

5 REALIZACIÓN DE LOS MODELOS

El propósito de este proyecto es la realización de un modelo de motocicleta estable con el programa Adams y estudiar el comportamiento que tiene en una aceleración y una frenada. A partir de dicho modelo y modificando en un caso la distancia entre ejes y en otro el ángulo de lanzamiento, se obtendrán dos modelos secundarios a los que se les someterán a las mismas simulaciones que al modelo principal para de esta manera poder comparar los resultados obtenidos.

Cada uno de los modelos realizados en Adams están divididos en una serie de partes generales que son de las que se compone cualquier motocicleta de mercado. Las partes de las que está compuesta el modelo son:

- Chasis.
- Tren delantero.
- Tren trasero.
- Sistema de suspensión.
- Neumáticos.
- Carretera.

Los parámetros más distintivos de cualquier motocicleta de mercado son el ángulo de lanzamiento, el avance de la rueda delantera, el avance de la rueda trasera y la distancia entre ejes.

A continuación se pasará a detallar en profundidad cada uno de los modelos que van a ser motivo de estudio en este proyecto. Partiendo de un modelo principal y con los distintos cambios en los valores de los parámetros se obtendrán dos modelos más. Los valores de los principales parámetros con los que se construirán los diferentes modelos serán:

1.- Modelo principal: El modelo de motocicleta que servirá de base para las diferentes pruebas y modificaciones será uno que tenga:

- Valor de distancia entre ejes: **1450 mm**.
- Ángulo de lanzamiento: **25 grados** (al ser el valor más común entre las motocicletas del mercado).
- Descentramiento entre el eje de la rueda y la pipa de dirección de **6 cm**.
- Avance de la rueda delantera de **118.35 mm**.
- Avance de la rueda trasera de **1568.35 mm**.

2.- Primer modelo secundario: Los parámetros con los que se hará la primera modificación del modelo principal serán:

- Valor de distancia entre ejes: **1550 mm**.
- Ángulo de lanzamiento: **25 grados** (al ser el valor más común entre las motocicletas del mercado).
- Descentramiento entre el eje de la rueda y la pipa de dirección de **6 cm**.
- Avance de la rueda delantera de **118.35 mm**.
- Avance de la rueda trasera de **1668.35 mm**.

3.- Segundo modelo secundario: Los parámetros con los que se construirá el tercer modelo serán:

- Valor de distancia entre ejes: **1450 mm**.
- Ángulo de lanzamiento: **15 grados**.
- Descentramiento entre el eje de la rueda y la pipa de dirección de **5 cm**.
- Avance de la rueda delantera de **85.74 mm**.
- Avance de la rueda trasera de **1535.74 mm**.

5.1 MODELO PRINCIPAL

5.1.1 CHASIS

El chasis que se ha decidido modelar es un multitubular de elementos rectos formados por tubos de sección circular, colocados de tal forma que en su totalidad sea una estructura triangular, consiguiendo de esta manera que tenga una elevada rigidez. El hecho de que los tubos sean redondos se debe a la elevada capacidad para resistir cargas de torsión, de compresión y de tracción que poseen dichos perfiles.

La unión entre los distintos tubos será una unión soldada formando en su totalidad un solo conjunto (aunque en el modelo, debido a la forma de trabajo del programa Adams, esta unión no se hará como tal sino que se hará agregando cada nuevo cilindro al anterior dentro de la misma parte, de tal forma que el resultado sea un solo sólido).

En la figura 57 se puede observar unas vistas del modelo general del chasis cuyas características principales son:

- Material: Acero.
- Densidad del material: 7801 Kg/m³.
- Masa: **105.86 Kg.**
- Tensor de inercia de masa:

$$I_{xx} = 4.66E+06 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{yy} = 1.72E+07 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{zz} = 1.96E+07 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

- Posición del centro de gravedad, con respecto a la carretera: (136.06, 728.08, 0)

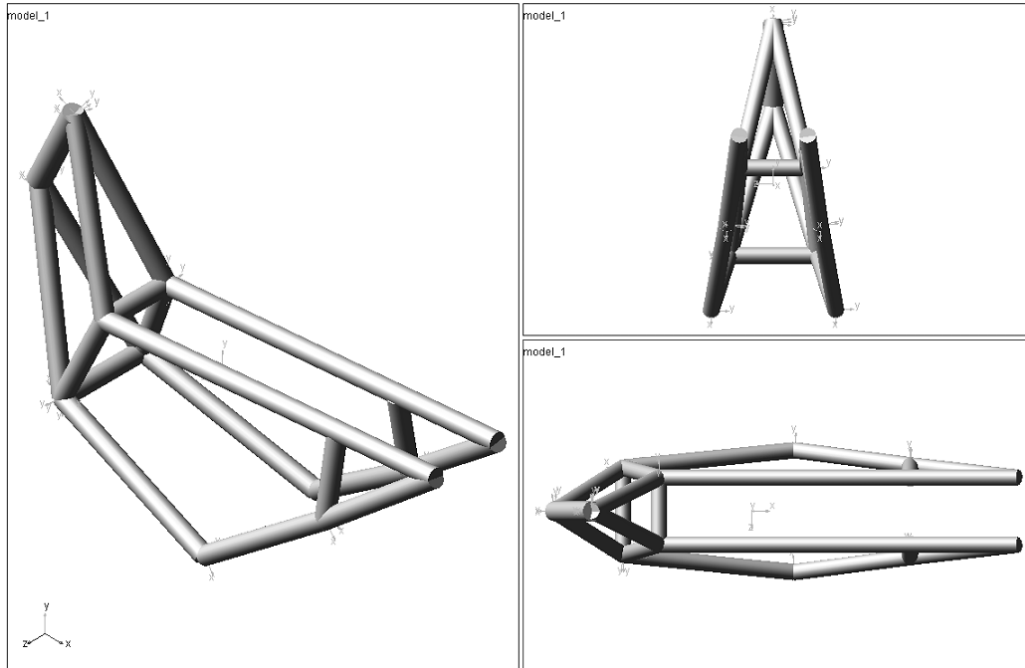


Fig. 57.- Vista general del chasis.

El chasis está compuesto por cilindros de 2.3 cm de radio excepto la pipa de dirección que tiene un radio de 2.8 cm. Se observa como la parte trasera del chasis es más ancha que el resto con la finalidad de que pueda albergar de esa forma a los diferentes componentes mecánicos de la motocicleta, tales como el carburador, el motor, la batería, etc.

5.1.2 TREN DELANTERO

El tren delantero del modelo esta compuesto por dos partes, la primera compuesta por dos chapas y la segunda por la suspensión delantera, que se divide en dos partes, la superior y la inferior cada una compuesta por dos cilindros.

- Las chapas tendrán la función de unir el chasis con la suspensión delantera. Serán de forma triangular, unirán los 2 cilindros superiores de la suspensión delantera con la pipa de dirección y estarán montadas

tanto en la parte superior como en la inferior de la pipa de dirección. Dichas chapas tendrán unas dimensiones de 5 cm de profundidad y un radio de 4 cm. Junto con los cilindros superiores de la suspensión delantera formaran un solo sólido, evitando de esta forma la unión fija que ello conllevaría y sus restricciones redundantes. Sin embargo, la chapa superior irá unida a la pipa de dirección con una unión articulada para poder simular de esta manera el giro del manillar.

- La suspensión delantera es del tipo telescópica, formada por dos tubos cilíndricos, donde el inferior tiene unas dimensiones de 2.8 cm de radio y 40 cm de longitud y el superior con un radio de 2 cm y una longitud de 62 cm. Cabe destacar que el cilindro superior está introducido dentro del inferior evitando de esta manera que ante una extensión brusca de la suspensión no se salga uno del otro.

El tren delantero de la motocicleta estará formado por dos sólidos, uno de ellos constituido por las chapas de unión y la parte superior de la horquilla telescópica, llamada en el modelo de Adams `Tren_Delantero_Superior`, y el otro sólido estará compuesto por los cilindros inferiores de la suspensión; dicha parte se denomina `Tren_Delantero_Inferior`.

Para una mayor comprensión del tren delantero el modelo de 25 grados de lanzamiento puede verse unas vistas en la figura 58 cuyos datos principales serán:

- Material: Aluminio.
- Densidad del material: $2740 \text{ Kg} \cdot \text{m}^3$.
- Masa tren delantero:

Parte superior: **13.05 Kg.**

Parte inferior: **3.88 Kg.**

- Tensor inercia parte superior tren delantero:

$I_{xx} = 5.02\text{E}+05 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2$.

$$I_{yy} = 1.39E+05 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{zz} = 3.83E+05 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

- Tensor inercia parte inferior tren delantero:

$$I_{xx} = 1.07E+05 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{yy} = 6.24E+04 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{zz} = 4.67E+04 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

- Posición del centro de gravedad, con respecto a la carretera:

Parte superior: (-414.77, 1019.03, 0.0)

Parte inferior: (-682.01, 465.80, 0.0)

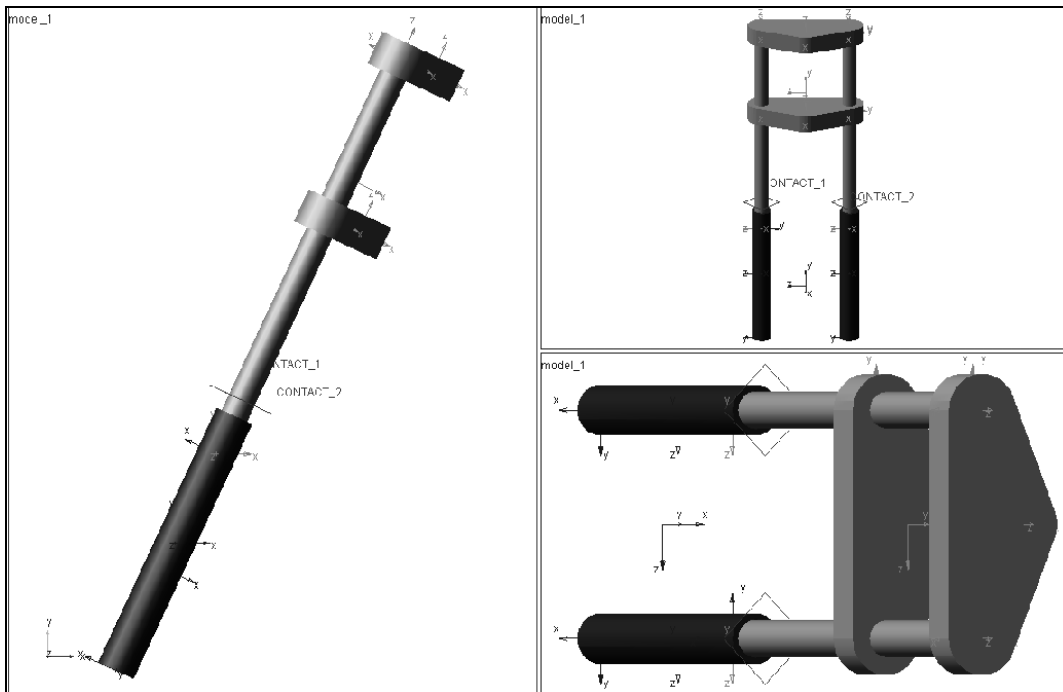


Fig. 58.- Vistas del tren delantero del modelo principal.

Debido a que las horquillas telescópicas se hunden al frenar, el cilindro inferior deberá tener un hueco para que el superior pueda deslizarse por su interior y pueda albergar al sistema de amortiguación propiamente dicho, teniendo dicho hueco una profundidad de 20 cm. La amortiguación será hidráulica y estará compuesta únicamente por un muelle debido a que en el programa Adams se puede modelar tanto el coeficiente de rigidez (K) como el coeficiente de amortiguamiento (C). La unión entre el cilindro superior e inferior será cilíndrica permitiéndole de esta manera solamente el desplazamiento relativo de un cilindro sobre el otro. Para que ante una frenada brusca de la motocicleta, donde el amortiguador delantero se hunde mucho, el cilindro superior de la horquilla telescópica no sobrepase el tope de la amortiguación, se creará una fuerza de contacto entre ambos cilindros (superior e inferior) con unos valores elevados.

La distancia que existe entre los cilindros que componen la parte inferior del tren delantero, es decir, la longitud del eje donde va montada la rueda delantera, es de 25 cm, siendo este valor superior al ancho del neumático delantero debido a que se considera que en las motos convencionales se montan tanto el guardabarros como el sistema de frenos delanteros.

En los diferentes modelos utilizados en la realización de este proyecto existen diferencias tanto en los diferentes ángulos de lanzamientos como en descentramiento del eje de la rueda. Este descentramiento tiene la finalidad de mantener el valor del avance dentro de los valores más comunes, que son entre 50-100 mm, debido a que si se aumenta o se disminuye el ángulo de lanzamiento sin modificar el valor del descentramiento, el valor del avance se vería modificado de la misma manera, no pudiendo alcanzar los valores a los que se ha hecho mención anteriormente. Por tanto, la única forma de poder mantener el avance entre dichos valores, será recurriendo a un desplazamiento tanto de la horquilla delantera como de la pipa de dirección, ya sea un desplazamiento positivo o negativo.

Para el modelo principal, de lanzamiento 25 grados, se tiene un decalaje por descentramiento positivo, es decir, que la pipa de dirección esta situada por detrás del eje de la rueda delantera, siendo la suspensión delantera

la montada justo en el eje. El valor de avance para el modelo de 25 grados de lanzamiento es de 118.35 mm, valor algo superior a los habituales de avance, y con un decalaje positivo de 6 cm. Para el resto de los modelos se verá en cada caso la solución adoptada.

5.1.3 TREN TRASERO

El sistema trasero de suspensión que se modelará será una suspensión con basculante de doble brazo, con dos amortiguadores, montado uno por cada brazo del basculante. Dicho tren trasero estará constituido por dos piezas rectangulares redondeadas en sus extremos y un tubo de sección circular unirá ambas piezas. Estas piezas rectangulares tienen una anchura de 8.5 cm, una profundidad de 5.50 cm y una separación entre ambas de 32 cm, que es mayor que en el caso de la suspensión delantera debido a que el neumático trasero posee mayor anchura que el neumático delantero. De la misma forma que pasaba en el tren delantero, la distancia entre dichas piezas es superior al ancho del neumático trasero debido a que en las motos convencionales, en la parte trasera también están el sistema de frenos, el sistema de transmisión de potencia, etc.

El cilindro que une a los dos brazos del basculante tendrá una longitud de 35 cm con un radio de 2.5 cm y servirá también para amortiguar la flexión que se pueda producir en la suspensión trasera debido a las fuerzas laterales. Los amortiguadores irán montados entre las piezas rectangulares del basculante y el chasis, con cierto grado de inclinación.

En la siguiente figura 59 se puede ver unas vistas del tren trasero junto con el chasis, así servirá para comprender la manera en la que los amortiguadores están unidos tanto al basculante como al chasis.

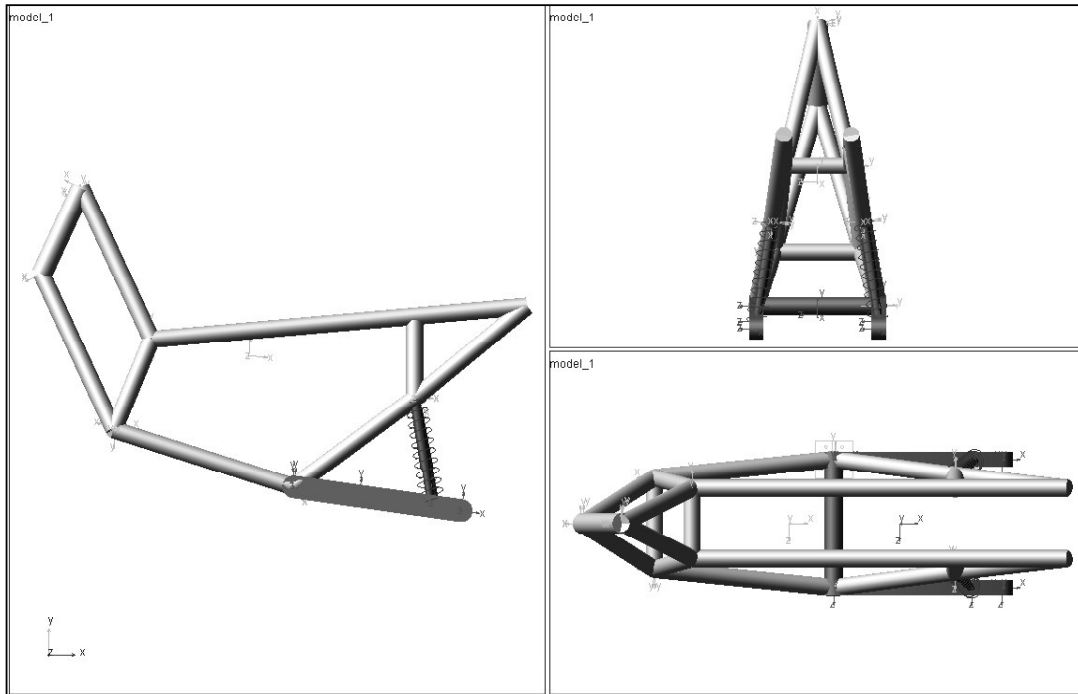


Fig. 59.- Vista del chasis junto con el tren trasero.

Las características principales del tren trasero son:

- Material: Acero.
- Densidad del material: 7801 Kg/m³.
- Masa: 23.79 Kg.
- Tensor de inercia de masa:

$$I_{xx} = 5.96E+005 \text{ kg-mm}^2$$

$$I_{yy} = 1.18E25+006 \text{ kg-mm}^2$$

$$I_{zz} = 5.95E+005 \text{ kg-mm}^2$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg*mm}^2$$

- Posición del centro de gravedad: (428.42, 358.17, 0.0).

El tren trasero será análogo para todos los modelos que serán objeto de estudio en este proyecto debido a que la modificación de los diferentes parámetros no afecta a la parte trasera de la motocicleta.

5.1.4 CONSTANTES DE LOS AMORTIGUADORES

Una primera aproximación de las constantes elásticas (K) de los amortiguadores tanto delanteros como traseros se han obtenido de la misma manera y es suponiendo un sistema masa-muelle completamente vertical, con una frecuencia de resonancia comprendida entre 1Hz y 2 Hz, que es con la que se obtiene un mayor confort. El valor de dicha constante K vendrá dado por la expresión:

$$\text{Frecuencia (rad)} = \sqrt{(K/\text{Peso})}, \text{ donde K viene en N/m}$$

Para ver si los valores obtenidos son correctos se recurrirá a calcular las frecuencias naturales de los amortiguadores montado en el modelo. Para ello antes de comenzar a simular se anclará la rueda delantera en su centro de masas, dejando la rueda trasera que se mueva libremente. De todos los modos de vibración que tiene el modelo, solamente nos interesará aquellos en los que tanto el amortiguador delantero como el trasero se mueva de forma vertical, que es la forma en la que se ha calculado nuestras constantes K. Una vez comprobado que estos modos de vibración tienen una frecuencia de resonancia comprendida entre 1 y 2 Hz se podrá empezar a realizar las diferentes simulaciones.

En cuanto a la masa usada para calcular dichas constantes se usará la masa suspendida de la motocicleta, haciendo una repartición de pesos de dicha masa entre los trenes delanteros y traseros. El tren trasero tendrá una mayor carga debido a que en esta parte donde existe una mayor condensación de componentes mecánicos de la motocicleta y mayor peso del piloto. Por tanto la distribución de pesos que se hará en los distintos modelos que en este proyecto se estudiarán, será de un 60% de la masa suspendida en la parte trasera y el 40% restante en la parte delantera.

La masa suspendida a la que se hace referencia anteriormente, comprende las siguientes partes de la motocicleta: el chasis, parte superior del amortiguador delantero (cilindros superiores), chapas de unión entre el amortiguador delantero y el chasis y parte del peso del basculante trasero.

Una vez realizados los cálculos de las distintas constantes, al tener el modelo dos amortiguadores tanto en el tren delantero como en el trasero, la constante obtenida en el cálculo se dividirá entre dos, siendo este el valor final de la constante K pero al estar inclinados, los valores finales de las constantes serán menores que los obtenidos por el cálculo anteriormente mencionado.

Para este primer modelo los datos que se han usado para hacer los cálculos en la obtención de las constantes son:

- Masa motocicleta: **170.58 Kg.**
- Masa suspendida: **142.70 Kg.**
- Masa en tren delantero (40% peso): **57.08 Kg.**
- Masa en tren trasero (60% peso): **85.52 Kg.**

Con estos valores y la fórmula anteriormente expuesta se obtienen unos valores para las constantes K de:

- Frecuencia natural de 1 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{2.29 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{3.38 \text{ N/ mm.}}$$

- Frecuencia natural de 2 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{9.17 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{13.52 \text{ N/ mm.}}$$

Como los amortiguadores no están completamente verticales sino inclinados un cierto ángulo, los valores finales de las constantes de los amortiguadores serán algo menores que los obtenidos en los cálculos. Dichos valores de la K serán:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = 8 \text{ N/mm.}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = 13 \text{ N/mm.}$$

Como el modelo está construido, tanto el tren delantero como el trasero, con dos amortiguadores en paralelo, los valores finales que se insertarán en el programa Adams serán los anteriores pero divididos por 2, es decir:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = 4 \text{ N/mm.}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = 6.5 \text{ N/mm.}$$

5.1.5 NEUMÁTICOS

Los neumáticos que se han decidido usar en este modelo son neumáticos que normalmente usan las motos comerciales. Esto se ha podido llevar a cabo gracias a que Adams tienen unos archivos que son específicos para motocicletas y que coinciden con los que emplean las motos convencionales. Estos neumáticos son, para la rueda delantera el neumático **120/70 ZR-17** y para la rueda trasera el **180/55 ZR-17**. Para poder entender que significa cada uno de los datos del tipo de neumático, se analizará a fondo uno de ellos, en este caso será el neumático trasero 180/55 ZR-17:

- **180** es la anchura nominal de la sección transversal del neumático en mm.
- **55** es la relación existente entre la sección longitudinal del neumático y la anchura nominal de su sección transversal.
- **ZR** significa que la cintura de la llanta es de acero.
- **17** es el diámetro nominal de la llanta en pulgadas.

Las presiones de inflado que van a tener cada uno de los neumáticos van a ser, para el neumático delantero 2.2 bar y para el neumático trasero 2.6 bar. Estas presiones vienen dadas por defecto por el programa Adams y pueden ser modificadas aunque para ello hay que variar la programación del programa. En este caso no se hará ninguna variación en dichas presiones debido a que se estudiarán la variación de otros parámetros.

Para poder trasladar esta información contenida en el fichero al modelo se realizará sencillamente importando el archivo de Adams de cada uno de los neumáticos. En el caso del neumático delantero el archivo a importar es **mct_motor120_70ZR17_cr.tir** y para el caso trasero será el archivo **mct_motor180_55ZR17_cr.tir**, equivalente a los neumáticos anteriormente descritos. Una vez importados dichos archivos se le tendrá que especificar las coordenadas donde irá ubicado su centro de masas, su orientación, así como su masa y su inercia y las velocidades tanto lineal como angular, que en este caso será una velocidad residual debido a que la motocicleta alcanzará velocidad gracias a una fuerza que se le dará en el centro de masas del neumático trasero (esto es debido a que las motocicletas son de tracción trasera) y una vez cesada dicha fuerza solamente queda mantenérsela con una pequeña velocidad en el neumático. Estos archivos se encuentran ubicados en una carpeta de programa que posee diferentes ejemplos de neumáticos ya creados.

En todos los modelos se usarán los mismos neumáticos que este modelo principal por lo que en la descripción del resto de modelos no se hará mención alguna a las ruedas.

5.1.6 CARRETERA

Para poder completar la realización del modelo de motocicleta en Adams nos falta una superficie donde el modelo pueda moverse, es decir, hace falta la carretera donde poder realizarle las pruebas a la motocicleta. Para ello se importará un archivo de la librería que posee Adams en carreteras.

En el estudio de la aceleración y frenada del modelo se usará el archivo **mdi_2d_flat** que es un modelo de carretera plano. Al igual que se hizo anteriormente en el caso de los neumáticos, habrá que especificarle tanto unas coordenadas donde irá ubicada como una orientación para que el modelo se pueda apoyar en dicha carretera.

Entre los neumáticos y la carretera habrá una fuerza de contacto y es el propio programa Adams el encargado de su modelización y cálculo aunque cabe destacar que está basado en la fórmula mágica.

5.1.7 UNIONES

Para que todo lo modelado anteriormente funcione como un solo sólido se tendrá que unir las diferentes partes del modelo dependiendo de la forma en la que se mueven una respecto a otras. Para ello se recorrerá el modelo de delante hacia atrás, viendo la manera en que cada parte esta unida con la siguiente.

Como se dijo anteriormente, la unión entre la carretera y los neumáticos se hace a través de una fuerza de contacto que el propio programa Adams se encarga de modelar por lo que no se entrará en detalle.

En cuanto a la unión del neumático delantero con la parte inferior del tren delantero se modelará con una unión articulada permitiendo el giro de la rueda respecto a los cilindros inferiores, es decir, esta unión lo que nos permite modelar es el eje de la rueda delantera. La unión estará situada en el centro de masas de la rueda delantera.

Entre la parte inferior y la superior del tren delantero, para que uno deslice sobre el otro, la unión que se colocará será una que solo permita dicho movimiento; por tanto la unión buscada es una unión cilíndrica entre ambos cilindros. Solamente se situará una unión y no dos debido a que al poner las dos uniones se crean restricciones redundantes en el modelo. También para evitar que un cilindro pueda traspasar al otro, ya sea en una compresión o en una extensión brusca, se modelará una fuerza de contacto entre ambos cilindros del tipo impacto, con unos valores lo suficientemente altos para que se cumpla lo anteriormente dicho, que los cilindros no se traspasen uno al otro.

La unión entre la chapa superior del tren delantero y la pipa de dirección del chasis será una unión articulada para poder simular de dicha manera el giro de manillar. La posición en la que se situará dicha unión será el centro de la cara superior del cilindro que modela la pipa de dirección y estará inclinada 25 grados (mismo valor que el ángulo de lanzamiento) para poder permitir un normal giro del manillar.

En el chasis no existe ninguna unión debido a que se ha modelado como un solo sólido añadiendo cada cilindro nuevo que se crea a los anteriores

modelados como chasis, asemejándose esta forma de construir el chasis a uniones soldadas. Entre el chasis y el tren trasero existe una unión articulada que simula el balanceo que se produce en el basculante al amortiguar un bache o el propio peso propio de la moto y piloto; estará posicionada en uno de los extremos del cilindro que sirve de unión entre las piezas rectangulares del tren trasero y su posición será de forma horizontal.

Por último queda comentar la unión del tren trasero con la rueda de atrás, que al igual que el caso de la rueda delantera, la unión entre ambas partes se hará con una unión articulada, para poder permitir el giro de dicha rueda sobre el basculante. Su posición será horizontal al igual que la unión entre el tren delantero y la rueda delantera.

Para una mayor comprensión de todo lo explicado, se mostrará en una figura el conjunto del modelo y en otra se detallará las uniones y las fuerzas de contacto:

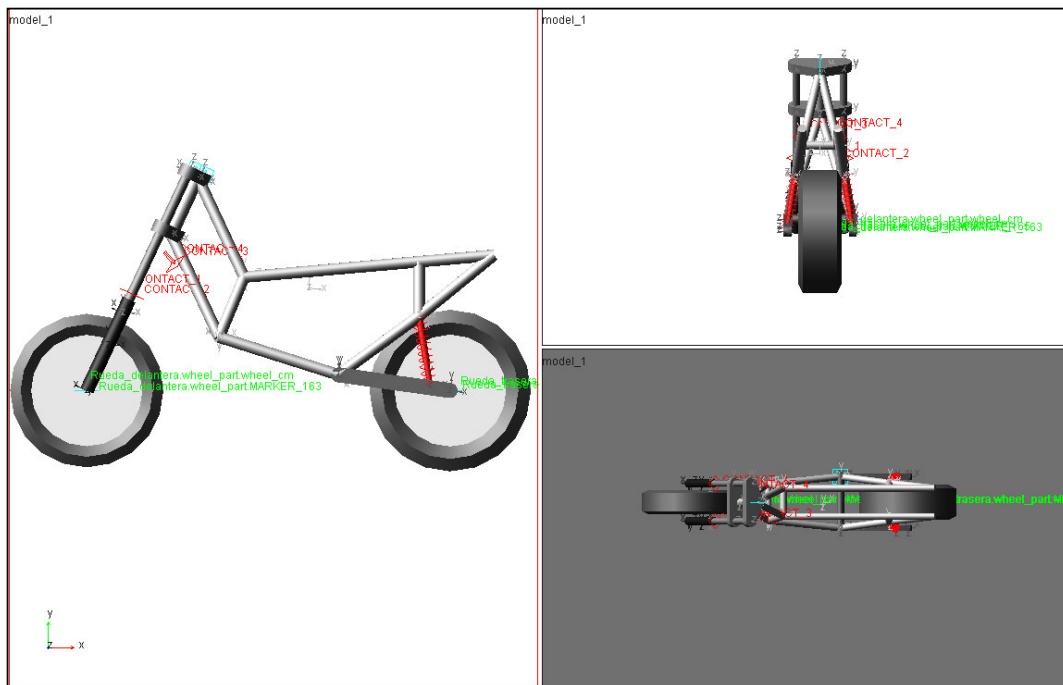


Fig. 60.- Vista general del modelo completo.

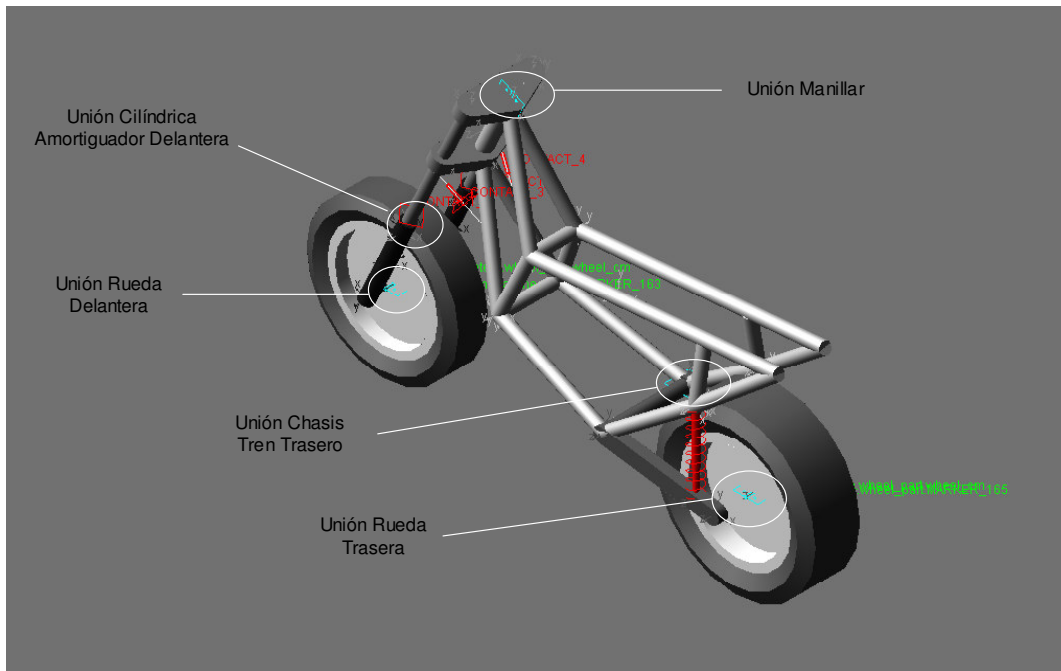


Fig. 61.- Detalles de las uniones del modelo y fuerzas de contacto.

5.1.8 PILOTO

El piloto como tal, es decir, con la forma de persona y con las fuerzas que este realiza, no se ha realizado sino que se modelará a través de una distribución de pesos aproximada apoyada en el chasis. Se supondrá un peso del piloto de 75 Kg y al tener la mayor parte del peso apoyada en la parte trasera, será ésta la que tenga un mayor peso, por tanto la distribución de masas será de 30 Kg en la parte delantera y 45 Kg en la parte trasera del chasis.

La forma que se le dará al piloto será de manera triangular en la parte delantera y cuadrada en la trasera, siguiendo la forma del chasis.

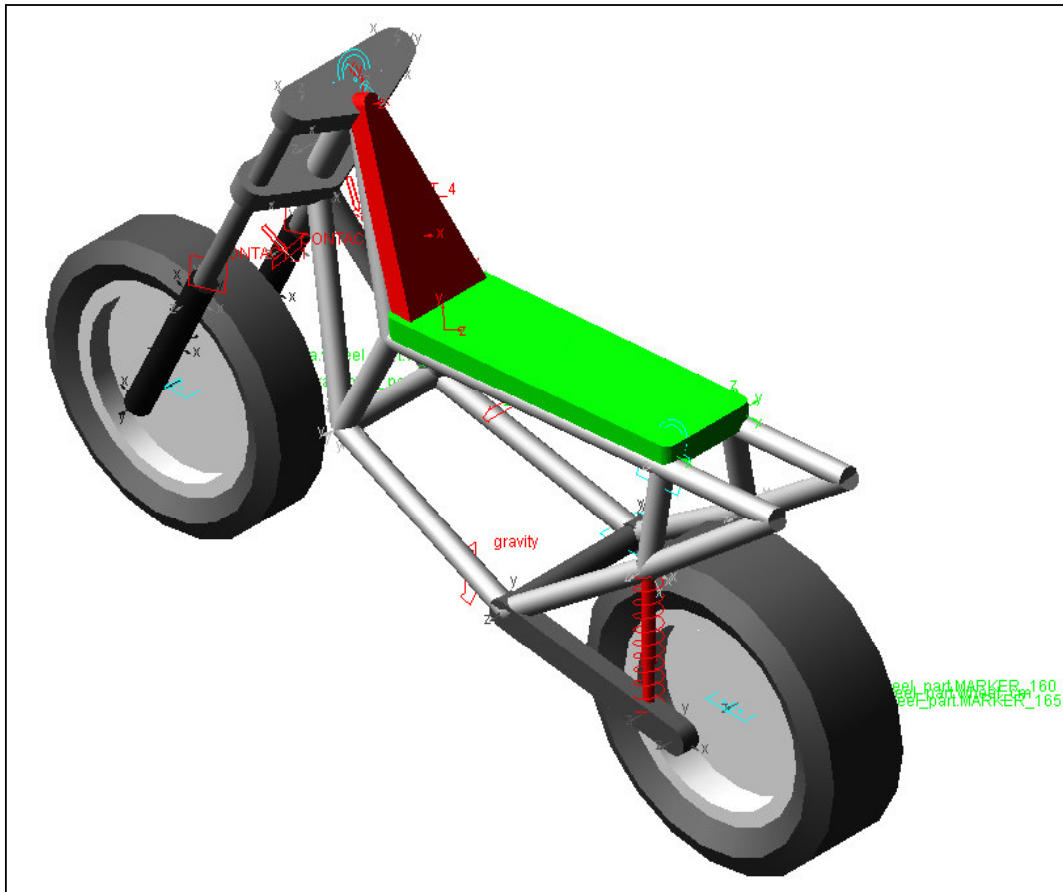


Fig. 62.- Vista del modelo junto con el piloto.

5.2 PRIMER MODELO SECUNDARIO

De la misma forma en la que se ha descrito el modelo principal se hará con el resto de modelos, aunque sólo se explicará de manera exhaustiva los distintos cambios que se producen con respecto al modelo principal.

Como se dijo al principio de este capítulo, la única diferencia existente entre este modelo y el modelo principal, se basa en el cambio en su distancia entre ejes, aumentándola a 1550 mm, manteniéndose el ángulo de lanzamiento a 25 grados.

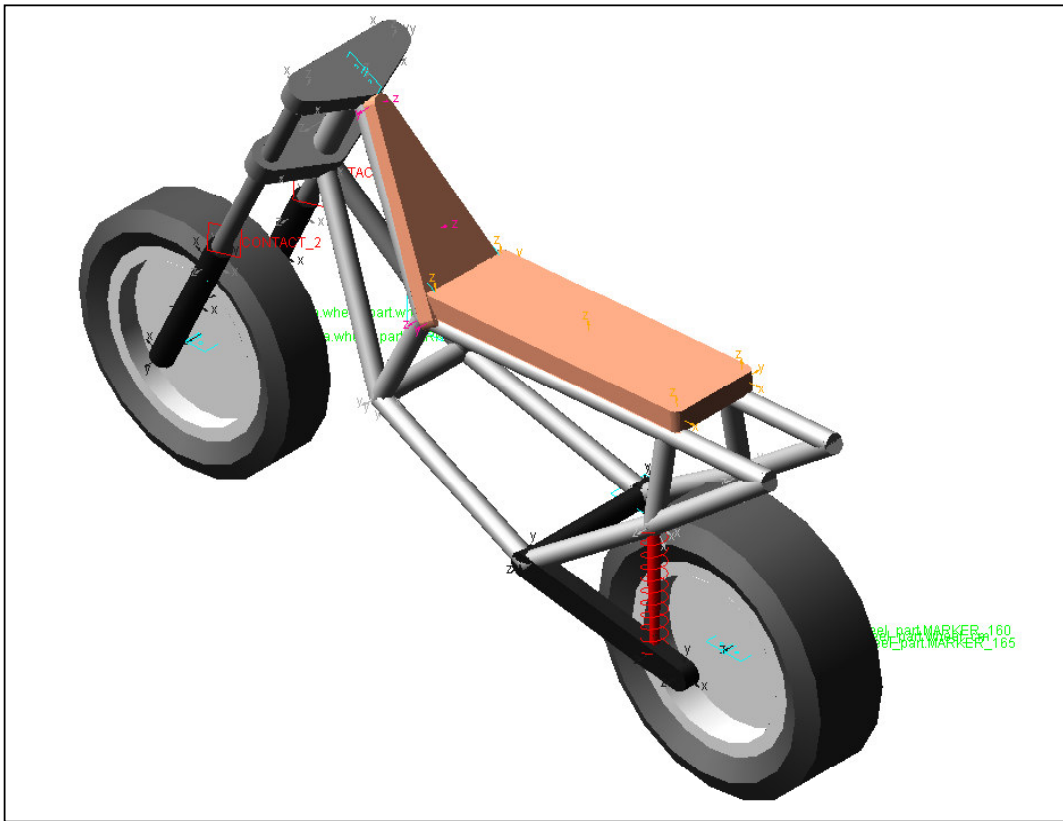


Fig. 63.- Vista general del modelo completo.

5.2.1 CHASIS

La estructura que posee es idéntica al caso anteriormente estudiado, es decir, un chasis multitubular de elementos rectos. Debido a la modificación producida en la distancia entre ejes, el chasis verá modificada su parte delantera, alargándose para poder hacer frente al aumento de longitud de la misma.

En la siguiente figura puede verse unas vistas del nuevo chasis, pudiéndose observar que la parte delantera de dicho chasis es más alargada que en el caso del modelo principal, manteniendo la parte trasera idéntica al modelo anterior.

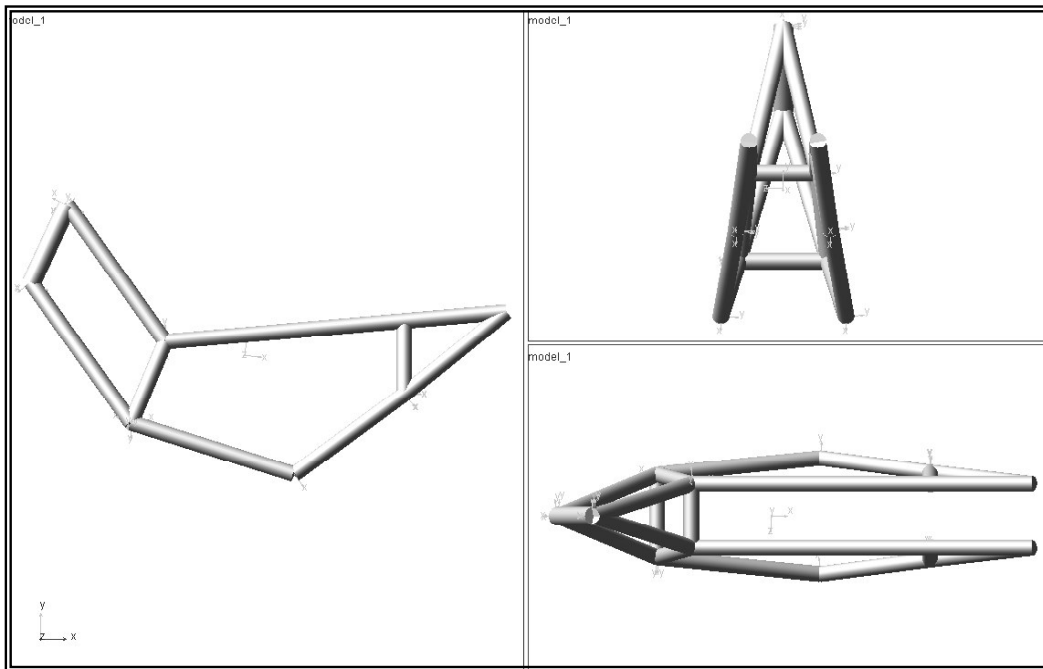


Fig. 64.- Vista del chasis del primer modelo secundario.

Las características principales del chasis son:

- Material: Acero.
- Densidad del material: 7801 Kg/m³.
- Masa: **108.45 Kg.**
- Tensor de inercia de masa:

$$I_{xx} = 4.70E+06 \text{ Kg*mm}^2.$$

$$I_{yy} = 1.95E+07 \text{ Kg*mm}^2.$$

$$I_{zz} = 2.19E+07 \text{ Kg*mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg*mm}^2.$$

- Posición del centro de gravedad: (109.865, 731.052, 0.0), con respecto a la altura a la que se encuentra la carretera.

Las dimensiones de los cilindros que forman parte del chasis son de 2.3 cm de radio todos excepto la pipa de dirección que tendrá un radio de 2.8 cm, al igual que el modelo principal.

5.2.2 TREN DELANTERO

Esta parte del modelo es idéntica a la del modelo principal debido a que el ángulo de lanzamiento no varía y por tanto tendrá las mismas características que el tren delantero del modelo anterior.

5.2.3 CONSTANTES DE LOS AMORTIGUADORES

Los valores de las constantes K de los amortiguadores delantero y trasero se obtendrán de la misma forma obtenida en el caso anterior, únicamente se verá modificado el valor de la masa suspendida, que en este caso se ha visto aumentado debido a la mayor longitud de algunos de los cilindros del chasis. Tanto la repartición de pesos entre los trenes delantero y trasero como las frecuencias naturales que nos servirán de apoyo para el cálculo serán análogas al modelo principal.

- Masa motocicleta: **173.17 Kg.**
- Masa suspendida: **145.29 Kg.**
- Masa en tren delantero (40% peso): **58.12 Kg.**
- Masa en tren trasero (60% peso): **81.17 Kg.**

Con estos valores y la fórmula anteriormente expuesta se obtienen unos valores para las constantes K de:

- Frecuencia natural de 1 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{2.29 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{3.44 \text{ N/ mm.}}$$

- Frecuencia natural de 2 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{9.18 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{13.77 \text{ N/mm.}}$$

Como los amortiguadores no están completamente verticales sino inclinados un cierto ángulo, los valores finales de las constantes de los amortiguadores serán algo menores que los obtenidos en los cálculos. Dichos valores de la K serán:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{8 \text{ N/mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{13 \text{ N/mm.}}$$

Por tanto las constantes de los amortiguadores de este modelo serán las mismas que las del modelo anterior, es decir:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{4 \text{ N/mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{6.5 \text{ N/mm.}}$$

- El resto de los componentes de este modelo de motocicleta son idénticos al modelo principal.

5.3 SEGUNDO MODELO SECUNDARIO

En este tercer modelo, segunda variación del modelo principal, la única modificación que se realizará con respecto al modelo principal será el ángulo de lanzamiento, que en este caso será menor, siendo su valor de 15 grados. Este ángulo de lanzamiento no es común que se dé en las motocicletas comerciales debido a que la pipa de dirección estaría demasiado adelantada, dándole un aspecto algo diferente a lo que usualmente se está acostumbrados a ver en las motocicletas comerciales, pero suelen dar una mayor estabilidad a la hora de circular.

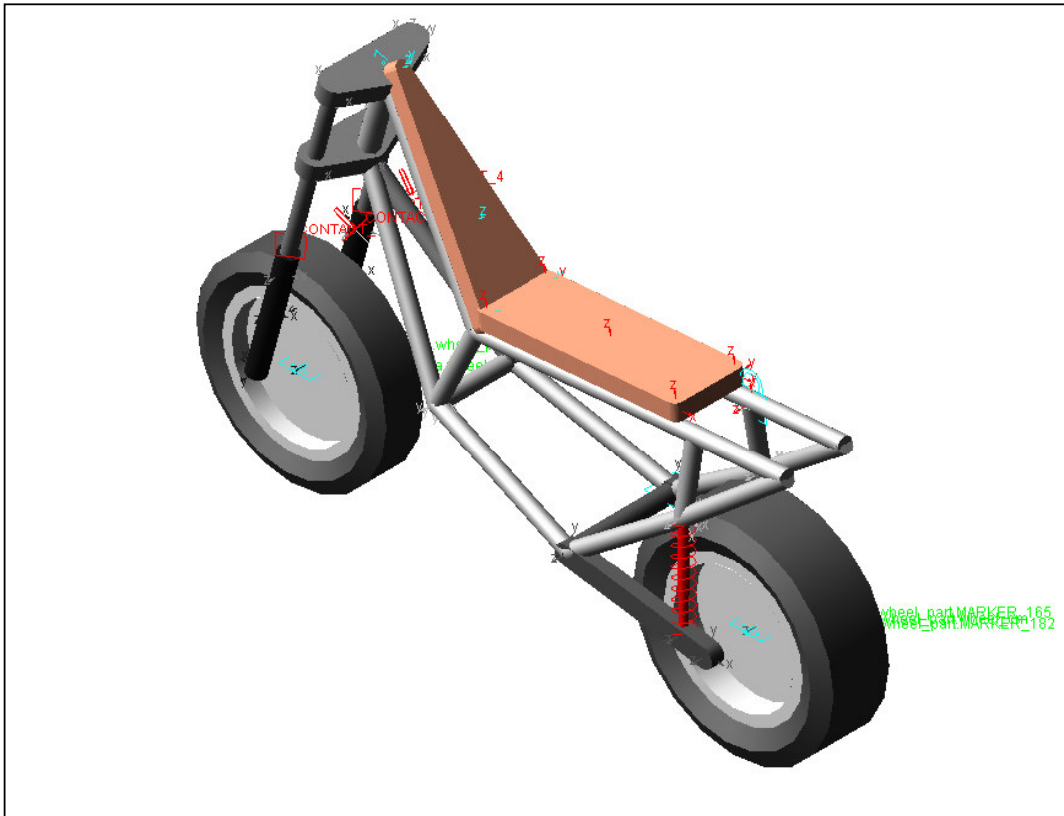


Fig. 65.- Vista general del segundo modelo secundario.

5.3.1 CHASIS

Al variar el ángulo de lanzamiento con respecto al modelo principal, también se verá modificada la parte delantera del chasis para poder hacer frente a dicho cambio en uno de sus parámetros, manteniéndose la parte trasera de manera análoga, como puede verse en la figura 66.

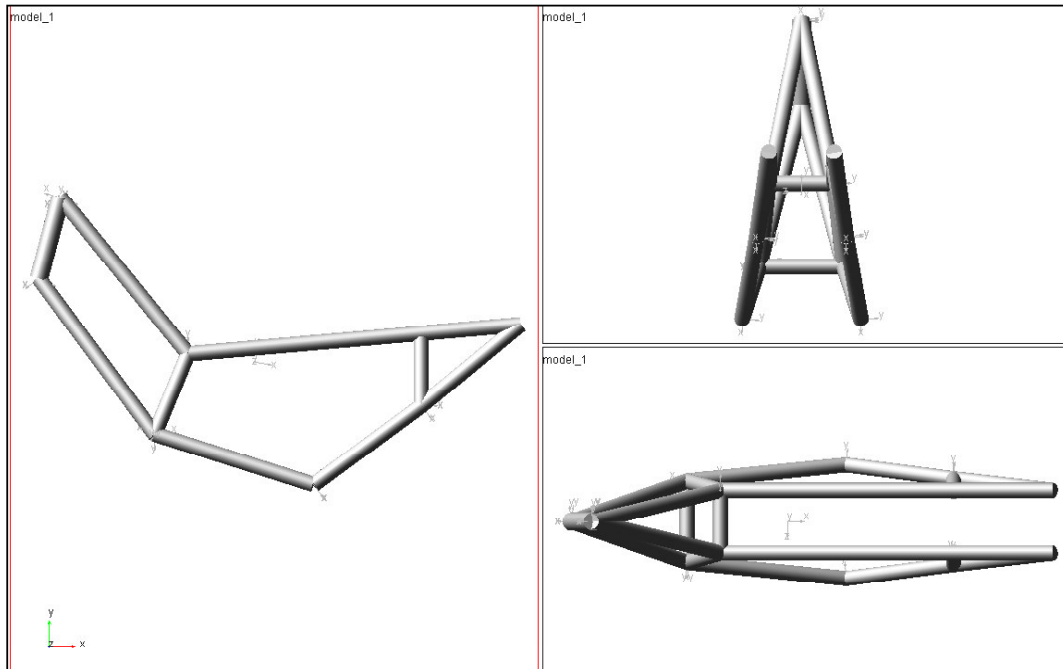


Fig. 66.- Vista del chasis del segundo modelo secundario.

Al verse modificada la estructura del chasis, también cambiarán sus características, que para este caso serán las siguientes:

- Material: Acero.
- Densidad del material: 7801 Kg/m³.
- Masa: **113.25 Kg.**
- Tensor de inercia de masa:

$$I_{xx} = 5.22E+06 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{yy} = 2.21E+07 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{zz} = 2.50E+07 \text{ Kg*mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg*mm}^2.$$

- Posición del centro de gravedad: (78.715, 747.753,0), tomando como origen de coordenadas la carretera.

Las dimensiones de los cilindros que forman parte del chasis tienen las mismas dimensiones que los casos anteriores.

5.3.2 TREN DELANTERO

En esta parte del modelo es donde radica la principal diferencia con el modelo principal debido a que varía el ángulo de inclinación del amortiguador delantero, aunque cabe destacar que las dimensiones de los elementos que forman parte de él no han cambiado respecto al modelo principal, es decir que sólo cambia la inclinación de este. En la figura 67 puede observarse que es similar a los casos anteriores en cuanto a su forma pero no en su inclinación ni en el descentramiento, que en este caso será nulo, situándose el eje de los cilindros inferiores del amortiguador delantero justo a la altura del eje de la rueda (tiene por tanto un decalaje nulo).

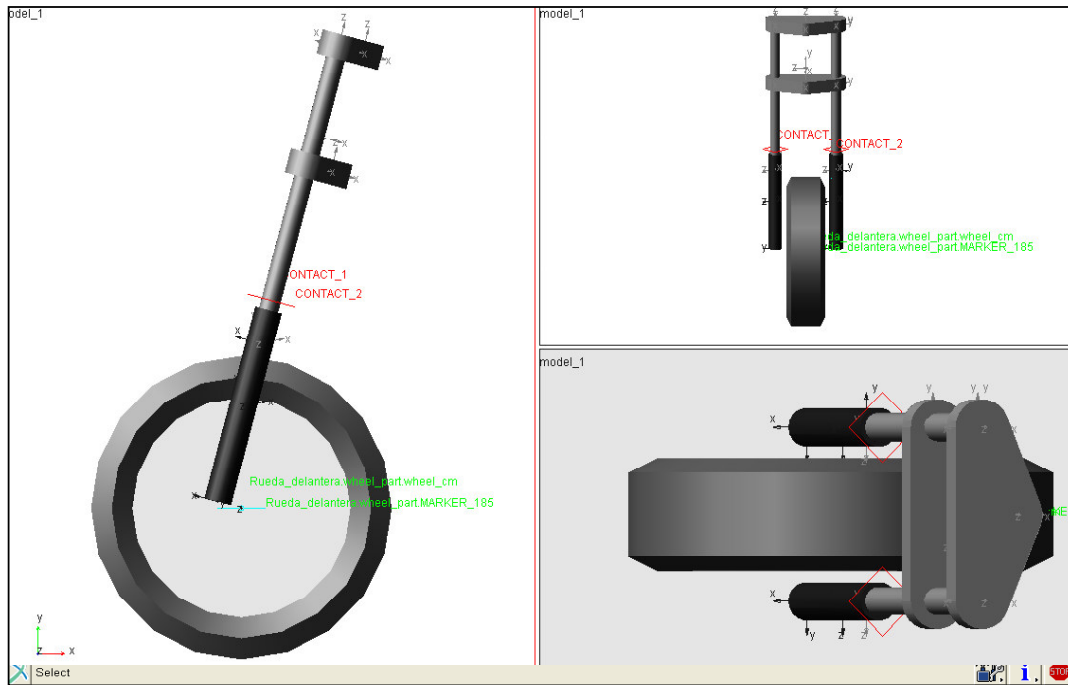


Fig. 67.- Vista del tren delantero del segundo modelo secundario.

Las propiedades principales de este tren delantero son:

- Material: Aluminio.
- Densidad del material: 2740 Kg*m³.
- Masa tren delantero:
 - Parte superior: **13.05 Kg.**
 - Parte inferior: **3.88 Kg.**
- Tensor inercia parte superior tren delantero:
 - $I_{xx} = 5.02E+05 \text{ Kg*mm}^2.$
 - $I_{yy} = 1.39E+05 \text{ Kg*mm}^2.$
 - $I_{zz} = 3.83E+05 \text{ Kg*mm}^2.$
 - $I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg*mm}^2.$
- Tensor inercia parte inferior tren delantero:

$$I_{xx} = 1.07E+05 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{yy} = 6.24E+04 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{zz} = 4.67E+04 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

$$I_{xy} = I_{xz} = I_{yz} = 0 \text{ Kg} \cdot \text{mm}^2.$$

- Posición del centro de gravedad, con respecto a la carretera:

Parte superior: (-414.77, 1019.03, 0.0) en mm.

Parte inferior: (-682.01, 465.80, 0.0) en mm.

5.3.3 CONSTANTES DE LOS AMORTIGUADORES

Las constantes de los amortiguadores se obtendrán, al igual que en los otros dos modelos mediante la fórmula:

$$\text{Frecuencia (rad)} = \sqrt{K/\text{Peso}}, \text{ donde } K \text{ viene en N/m}$$

Aunque las masas con las que se obtendrán las K son diferentes a los anteriores debido a que el chasis tiene una mayor masa que el modelo principal:

- Masa motocicleta: **177.97 Kg.**
- Masa suspendida: **150.09 Kg.**
- Masa en tren delantero (40% peso): **60.04 Kg.**
- Masa en tren trasero (60% peso): **90.05 Kg.**

Con estos valores y la fórmula anteriormente expuesta se obtienen unos valores para las constantes K de:

- Frecuencia natural de 1 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = 2.37 \text{ N/mm.}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = 3.55 \text{ N/mm.}$$

- Frecuencia natural de 2 Hz:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{9.48 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{14.22 \text{ N/ mm.}}$$

Como puede verse, las constantes obtenidas son muy parecidas a las anteriores; esto es debido a que la variación de masa no es demasiada como para que dichas constantes varíen en demasía. Por tanto, y debido a que al estar con un cierto grado de inclinación las constantes son menores, se usarán las mismas constantes, es decir:

$$K_{\text{amortiguador delantero}} = \mathbf{8 \text{ N/ mm.}}$$

$$K_{\text{amortiguador trasero}} = \mathbf{13 \text{ N/ mm.}}$$

Por tanto las constantes de los amortiguadores serán idénticas en todos los modelos. Esto es debido a la poca variación de masa que se produce entre los modelos

- El resto de las partes del modelo, así como los neumáticos, carretera y uniones, se mantienen de forma idéntica al modelo principal.

5.4 PUESTA EN MARCHA DE LOS MODELOS

Para poner en marcha la motocicleta se recurrirá a una fuerza que actuará en el centro de masas de la rueda trasera, para simular de esta manera la aceleración producida por el motor. El motivo de que dicha fuerza actúe en el tren trasero en vez del delantero es debido a que las motocicletas poseen tracción trasera. Esta fuerza actuará solamente durante un tiempo determinado para lograr la velocidad requerida y una vez alcanzada dicha velocidad, la fuerza cesará, de esta manera se simulará la aceleración producida al acelerar.

Para poder mantener la velocidad en la motocicleta bastará con darle una velocidad a las ruedas, que no se corresponde con la velocidad adquirida, esto es debido a la propia inercia del modelo y a que solamente existe rozamiento entre los neumáticos y la carretera, es decir, no existe un rozamiento frontal ni lateral. El inicio del movimiento de la moto será algo irregular (no irá en línea recta) porque al tener solamente dos puntos de apoyo

con la carretera se convierte en un sistema inestable aunque dicho modelo sea simétrico y además no existe ningún piloto que pueda ejercer alguna fuerza que consiga contrarrestar dicha inestabilidad (capsize), este caso es semejante a cuando se coge una bicicleta y se intenta dar una cierta velocidad empujándola pero sin estar montados en ella, se observa como el inicio de la marcha es algo titubeante, yendo de un lado para otro hasta que al final se cae. En este caso ocurre de manera análoga pero debido a que la fuerza motora va creciendo a lo largo del tiempo, el sistema se volverá cada vez más estable con la velocidad, aunque si debido a la inestabilidad del principio del movimiento el modelo no queda completamente vertical y en línea recta, esta imperfección se verá agudizada a lo largo del movimiento.

En el programa Adams, esta fuerza se modelará a través de una fuerza tipo escalón (Step) donde se le proporciona como parámetros el valor del tiempo en los que se quiere que comience a actuar la fuerza y su valor y como segundo parámetro se le dará el valor final de la fuerza y el tiempo en el que se quiere conseguir. Dicho valor final se mantendrá constante hasta el final de la simulación.

En el caso de la aceleración, los valores que se le darán a la fuerza serán, para $t = 0$ el valor inicial de la fuerza, cuya cuantía dependerá de la velocidad que se quiera conseguir, así como el segundo valor del tiempo, para el cual el valor de la fuerza será nulo (debido a que cesará dicha fuerza), es decir, a mayor tiempo que la fuerza actúe, mayor velocidad alcanzará el modelo.

Puede ocurrir que se le dé una fuerza de impulsión demasiado elevada, es decir, una aceleración demasiado grande, y al no existir ningún piloto que pueda controlar la motocicleta esta se vuelve tan inestable que acaba por caerse, por tanto lo que se hace es reducir la fuerza aceleradora para que de esta forma nuestro modelo sea estable.

5.5 PARADA DE LOS MODELOS

La frenada de la motocicleta se hace de manera análoga a como se realiza la aceleración, con la diferencia de que la fuerza a aplicar tiene el sentido contrario a la de la aceleración y que su punto de aplicación es el centro de masas de la rueda delantera.

Esto es debido a que normalmente los pilotos de motocicletas frenan mucho más con el freno delantero que con el trasero debido entre otros motivos a que al frenar con el trasero la moto puede derrapar, volviéndose de esta manera inestable.

La fuerza aplicada para la frenada también es del tipo escalón (Step). En este caso los parámetros que se le da son, primero el tiempo en el que se desea que empiece a actuar la frenada, con un valor nulo para que de esta forma la desaceleración sea progresiva y no se produzca de manera brusca y como segundo parámetro se le introduce el tiempo para el que se quiere que se produzca la máxima fuerza de frenada. En función del tiempo transcurrido entre el inicio de la fuerza y su valor final, se podrá saber la cuantía de la desaceleración de una manera aproximada porque no siempre cuando se alcanza el máximo valor de la fuerza el modelo se encuentra parado.

Para que una vez frenada la motocicleta por completo, ésta no empiece a andar marcha atrás, se le pondrá un sensor en la rueda delantera en función de la velocidad. Este sensor actúa de tal manera que cuando la rueda delantera alcance un valor negativo de velocidad, que es prefijado, la simulación finalizará debido a que se supondrá que la moto se ha detenido. A veces, en la rueda delantera ocurre algún desequilibrio provocando que su velocidad disminuya de forma inmediata y debido a este motivo la simulación finaliza porque el sensor detecta que la velocidad de la rueda delantera ha alcanzado el valor prefijado.

Al igual que ocurre en el caso de la aceleración, cuando la fuerza de frenada es demasiado fuerte la moto también se puede convertir en inestable. Otro factor que influye en la inestabilidad del modelo a la hora de frenar es que al actuar la fuerza en la dirección del eje X, ésta no lo hace a lo largo de la