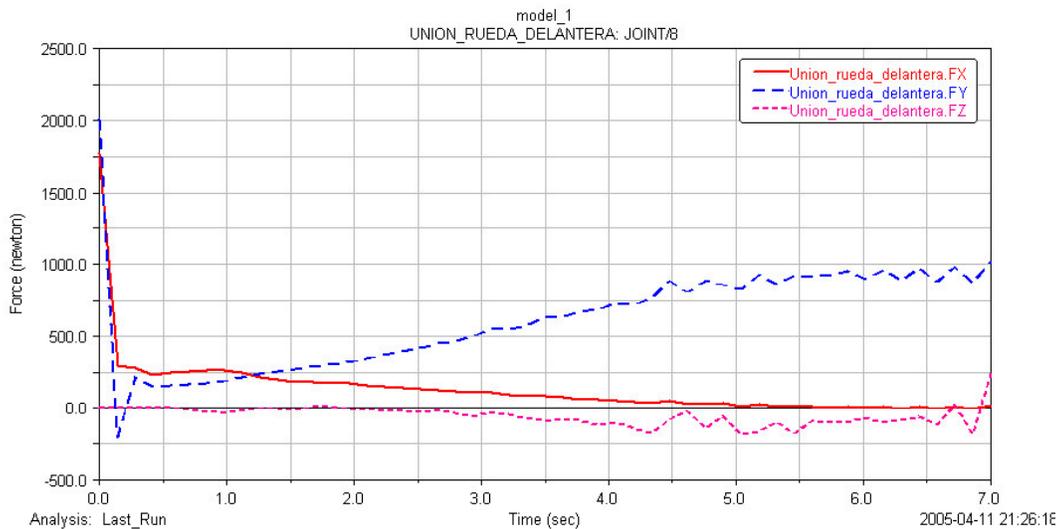
Por último queda por analizar los esfuerzos que se han producido en las distintas uniones del modelo. Estos esfuerzos al ser la aceleración mayor que el caso anterior, también se verán aumentados estos valores, manteniéndose la forma de las curvas.

En el caso de la unión de la rueda trasera se pasa de un valor máximo de aproximadamente 4000 N a 5000 N, que se da en el inicio de la marcha que donde mayor aceleración existe y por tanto mayor esfuerzo sufre la parte trasera.



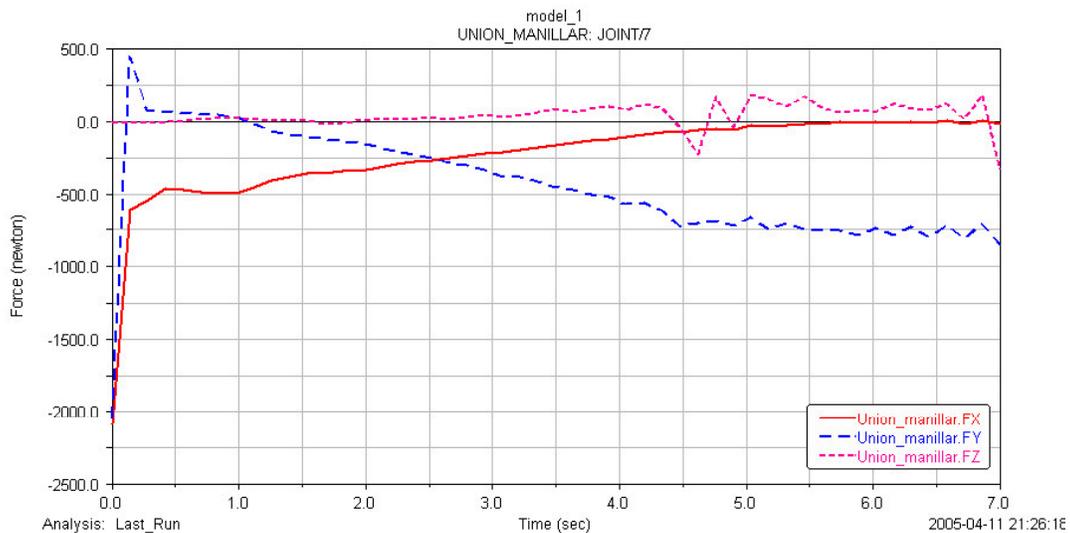
**Fig. 99.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.

En la unión de la rueda delantera, los esfuerzos iniciales, como no podía ser de otra forma puesto que el modelo es idéntico al caso anterior, se mantienen con los mismo valores y también a medida que se va alcanzando el equilibrio, el valor del esfuerzo en dicha unión se aproxima al valor obtenido para la simulación anterior.

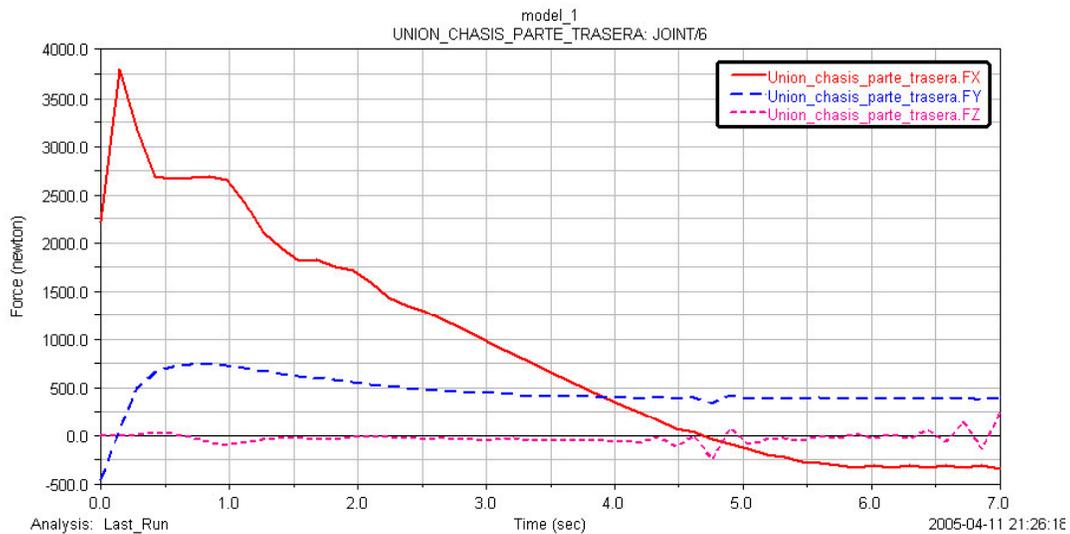


**Fig. 100.-** Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.

En cuanto a las uniones del manillar y del chasis con la parte trasera se pudo comprobar que son idénticas en forma a la simulación anterior, con la salvedad que en la unión del chasis con la parte trasera, los esfuerzos serán mayores en el inicio de la marcha del modelo, pero una vez que se va alcanzando el equilibrio los valores de esfuerzo se van equiparando a los anteriores.



**Fig. 101.-** Esfuerzo en la unión del manillar.



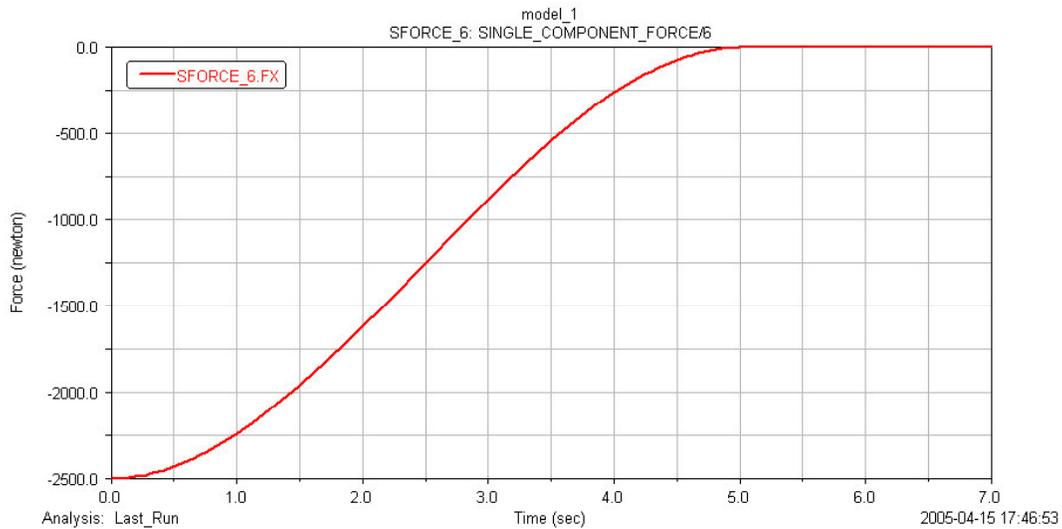
**Fig. 102.-** Esfuerzo en la unión chasis tren trasero.

### **6.1.2 PRIMER MODELO SECUNDARIO**

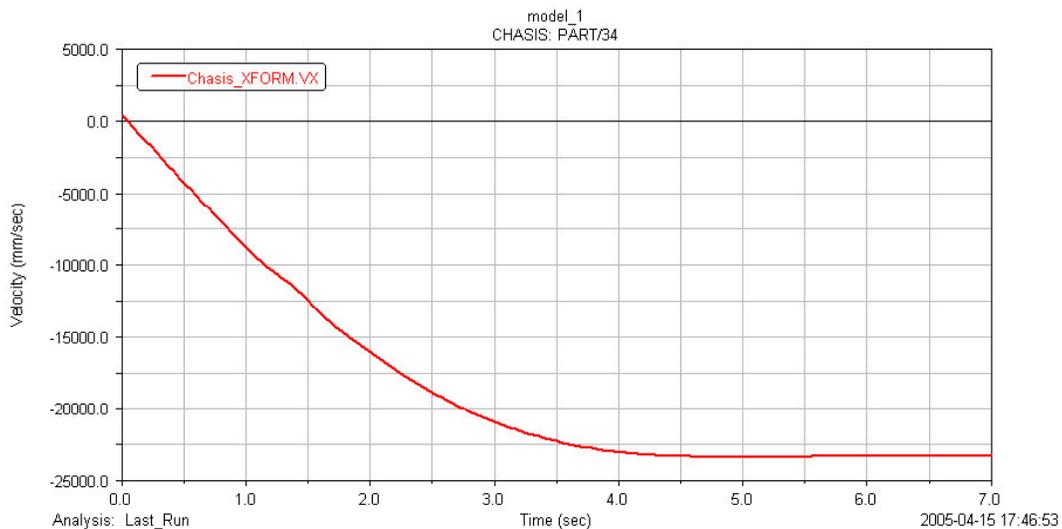
Una vez estudiada dos simulaciones al modelo principal, se optará ahora por realizar solamente una (la correspondiente a la primera simulación del modelo principal) y comparar los resultados con los obtenidos para el modelo principal.

En la simulación ocurre un hecho destacable y es que una vez iniciada la marcha del modelo, éste se desvía de su posición original de una manera brusca. Este hecho puede explicarse viendo las figuras de la fuerza, de la velocidad y del ángulo de inclinación. Cuando la motocicleta aún no ha alcanzado una velocidad adecuada para poder decir que está en equilibrio dinámico, la fuerza que intenta estabilizar al modelo es bastante grande y hace que el chasis, y como consecuencia el modelo entero, tienda a irse hacia ese lado. La motocicleta contrarresta este hecho inclinándose de repente y una vez que alcanza una mayor velocidad se vuelve a poner recta alcanzando su equilibrio dinámico.

La fuerza de aceleración que actúa en la rueda trasera será idéntica tanto en su valor como en el tiempo en el que actúa a la fuerza de aceleración de la primera simulación del modelo principal, sin embargo la velocidad alcanzada por este modelo no es la misma que en el caso comentado debido a que al tener mayor distancia entre ejes y ser el chasis mayor, también lo será su peso dificultando la aceleración hasta dicha velocidad. Aunque al no ser demasiada la diferencia de peso entre ambos modelos la velocidad tampoco será demasiado diferente.



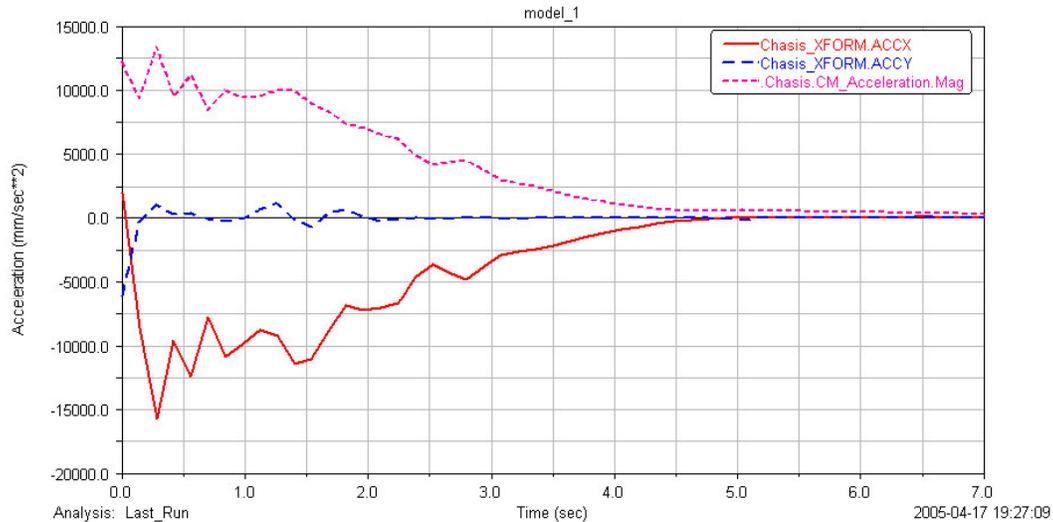
**Fig. 103.-** Fuerza de aceleración.



**Fig. 104.-** Velocidad del chasis.

En lo que se refiere a la aceleración del chasis se puede ver como posee oscilaciones en su dirección X y ello es debido al desvío que se produce de manera brusca de su posición de equilibrio produciendo no solo aceleración en el eje X sino también en el eje Y, siendo la resultante de la aceleración del chasis mucho más estable y disminuyendo de manera progresiva a medida que la fuerza de aceleración va cesando. Los valores máximos de aceleración alcanzados en este modelo son menores que los del modelo principal por el

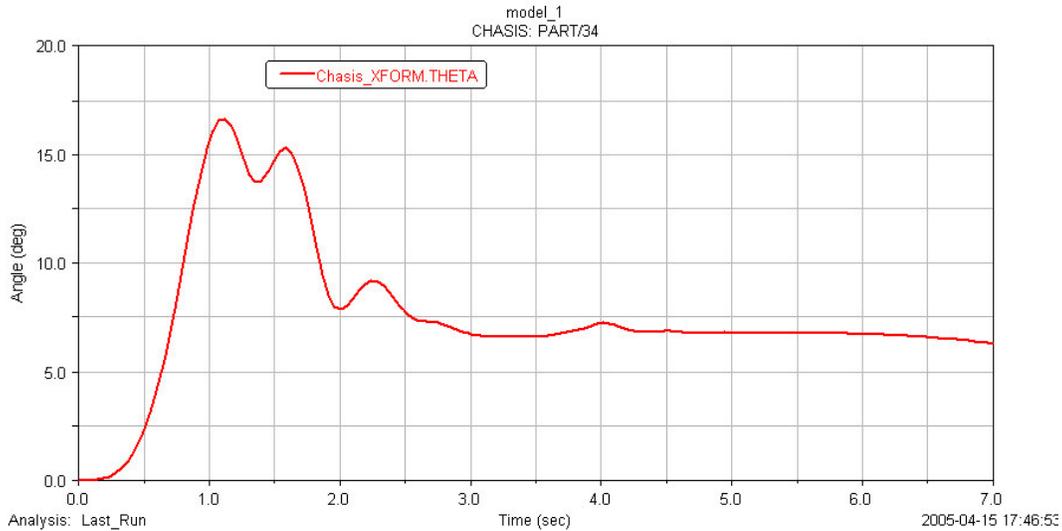
motivo del aumento de masa comentado anteriormente, como puede comprobarse al comparar la figura 105 con la figura 69.



**Fig. 105.-** Aceleración del chasis.

Se puede comprobar como la resultante de la aceleración del chasis es más suave que la obtenida para el modelo principal, obteniéndose un resultado previsible ya que al aumentar la distancia entre ejes se verá incrementada la estabilidad del modelo.

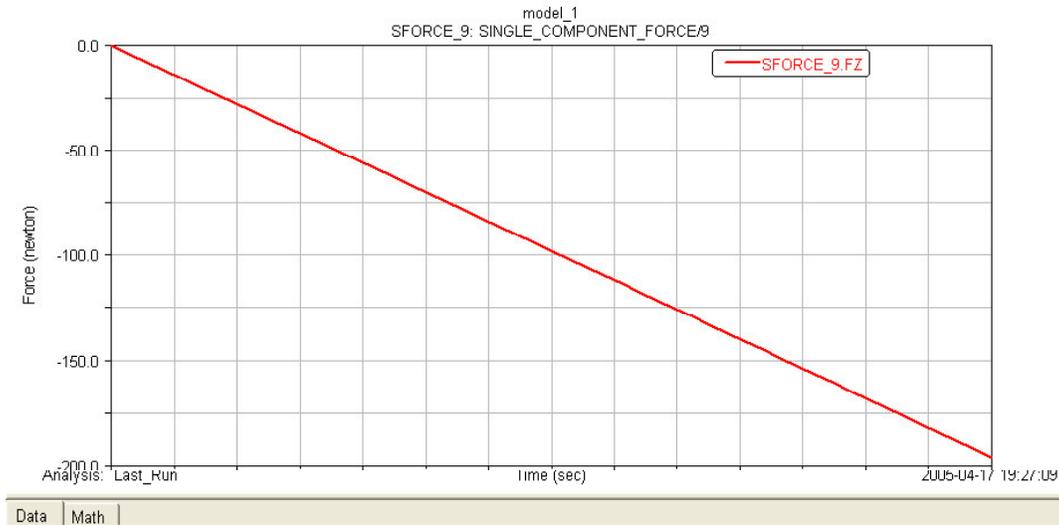
En cuanto a lo que se refiere al ángulo de inclinación de la motocicleta se observa, comparando con la figura 72, cómo no solamente tiene valores de inclinación menores sino que además sino que a partir de un tiempo  $t = 2.5$  segundos, éste se mantiene constante y con un valor aproximado de 7 grados, como puede comprobarse en la figura 106. Este valor sería fácilmente corregido si se pudiese modelar bien al piloto ya que con un pequeño movimiento del cuerpo de este se corregiría fácilmente.



**Fig. 106.-** Ángulo de inclinación del chasis

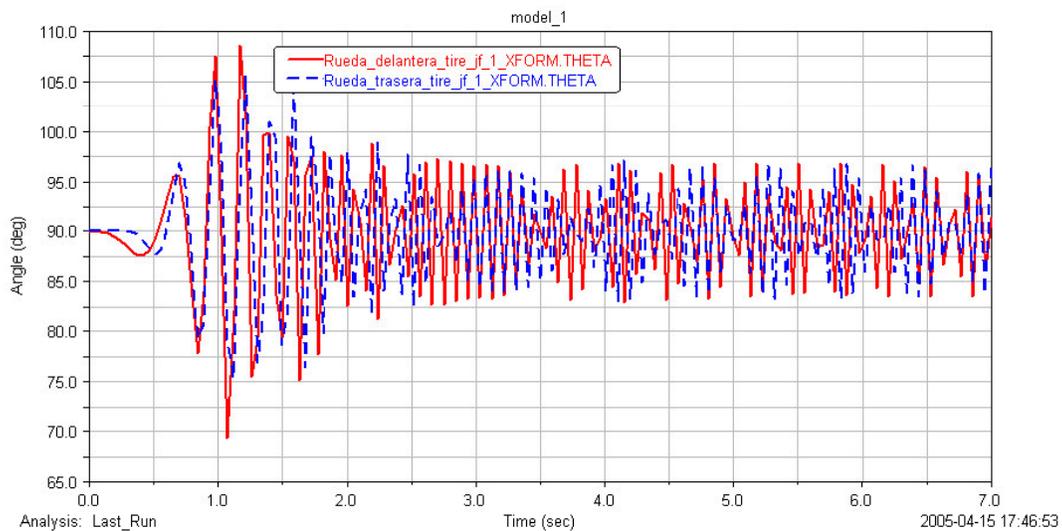
La fuerza correctora usada en esta simulación es una fuerza en función del tiempo debido a que diversas simulaciones hechas tanto con un tipo de fuerza como con la otra, la que dio un mejor resultado de estabilidad fue este tipo de fuerzas en función del tiempo. Una vez decidido el modo de fuerza correctora a usar habrá que probar que valor es el que mejor resultado ofrece. Esto sólo se puede realizar a través de diversas pruebas para lograr afinar dicho valor, llegándose a un resultado de:

$$F = 28 * \text{time (N)}.$$



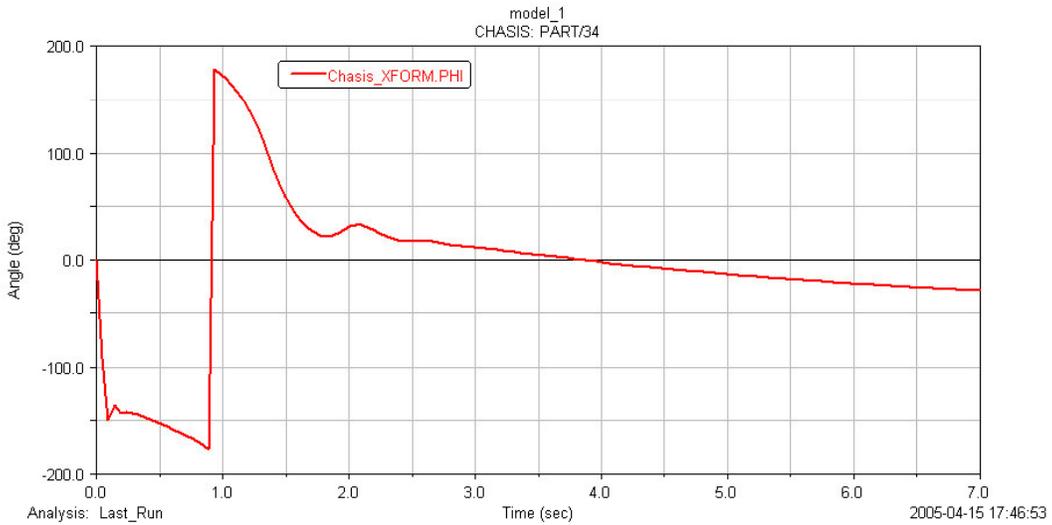
**Fig. 107.-** Fuerza estabilizadora.

Quando se habla del ángulo de inclinación de las ruedas y se compara con los valores de la primera simulación, se puede comprobar como sucede lo contrario que en el anterior caso y es que en este modelo la inclinación de las ruedas comienza con valores elevados atenuándose posteriormente, oscilando alrededor de los 90 grados y alcanzando unos valores aproximadamente iguales en cada oscilación, que están en torno a los 96 grados.

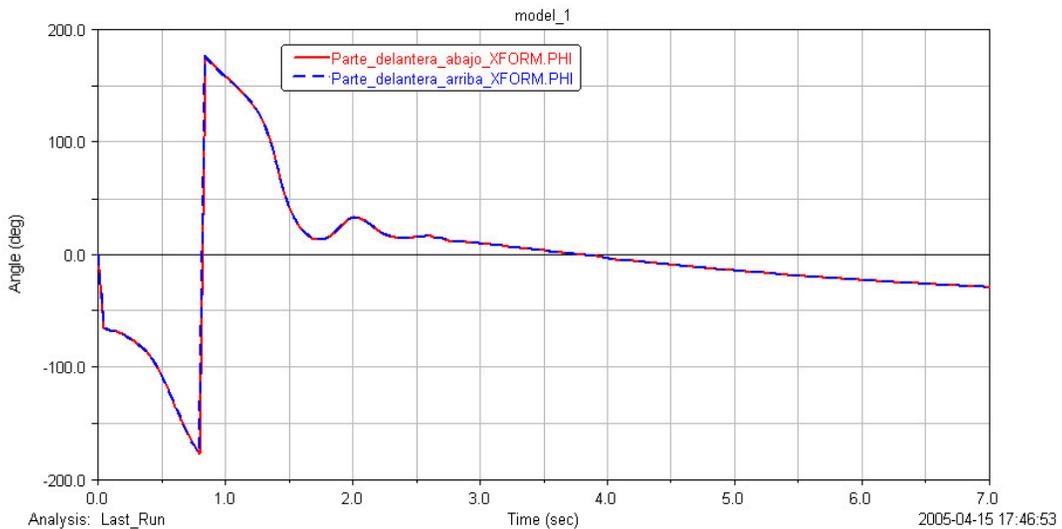


**Fig. 108.-** Ángulos de inclinación de los neumáticos trasero y delantero.

El ángulo de cabeceo de la motocicleta en este caso sigue la misma forma de la curva de la figura 75 aunque en este caso, después de la brusquedad del inicio de la marcha, donde la aceleración es bastante fuerte, el ángulo de cabeceo vuelve rápidamente a su valor inicial, teniendo unos valores muy pequeño lo que nos muestra la estabilidad de este modelo.

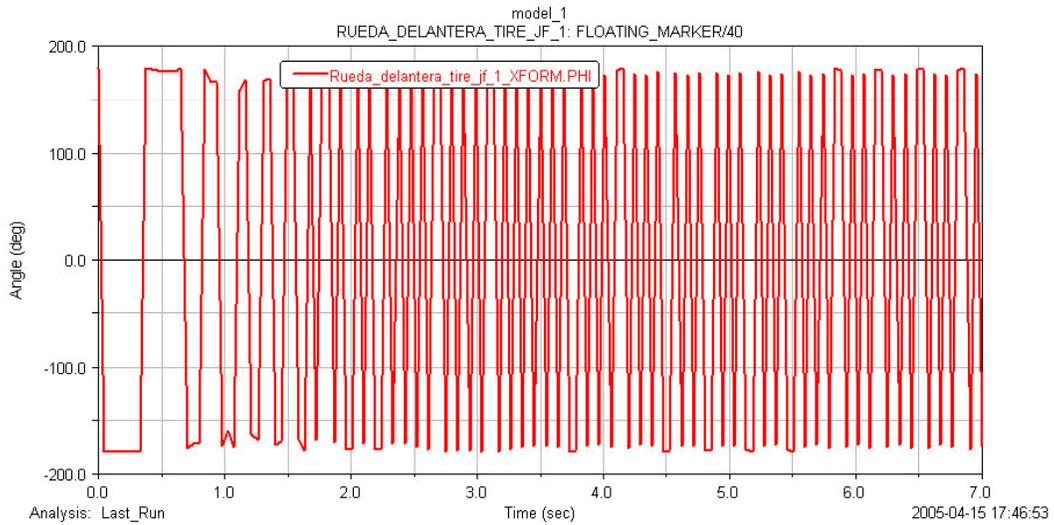


**Fig. 109.-** Ángulo de cabeceo del chasis.

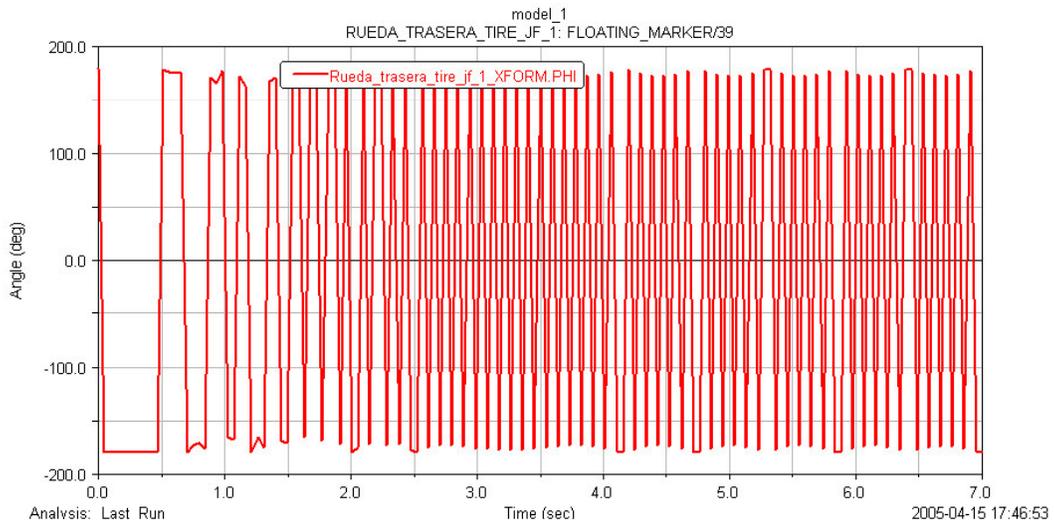


**Fig. 110.-** Ángulo de cabeceo del tren delantero.

Al igual que ocurría con el ángulo de inclinación de las ruedas, pasa con sus ángulos de cabeceo, oscilando entre unos ángulos de  $\pm 180$  grados, teniendo poca variación alrededor de ese valor, como puede comprobarse en las figuras 111 y 112, donde cabe destacar que las continuas variaciones en dichas figuras de debe únicamente al cambio de 180 grados a  $- 180$  grados.



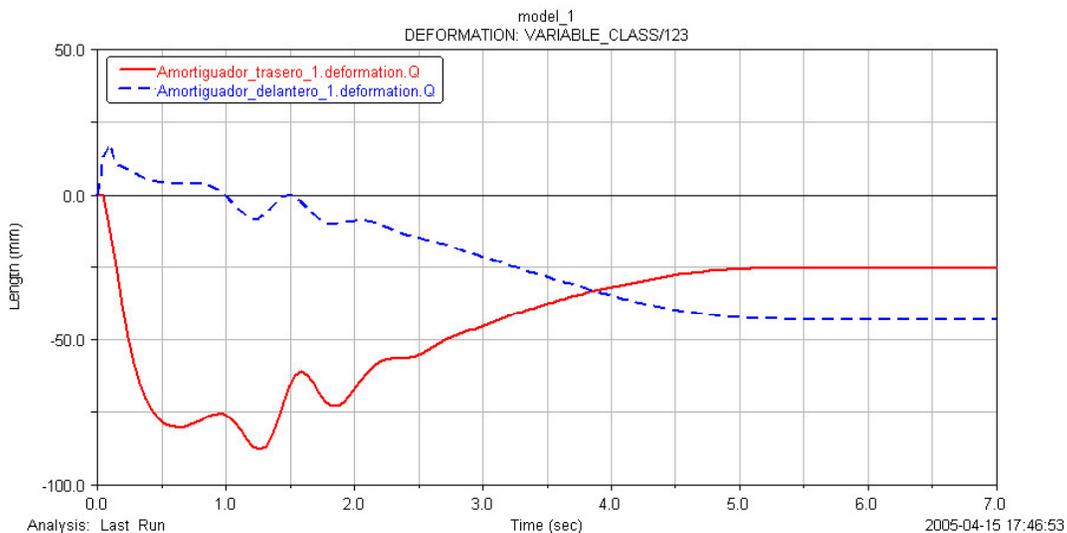
**Fig. 111.-** Ángulo de cabeceo del neumático delantero.



**Fig. 112.-** Ángulo de cabeceo del neumático trasero.

En la figura correspondiente a la deformación de los amortiguadores tanto delantero como trasero, se obtiene, una vez que se ha llegado a la posición de equilibrio, una deformación de aproximadamente 25 mm para el amortiguador trasero, y de 43 mm para el delantero. En teoría se deberían obtener unos valores de deformación contrario a lo que se obtiene porque la parte trasera es la que mayor peso aguanta, sin embargo ocurre lo contrario debido a la carga previa que se le da a los amortiguadores, que es mayor en el tren trasero que en el delantero.

En la figura 113 también puede verse unas ciertas oscilaciones a partir de  $t = 1$  segundo, eso ocurre por culpa de la oscilación brusca que sufre el modelo al inicio de la simulación, como ya se comentó al principio de este apartado.



**Fig. 113.-** Deformación de los amortiguadores.

En cuanto a lo que se refiere a las fuerzas se pondrán las figuras sin hacer ningún comentario puesto que no ocurre nada especial en ellas y además de seguir la misma forma que las figuras de las uniones de la primera simulación exceptuando el inicio de la marcha que es algo más irregular en este caso por lo mencionado anteriormente, también se obtienen valores muy aproximados.

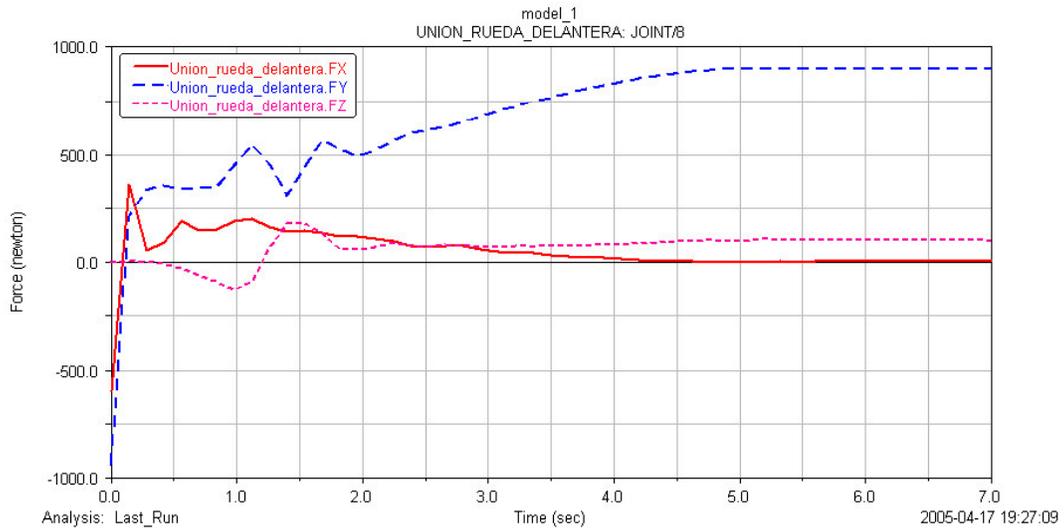


Fig. 114.- Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.

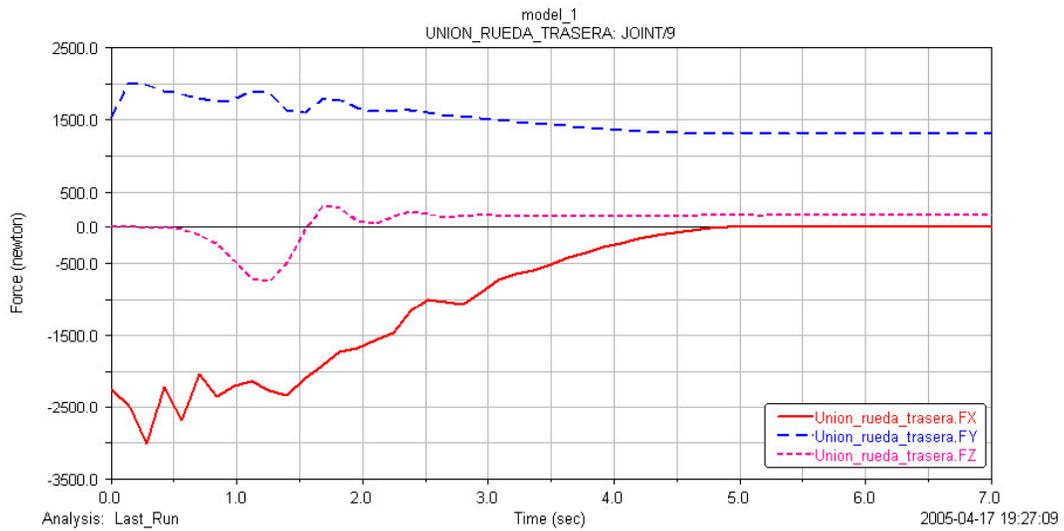


Fig. 115.- Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.

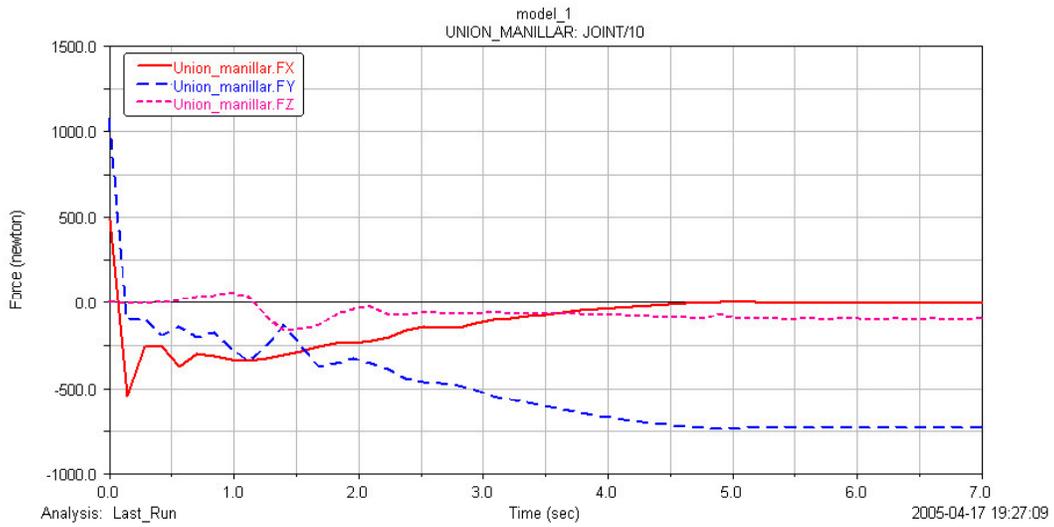


Fig. 116.- Esfuerzo en el manillar.

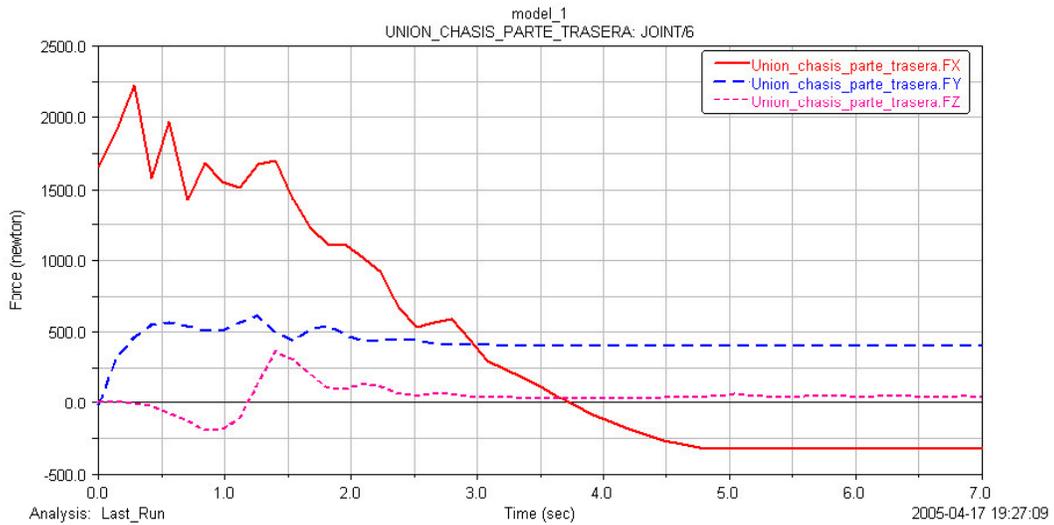


Fig. 117.- Esfuerzo en la unión del chasis con el tren trasero.

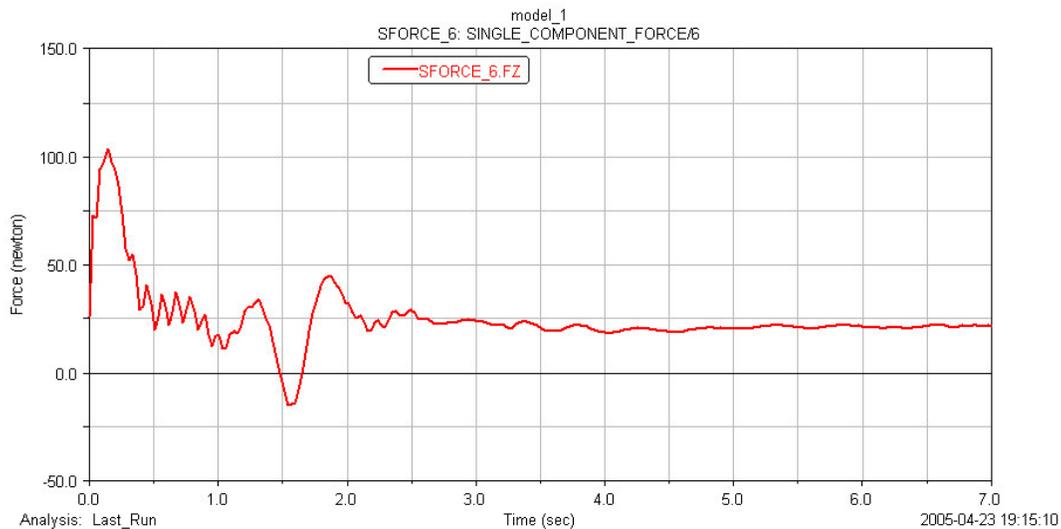
### 6.1.3

## SEGUNDO MODELO SECUNDARIO

En este segundo modelo secundario lo que se ha variado con respecto al modelo principal es ángulo de lanzamiento de la pipa de dirección, para conseguir de esta manera una mejor estabilidad con respecto al modelo que se considera principal. También se compararán los datos obtenidos con los del primer modelo secundario para ver cual de los dos obtiene una mayor estabilidad en circulación normal.

Primeramente se comentará que para la estabilización del modelo se ha optado por la solución que nos da el control PDI, es decir, basándonos en los valores de inclinación y de velocidad angular del chasis. Al igual que el resto de las fuerzas estabilizadoras, el valor que se le ha dado a esta fuerza se ha conseguido de una manera totalmente aleatoria a base de hacer diversas simulaciones para poder afinar el valor de dicha fuerza, llegando a un valor de:

$$F = -150 \cdot az(\text{Chasis.cm}) - 150 \cdot wz(\text{Chasis.cm}).$$



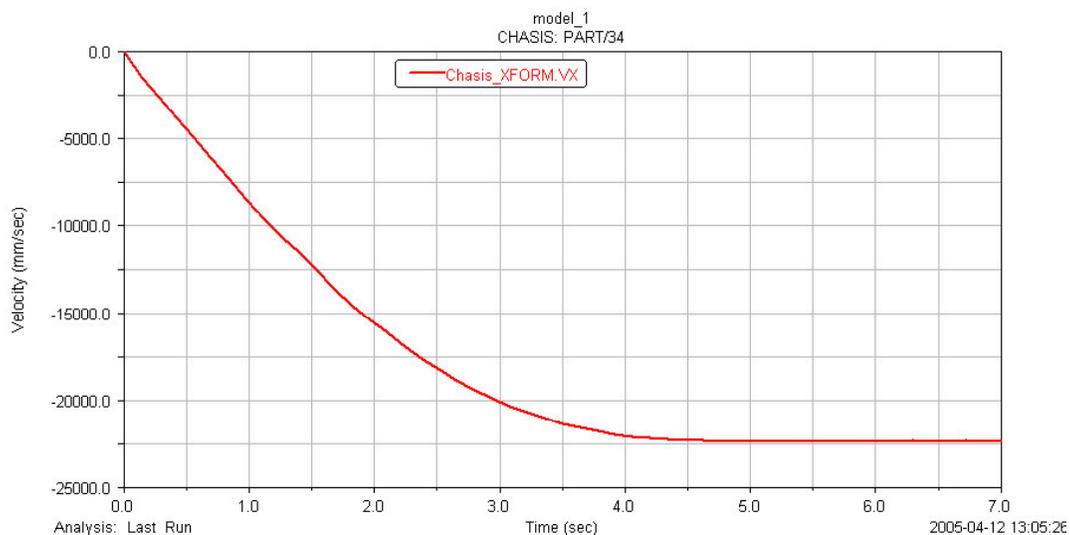
**Fig. 118.-** Fuerza correctora.

Al depender la fuerza correctora de los valores de inclinación y de velocidad angular del chasis, es imprevisible los valores que puede ir tomando y como se observa en la figura, al inicio alcanza valores muy grandes lo que hace que en la simulación el modelo se gire hacia un lado para después poco a

poco volver a recuperar la posición original. Esta fuerza provocará irregularidades en el inicio de la marcha de la motocicleta, hasta aproximadamente  $t = 2$  segundos que es cuando se consigue estabilizar, como se verá en las siguientes figuras.

Para acelerar el modelo se recurrirá a la misma fuerza con la que se aceleró a los otros dos modelos, es decir, una fuerza tipo escalón que va desde 2500 N hasta 0 N en un tiempo igual a 5 segundos.

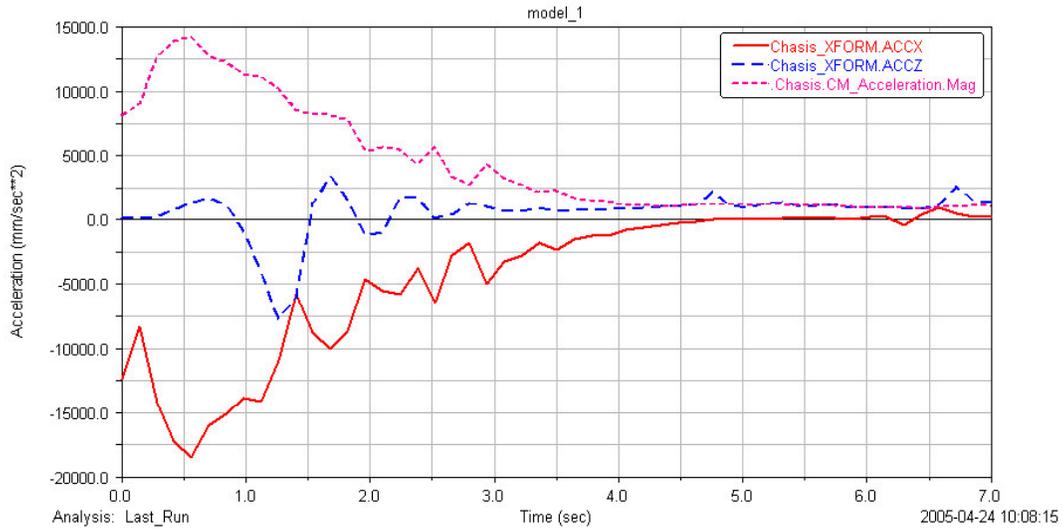
Al igual que sucedía en el caso anterior, la velocidad alcanzada por la motocicleta es menor que la obtenida en el modelo principal debido a que esta motocicleta pesa más y se le da la misma fuerza de aceleración aunque la forma de la curva de velocidad se mantiene idéntica en todas las simulaciones.



**Fig. 119.-** Velocidad del chasis.

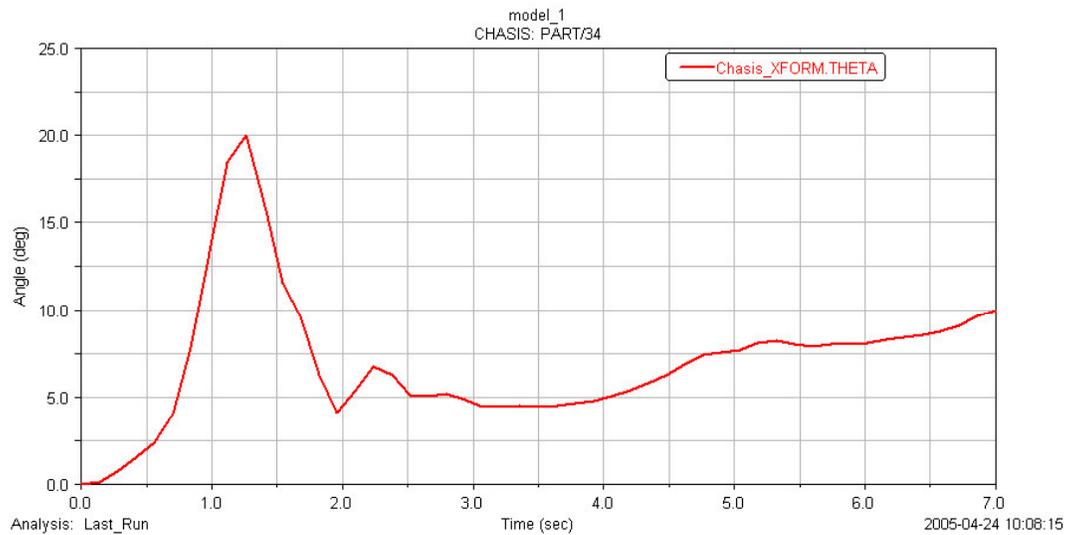
En la aceleración se ve reflejada la inestabilidad que provoca la fuerza estabilizadora al inicio de la marcha, obteniéndose aceleraciones no sólo en el sentido del eje X sino también en el eje Z, viéndose como la curva va oscilando debido a los giros que sufre el modelo.

En la curva de la aceleración del cm del chasis puede observarse como el resultado global no arroja una inestabilidad demasiado grande en el inicio de la marcha, consiguiéndose una forma de la curva aproximadamente parabólica.



**Fig. 120.-** Aceleración del chasis.

El ángulo de inclinación del modelo se mantiene en unos valores pequeños después del máximo alcanzado al inicio de la marcha cuando la moto sufre la oscilación hacia los lados debido a la fuerza estabilizadora. Durante el periodo comprendido entre  $t = 2.5$  segundos y  $t = 5$  segundos, los valores del ángulo de inclinación son muy bajos, llegando incluso a bajar de 5 grados; a partir de ese momento aumenta algo más, sin llegar a sobrepasar los 10 grados, debido a que intenta recuperar su posición de inicio.

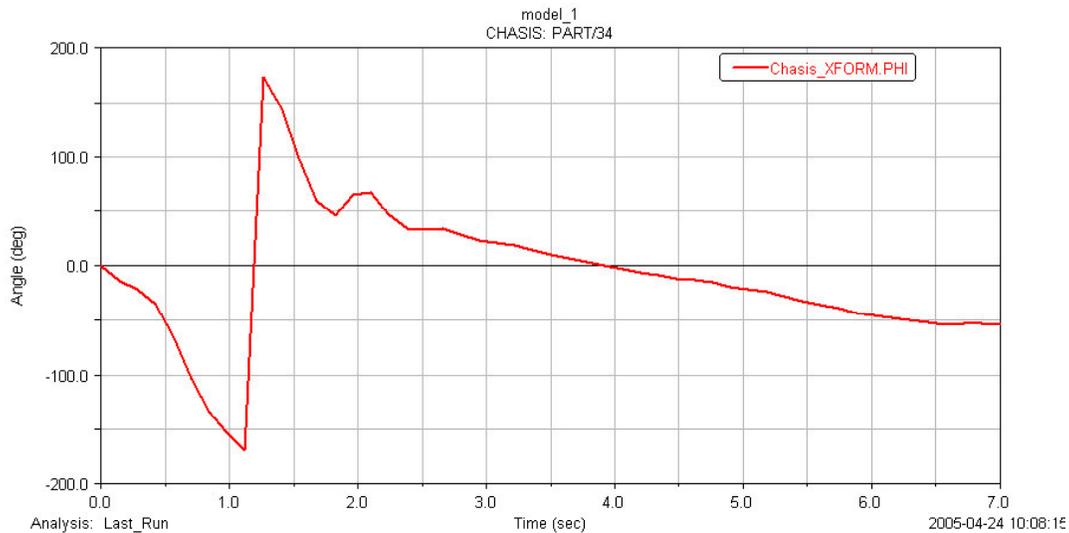


**Fig. 121.-** Ángulo de inclinación del chasis.

En comparación con el ángulo obtenido en la simulación del primer modelo secundario (figura 106) puede verse como este último es más estable en su recorrido y aunque en momentos los valores de este segundo modelo secundario son menores, en líneas generales se obtiene un mejor comportamiento en lo que a ángulo de inclinación se refiere en el primer modelo secundario.

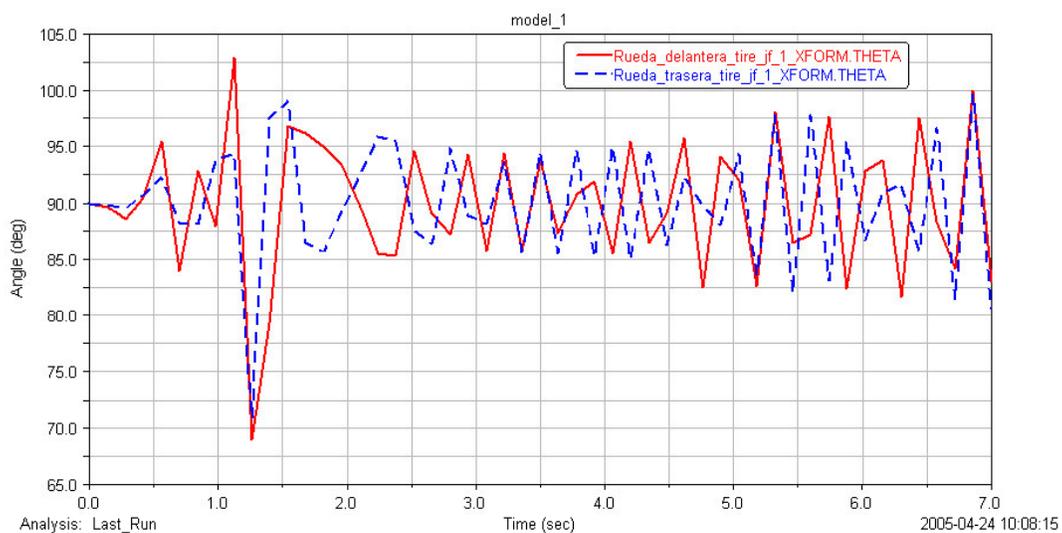
El comportamiento del resto de los componentes del modelo es semejante al del chasis.

Refiriéndonos ahora al ángulo de cabeceo se puede ver como el comportamiento es análogo al caso anterior excepto que en este caso los ángulos son mayores.



**Fig. 122.-** Ángulo de cabeceo del chasis.

En la rueda y resto de las partes del modelo sucede lo mismo que se ha descrito anteriormente, y es que en ambos casos (primer y segundo modelo secundario) se tiene comportamientos análogos en cuanto a forma de la figura pero no en lo que se refiere a los valores obtenidos, siendo mayor en el caso que se está analizando ahora, como puede verse si se compara las figuras siguientes con las mismas pero del primer modelo secundario. También difieren en cuanto al inicio de la marcha puesto que cada una posee inicios diferentes.



**Fig. 123.-** Deformación de los amortiguadores.

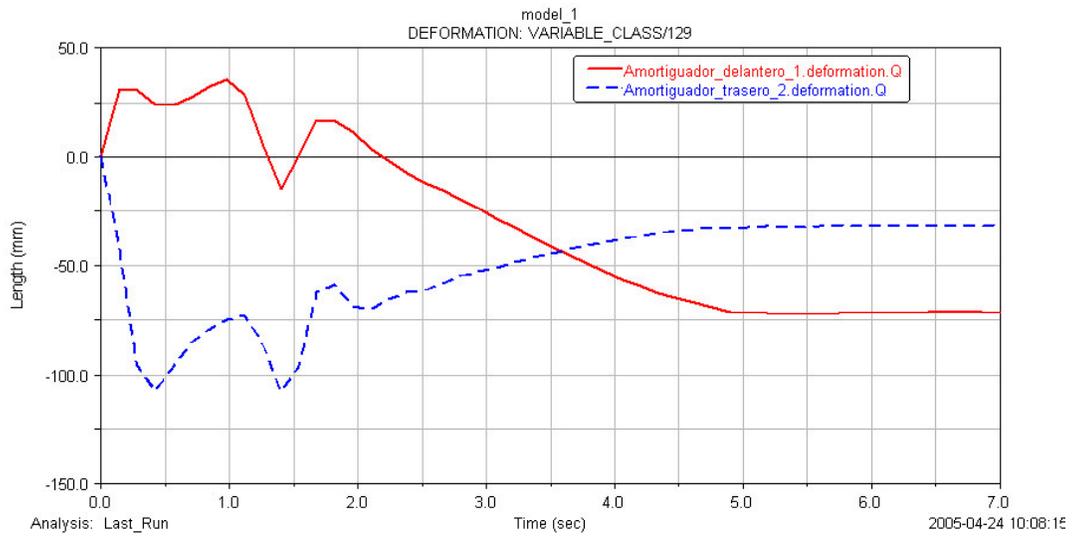


Fig. 124.- Deformación de los amortiguadores.

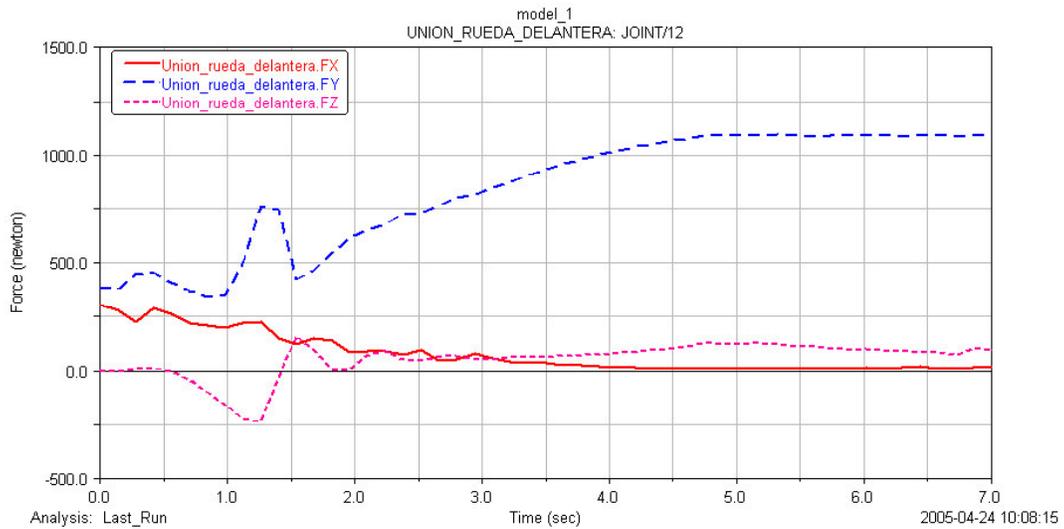
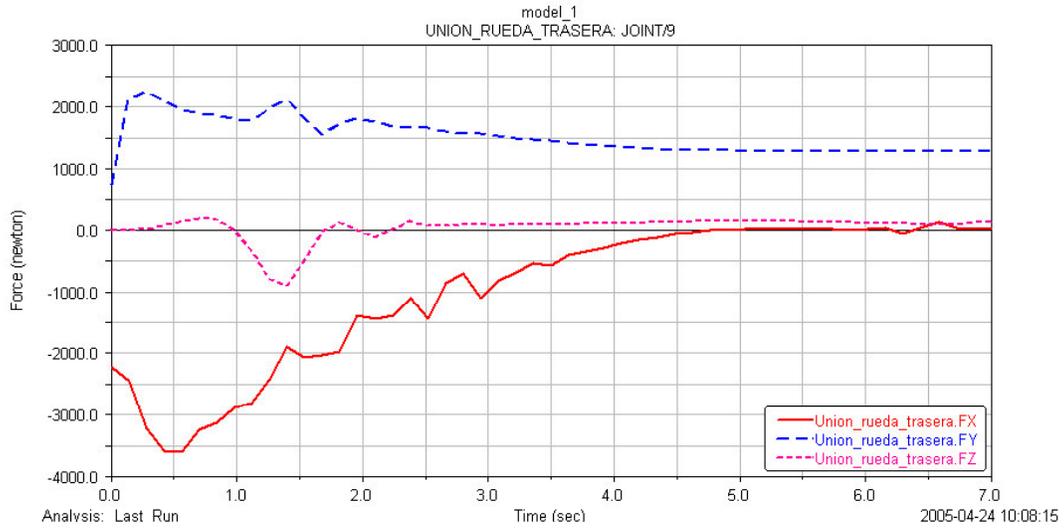
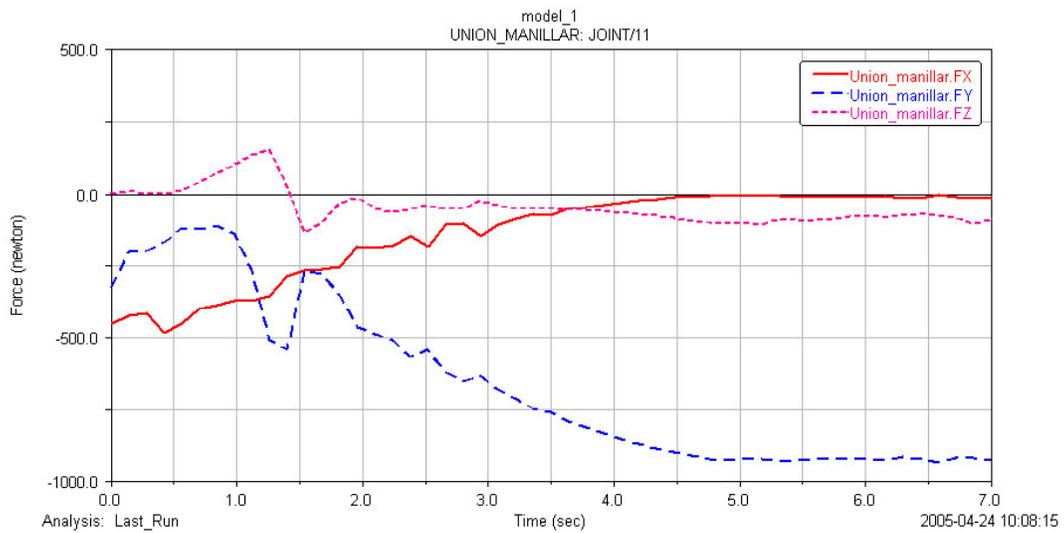


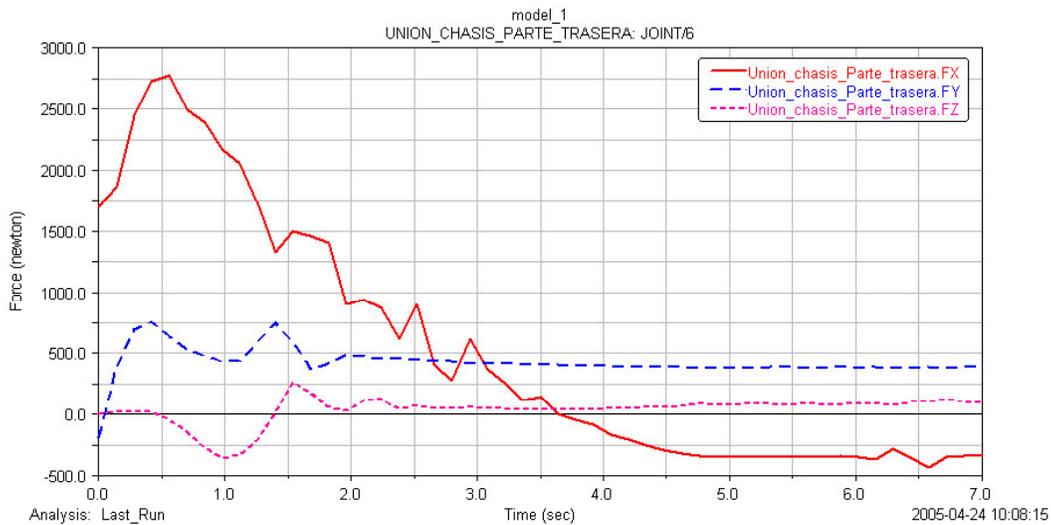
Fig. 125.- Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.



**Fig. 126.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.



**Fig. 127.-** Esfuerzo en el manillar.



**Fig. 128.-** Esfuerzo en la unión entre el chasis y el tren trasero.

## 6.2 ANÁLISIS DE LA FRENADA

Para analizar los resultados de una frenada a los diferentes modelos se partirá de una situación en la que la motocicleta tenga una cierta velocidad, para lo cual se comenzará a estudiar la frenada partiendo de la aceleración previa del estudio anterior, donde todos los modelos llegaban hasta una velocidad de 90 Km/ h.

La diferencia en el estudio de este análisis consiste en que ahora nos interesa conocer el comportamiento del modelo cuando está desacelerando por lo que una vez que dicho modelo ha alcanzado la velocidad prevista se comenzará a realizar dicha frenada. La fuerza que simulará la acción de los frenos será una que actuará en el centro de masas de la rueda delantera, tendrá dirección a lo largo del eje y sentido hacia la rueda trasera, aunque cuando el modelo no está completamente en línea recta esto llega a ser un problema debido a que la fuerza sigue manteniendo su dirección y hace la moto inestable. A esta inestabilidad hay que sumarle la propia inestabilidad que crea la frenada, por lo que sin una buena simulación de las fuerzas que pueda ejercer el piloto se puede suponer por estos dos hechos que el comportamiento no será demasiado bueno.

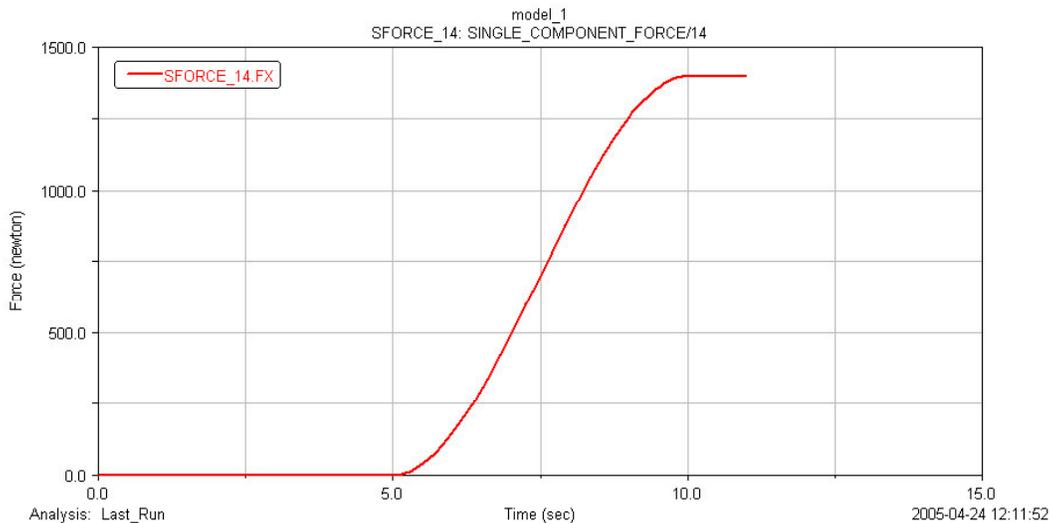
En todas las simulaciones con los modelos se ejercerán el mismo tipo de fuerzas y también el mismo valor y tiempo de duración, tanto en la aceleración como en la frenada para poder ver de esta manera la influencia que tiene el aumento del ángulo de inclinación y de la distancia entre ejes.

La fuerza estabilizadora que se empleará en cada caso será la misma (tanto en el tipo de fuerza usada como en su valor) que en el caso de la aceleración.

Primero se estudiará en profundidad el modelo principal, viendo la velocidad hasta la cual es estable la motocicleta, las fuerzas, ángulos de inclinación y de cabeceo. Para los otros dos modelos se verán las diferencias existentes entre ellos y el modelo principal

### 6.2.1 MODELO PRINCIPAL

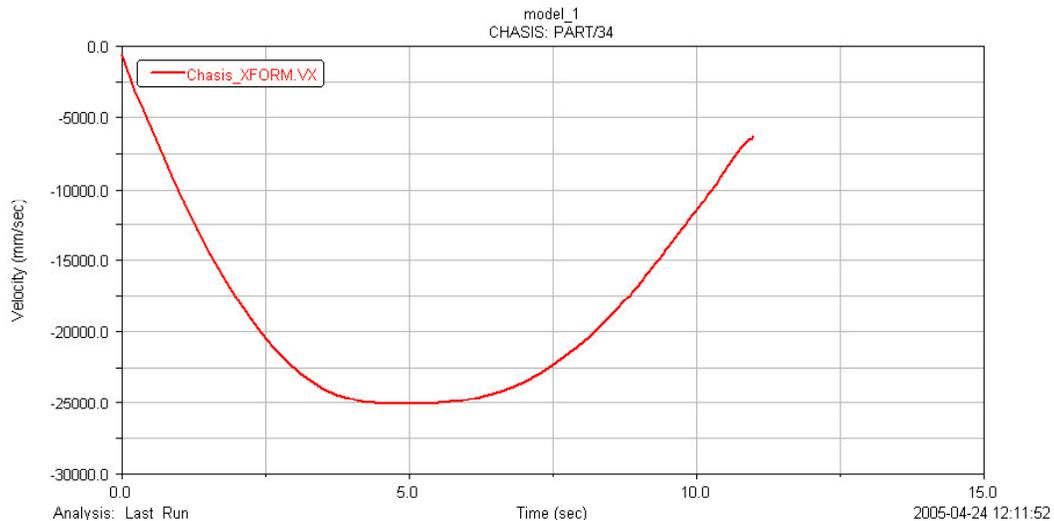
Como se dijo anteriormente, la simulación que se llevará a cabo comprende una aceleración idéntica a la ya estudiada y una frenada para lo cual la fuerza aplicada en el centro de masas de ambas ruedas serán:



**Fig. 129.-** Fuerza de frenada.

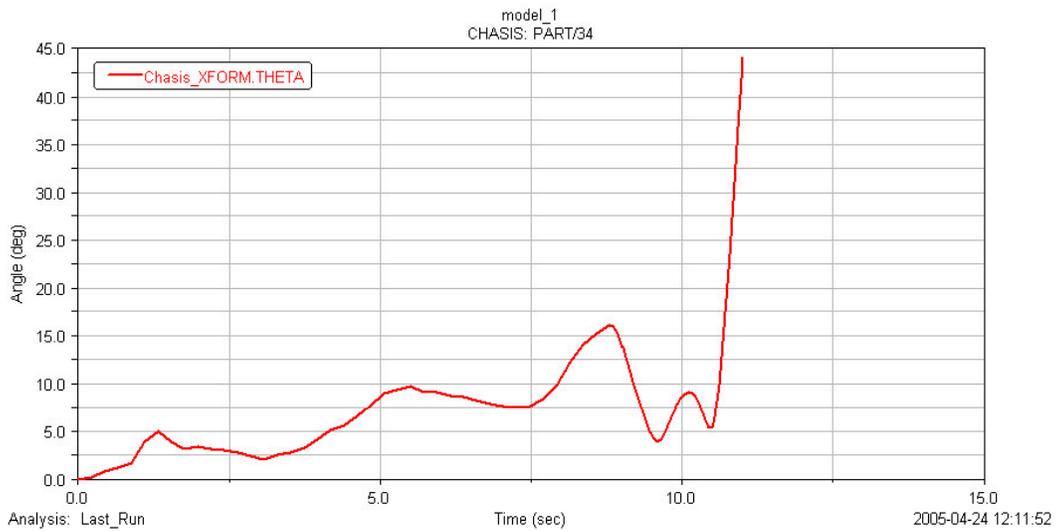
En la simulación se pudo observar como el modelo se mantiene estable hasta el momento en que la motocicleta está casi parada y que debido a que al

no hay piloto para poder controlar esa disminución de la velocidad acaba por caerse hacia un lado. Durante la frenada se observa como el manillar va girando para contrarrestar los cambios de dirección producidos por la fuerza de frenada. La velocidad a la que termina por caerse hacia un lado es de aproximadamente de 21 Km/ h, velocidad que se puede considerar pequeña considerando la inestabilidad que trae consigo la frenada.



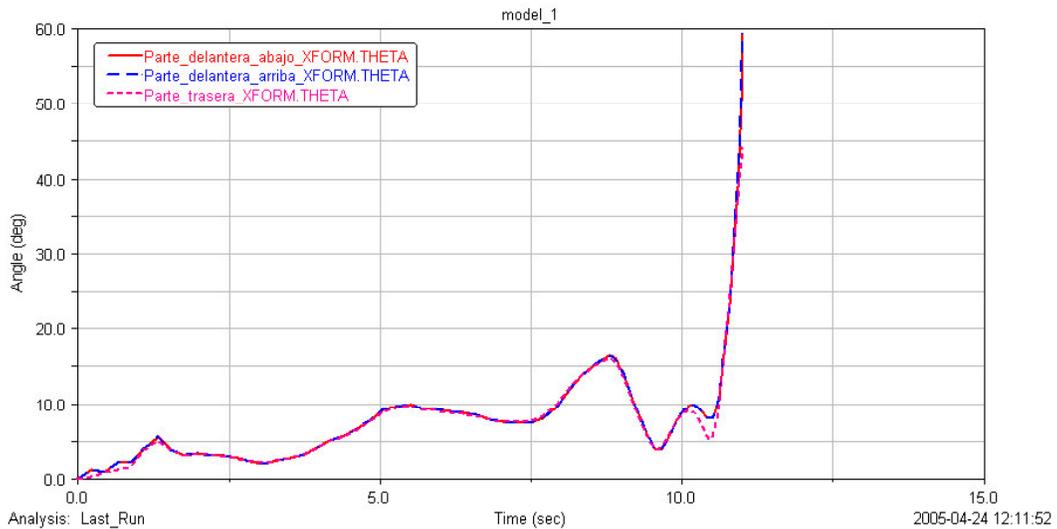
**Fig. 130.-** Velocidad del chasis.

Esta inestabilidad del final puede verse reflejada en el ángulo de inclinación del chasis. En la figura 131 se observa como dicho ángulo se mantiene dentro de unos valores no demasiado elevados (no es superior a 16 grados) y aumenta considerablemente al final de la simulación, donde la moto se cae hacia un lado.



**Fig. 131.-** Ángulo de inclinación del chasis.

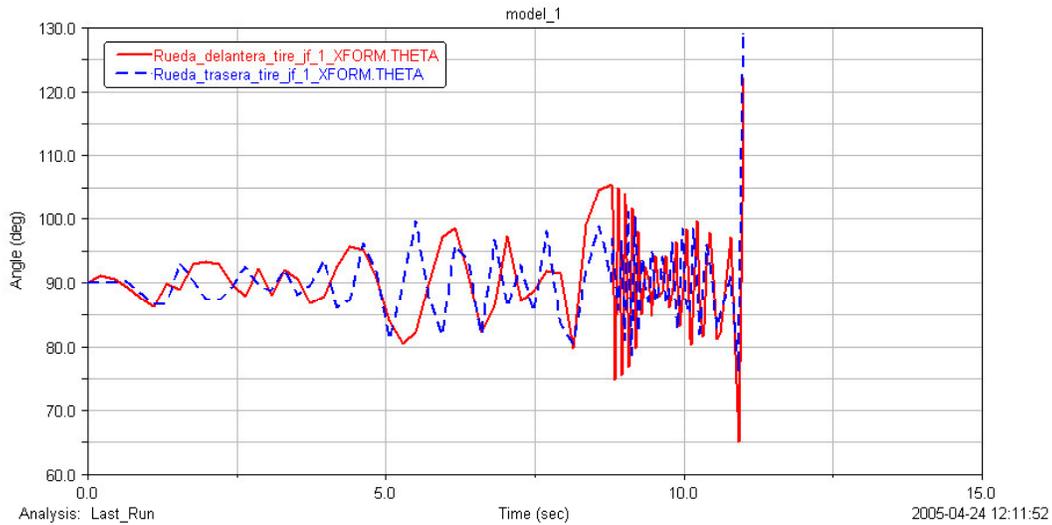
El resto de las partes del modelo van a tener el mismo comportamiento que el chasis, como puede comprobarse en la figura 132, donde se observa que además de tener la misma forma la curva, también se mantiene dentro de los mismos valores.



**Fig. 132.-** Ángulo de inclinación del tren delantero y trasero.

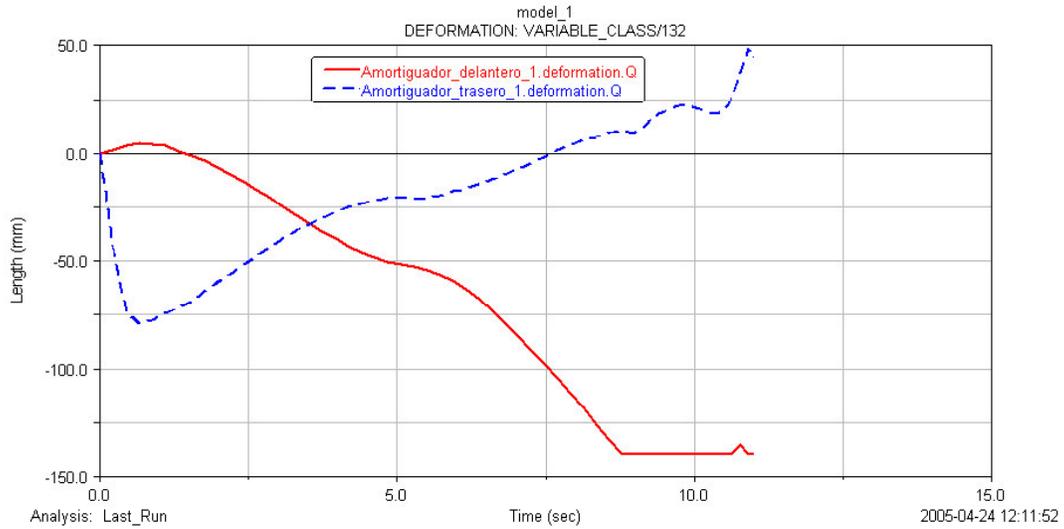
En el ángulo de inclinación de los neumáticos también puede verse ese incremento al volverse inestable el modelo al final de la simulación. También se

observa como al irse reduciendo la velocidad, la oscilación que se produce en el ángulo de inclinación de los neumáticos se va reduciendo, ocurriendo el caso contrario al de la aceleración.



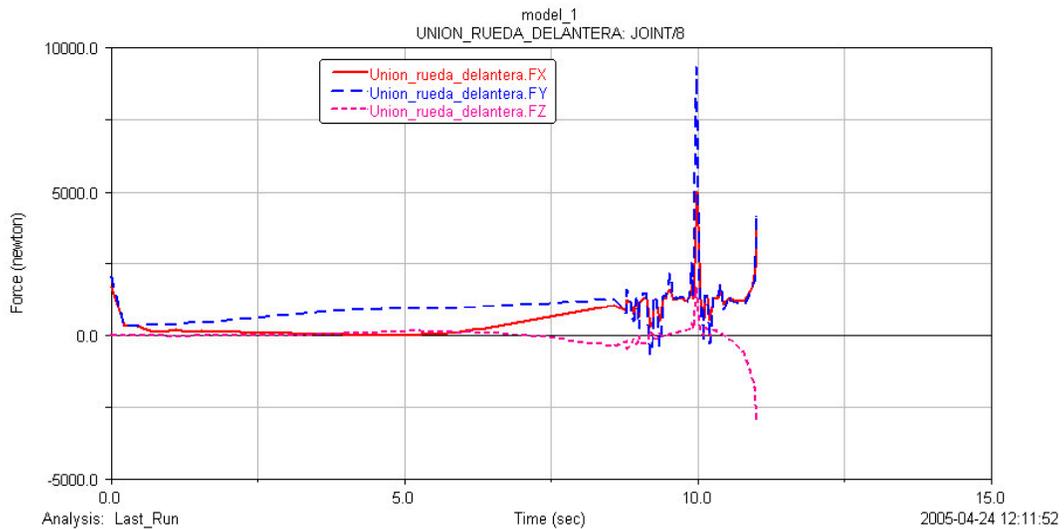
**Fig. 133.-** Ángulo de inclinación de las ruedas delantera y traseras.

En la figura 134 se observa el comportamiento de los amortiguadores en la frenada y en comparación con la figura 81, como el amortiguador delantero se comprime y el trasero se descarga, llevando un comportamiento contrario debido a la transferencia de carga que se produce al frenar, cargándose más la parte delantera.

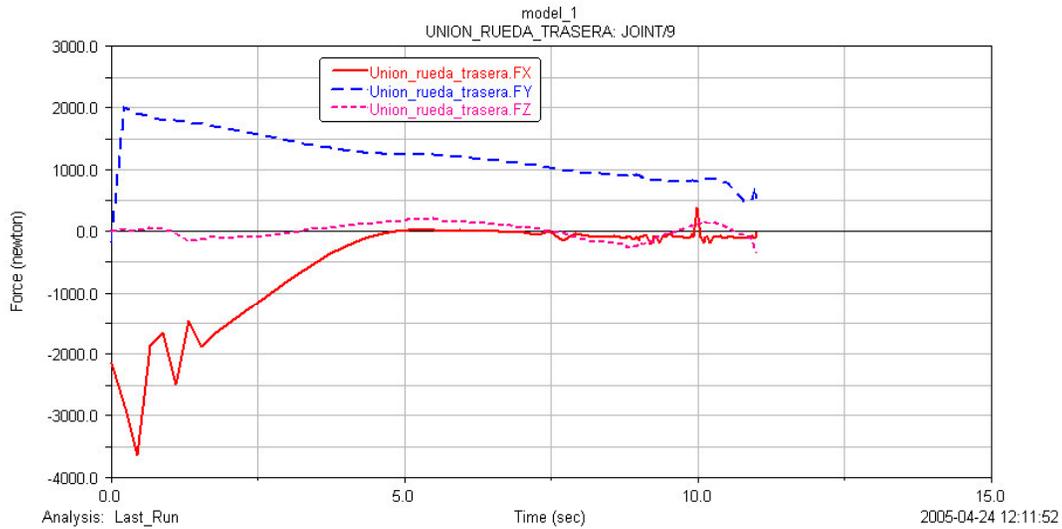


**Fig. 134.-** Deformación de los amortiguadores trasero y delantero.

Esta transferencia de carga de la parte trasera a la delantera también puede verse en las uniones de las ruedas donde puede verse un aumento de carga en la unión de la rueda delantera y como en la trasera se va descargando.

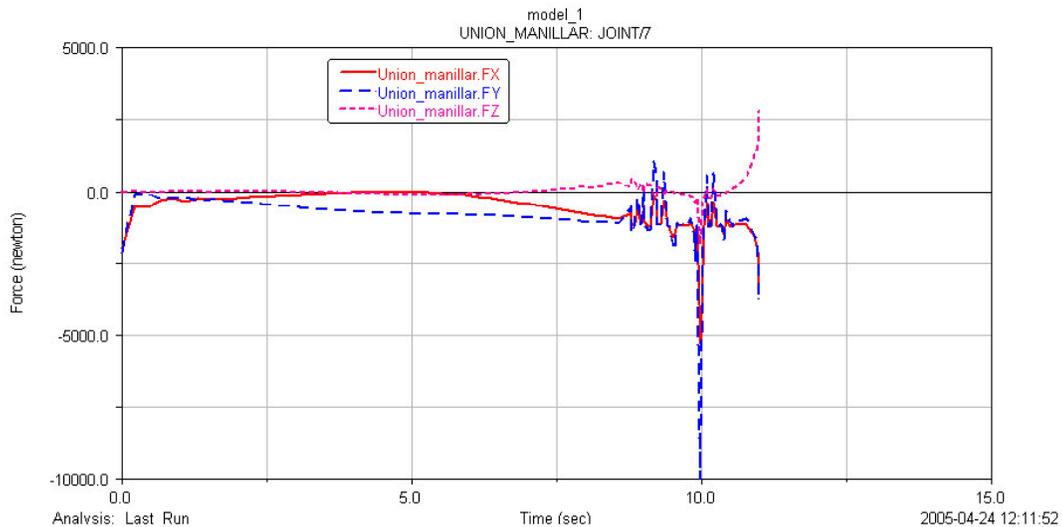


**Fig. 135.-** Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.



**Fig. 136.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.

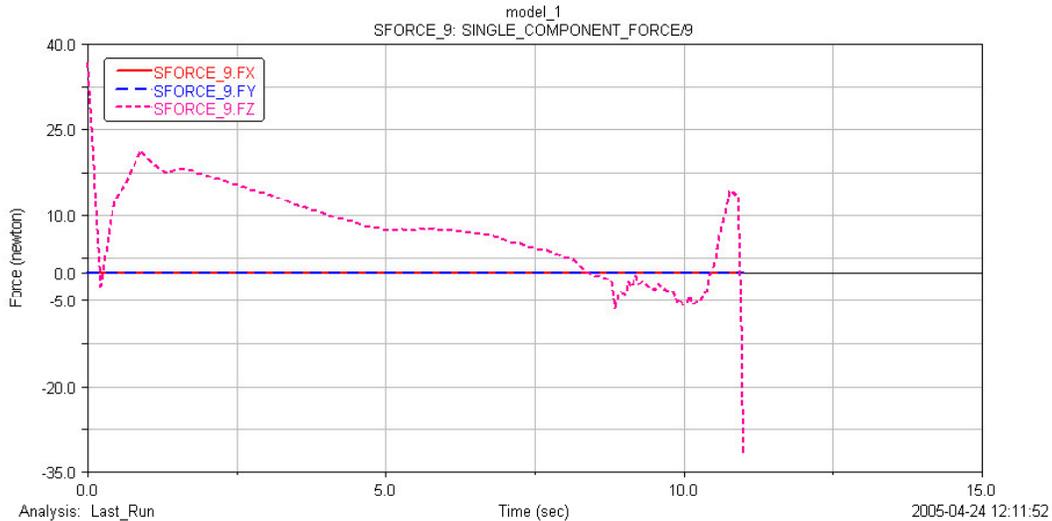
Por último comentar el aumento del esfuerzo en la unión del manillar debido a los giros que se producen en la frenada y que hacen que ese esfuerzo sea oscilante debido a los cambios de dirección que se producen en la simulación.



**Fig. 137.-** Esfuerzo en el manillar.

En la figura 138 puede verse la fuerza que se aplica al centro de masas del chasis para intentar lograr que el modelo se mantenga en su posición

vertical. En ella se comprueba como el modelo a medida que pasa el tiempo se va haciendo más estable y por tanto hace falta menos fuerza para mantenerla en su plano vertical. Sin embargo en el final de la simulación se observa como esta fuerza crece debido a que intenta mantener a la motocicleta vertical pero debido a la inclinación que en esos momentos tiene la moto, la fuerza debida al peso crea un momento que acaba por vencer a la fuerza estabilizadora.

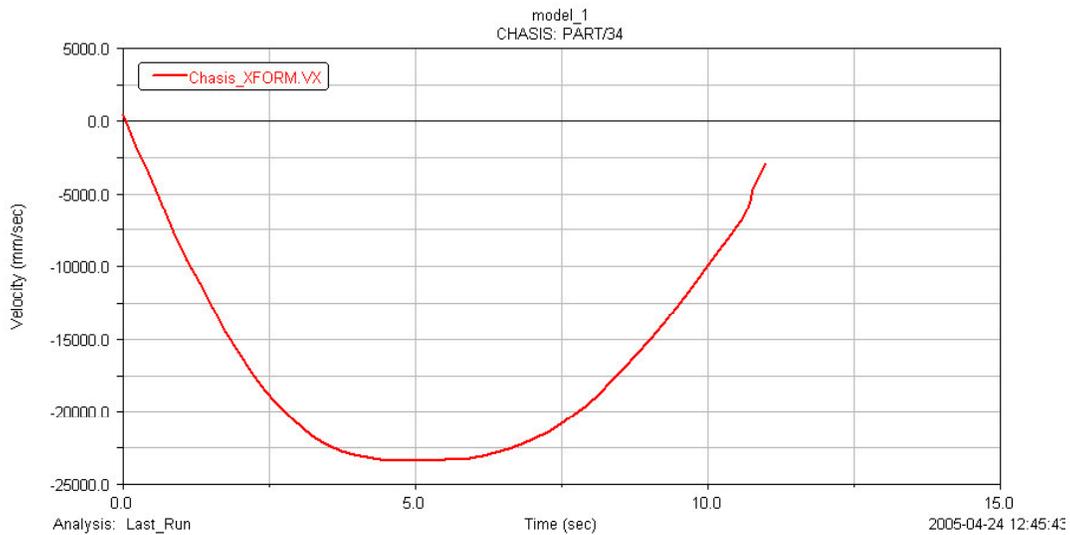


**Fig. 138.-** Fuerza estabilizadora.

## 6.2.2 PRIMER MODELO SECUNDARIO

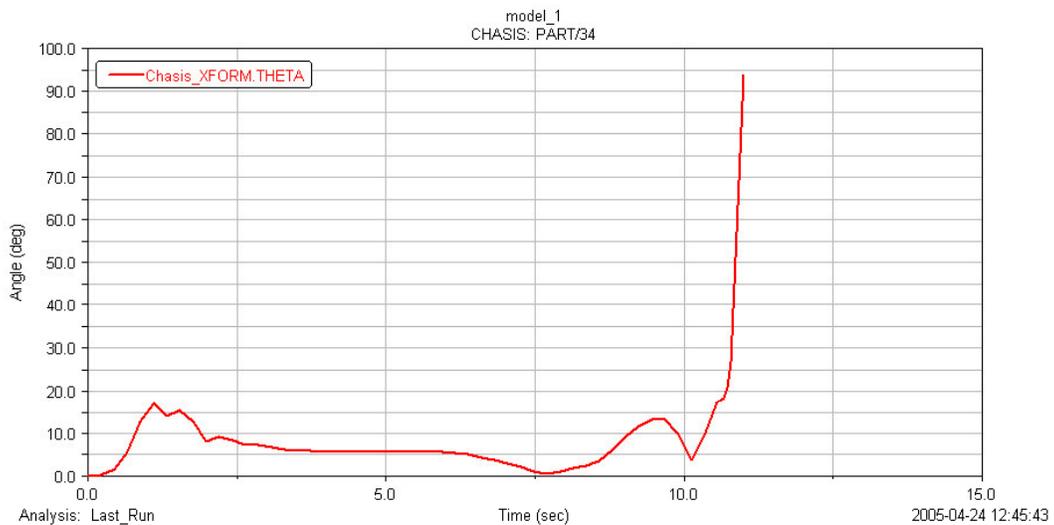
Al aumentar la distancia entre ejes se consigue una mayor estabilidad direccional y eso se ve reflejado en la frenada de este modelo debido a que no se produce tantos giros del manillar como se producía en el modelo principal. Por tanto todas las curvas serán más estables y no tienen las oscilaciones de la simulación anterior.

La mayor estabilidad de este modelo también se comprueba por la velocidad a la cual el modelo se vuelve inestable, que es menor que el caso anterior, llegándose a una velocidad aproximada de 11 Km/ h.



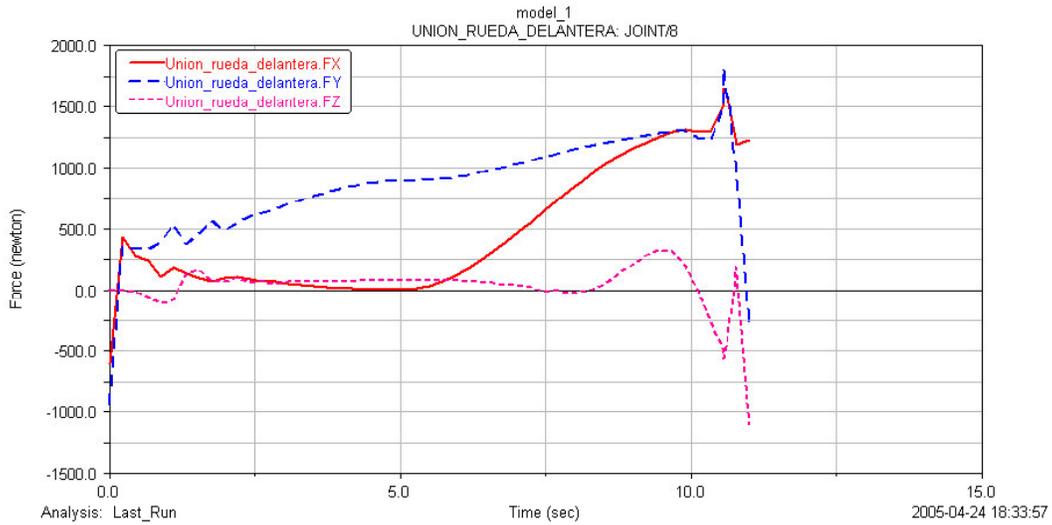
**Fig. 139.-** Velocidad del chasis.

Lo mismo se puede decir en cuanto al ángulo de inclinación, el cual es mucho más estable e incluso de menor valor que en la simulación del modelo principal, sólo alcanzando valores elevados en el momento en el que la moto acaba por caerse debido a su poca velocidad y la falta de piloto para poder controlarla.

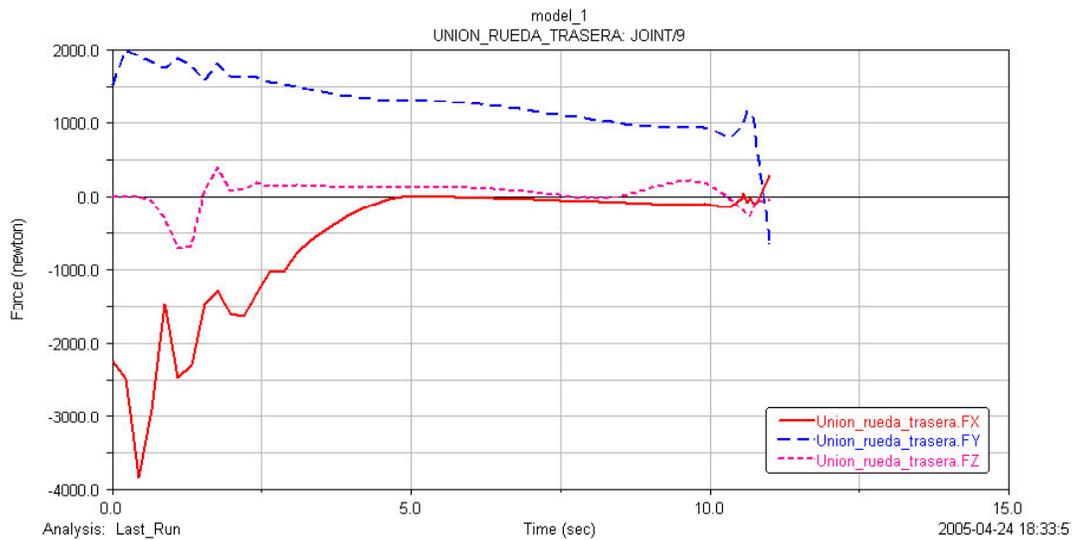


**Fig. 140.-** Ángulo de inclinación del chasis.

En la unión de la ruedas delantera y trasera se puede comprobar la transferencia de carga del tren trasero al delantero y también la estabilidad del modelo que se ve reflejado en la suavidad de las curvas al no aparecer ninguna oscilación del manillar en la frenada.



**Fig. 141.-** Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.

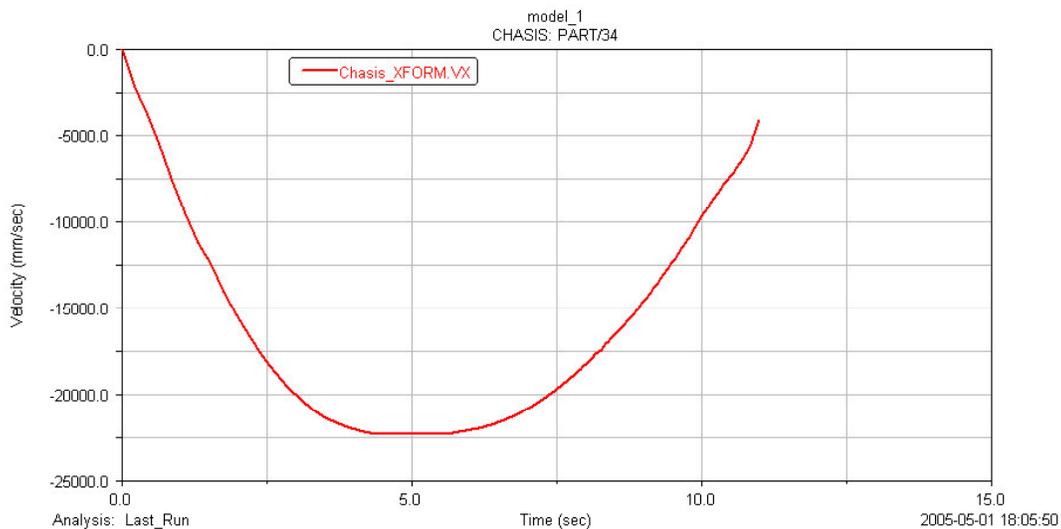


**Fig. 142.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.

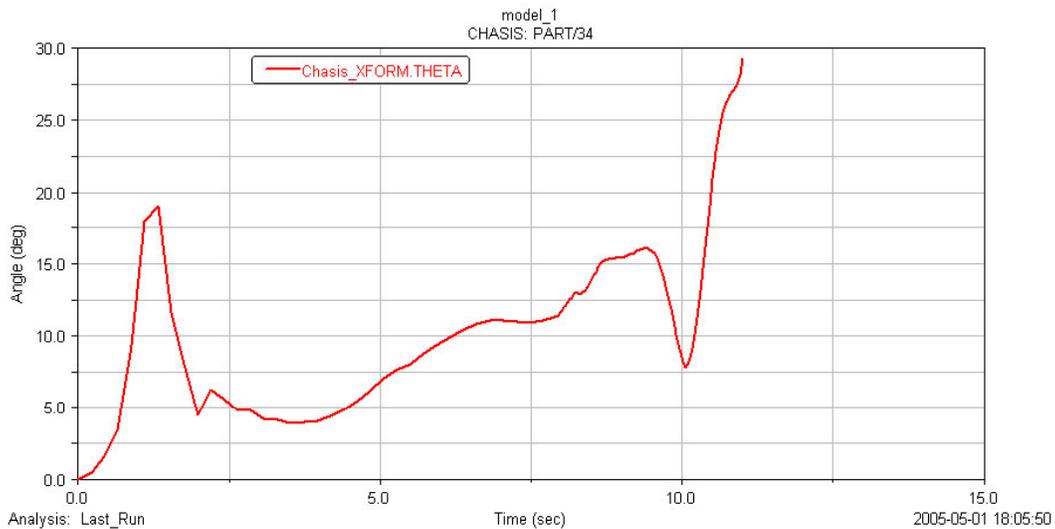
### 6.2.3 SEGUNDO MODELO SECUNDARIO

En este segundo modelo secundario se modificó, con respecto al modelo principal, el ángulo de inclinación, disminuyéndolo para conseguir de esta forma una mayor estabilidad en la marcha de la motocicleta.

En la aceleración de este modelo se pudo comprobar como en comparación al modelo principal se conseguía esa mayor estabilidad. Ahora en la frenada se vuelve a obtener el mismo resultado ya que no se obtienen inestabilidades, aunque el ángulo de inclinación va aumentando a medida que va avanzando la frenada, no llega a ser demasiado grande debido a que en el tiempo en el que se simula el modelo, éste no llega a caerse, porque aunque en el final del tiempo este ángulo crece no llega a ser tan elevado como en casos anteriores. La velocidad que llega a alcanzar al final de la frenada es de aproximadamente de 15 Km/ h, velocidad bastante pequeña si se considera que el modelo en ese instante no llega a caerse.



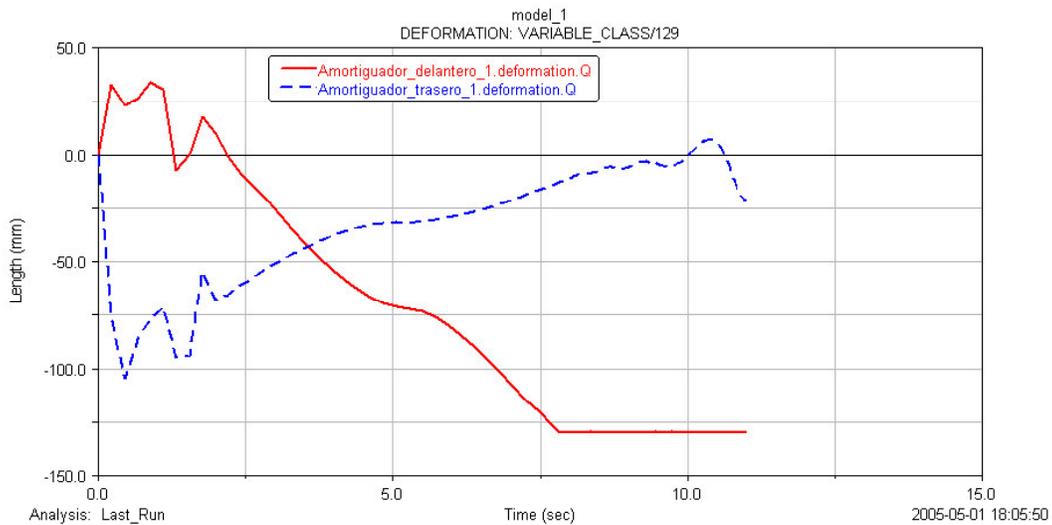
**Fig. 143.-** Velocidad del chasis.



**Fig. 144.-** Ángulo de inclinación del chasis.

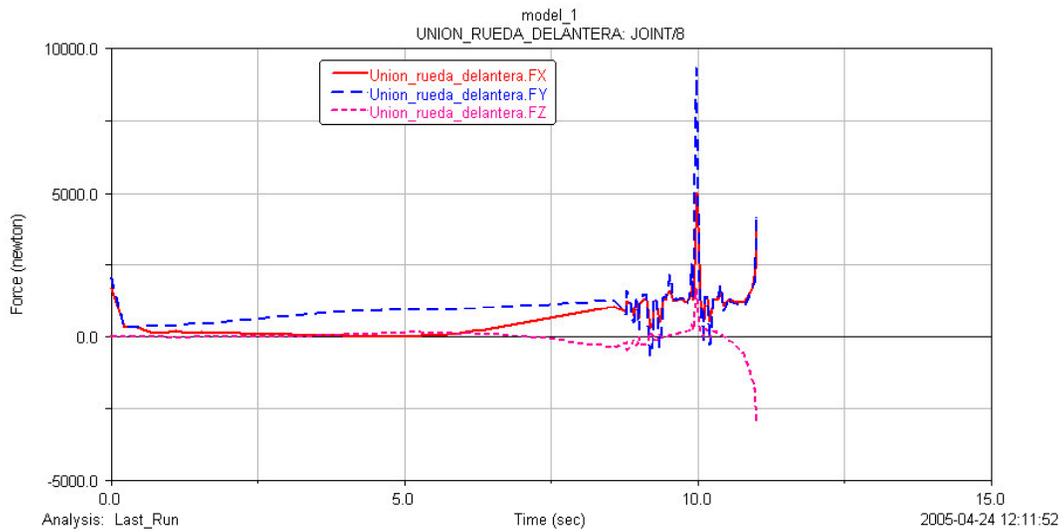
En las distintas uniones se puede comprobar la transferencia de carga del tren trasero al delantero debido a que al tener una mayor carga la parte delantera, todas las uniones sufrirán un mayor esfuerzo quedándose liberada las uniones de la parte trasera.

La transferencia de carga que se produce en el modelo se puede ver en la siguiente figura donde se observa que el amortiguador delantero de comprime y el trasero se va descargando.

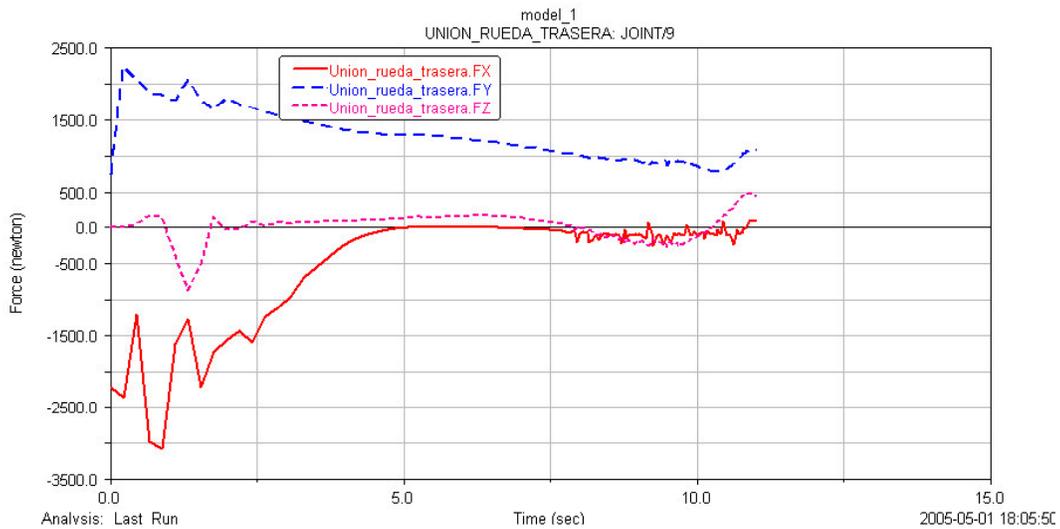


**Fig. 145.-** Deformación de los amortiguadores delantero y trasero.

En las figuras de las uniones se puede ver oscilaciones que son debidas al giro del manillar que se produce para intentar mantener la trayectoria recta en la motocicleta porque debido a que en la aceleración el modelo no se ha mantenido por completo en su dirección de inicio y la fuerza actúa de manera que no es totalmente paralela al eje vertical por lo que dicha fuerza ejerce un par desestabilizador que intenta contrarrestar el manillar en sus giros.

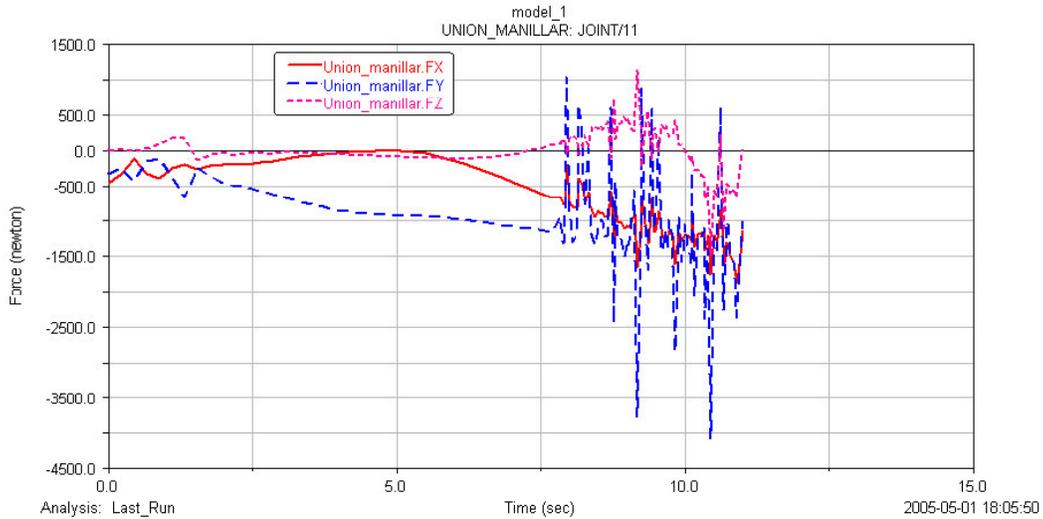


**Fig. 146.-** Esfuerzo en la unión de la rueda delantera.



**Fig. 147.-** Esfuerzo en la unión de la rueda trasera.

En la figura 148 puede verse el gran esfuerzo que recibe el manillar a causa de los diferentes giros realizados para poder mantener la dirección recta en la motocicleta.



**Fig. 148.-** Esfuerzo en la unión del manillar.

Por último se verá la fuerza realizada en el centro de masas del chasis para mantener la moto en su plano vertical. En dicha figura se puede ver las distintas oscilaciones que son debidas a los giros que se producen en el manillar. También se puede destacar el hecho de que dichas fuerzas en la frenada no son grandes por lo que se puede concluir que dicho modelo es estable porque los esfuerzos elevados en las distintas uniones son debidos a la transferencia de carga producida en la frenada.



**Fig. 149.-** Fuerza estabilizadora.