

## ESTUDIOS PRELIMINARES PARA LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SISTEMA MOTO-CONDUCTOR

José E. Stuardi <sup>1</sup>, Guillermo D. Chiappero <sup>2</sup> y Alejandro J. Giudici <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Estructuras – Universidad Nacional de Córdoba  
Vélez Sársfield 1611, X5016GCA Córdoba, Argentina,  
jose.stuardi@unc.edu.ar,

<sup>2</sup> Departamento de Estructuras – Universidad Nacional de Córdoba,  
guillermo.chiappero@unc.edu.ar

<sup>3</sup> Departamento de Estructuras – Universidad Nacional de Córdoba, ajjudici@unc.edu.ar

### RESUMEN

Se describen los trabajos previos realizados para la definición de modelos computacionales aptos para el estudio del comportamiento dinámico de una motocicleta en condiciones de funcionamiento, esto es, incluyendo la presencia del conductor. El esfuerzo se enmarca dentro de un proyecto tendiente a definir condiciones y ensayos para la homologación de chasis de motocicletas CUB 110 fabricadas en el país. El chasis constituye una pieza clave para la seguridad, constatada por la ocurrencia de algunas fallas por fatiga, por lo que se propende a mejorar la confiabilidad de partes de fabricación nacional, para así sobrellevar la destacable ausencia de normas internacionales y especificaciones de los productos importados. En el presente trabajo se analizan los distintos subsistemas del conjunto, provistos de propiedades dinámicas bien diferenciadas tales como chasis, sistema de suspensión, conjunto de masas adicionales y subsistema conductor-asiento. Se reconocen necesidades de modelación y ajuste variados, estos últimos logrados mediante ensayos de laboratorio de las partes involucradas. Se realizan además ensayos estáticos y dinámicos para el ajuste de los parámetros inerciales de la moto y el conductor, además de ensayos cíclicos del sistema de suspensión para la definición de los parámetros apropiados. El resultado se materializa en un modelo de elementos finitos del sistema completo, que es utilizado en trabajos posteriores como base para estudios dinámicos y cálculo de esfuerzos en puntos de control del chasis para distintas condiciones de circulación. Para esto son necesarios algunos esfuerzos adicionales de reducción de orden y subestructuración para facilitar el desempeño computacional.

**Palabras clave:** Simulación computacional, Respuesta dinámica, Moto Conductor

## 1 INTRODUCCIÓN

El chasis de la motocicleta constituye una pieza clave en la seguridad, constatada además por la ocurrencia de algunas fallas por fatiga en puntos críticos de piezas de fabricación nacional. Los estudios de investigación del presente trabajo se enmarcan en un proyecto que persigue como objetivo obtener documentos técnicos específicos sobre la seguridad funcional de los chasis de motocicleta, los que deberán tenerse presente para su diseño y construcción. Se pretende establecer requisitos de homologación que afecten al control de producción y testeo de las piezas. Basándose en esta información, y mediante la simulación computacional, es posible el diseño y verificación de distintos componentes, incluyendo el chasis soldado. Una última etapa en este desarrollo, constituye la definición de ensayos dinámicos de laboratorio para control y homologación de los productos [1, 2]. La ausencia de normativas internacionales al respecto, hace necesaria una activa sinergia entre las empresas y los organismos técnicos y administrativos encargados de velar por la seguridad.

La metodología empleada en el presente trabajo se basa en la modelación computacional del sistema moto-conductor, para la simulación de su comportamiento y respuesta dinámica. El análisis muestra subsistemas de muy variadas características, que deben ser tenidas en cuenta mediante la adopción de modelos y parámetros provenientes de distintas fuentes, entre las que se destaca la evaluación experimental en laboratorio. Si bien en el chasis se hace necesaria una malla detallada de Elementos Finitos (EF) para cálculos tensionales [3], la respuesta dinámica puede ser calculada convenientemente mediante un modelo condensado a partir del original.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo específico del trabajo es la definición de un modelo computacional de EF de un sistema compuesto por la motocicleta en condiciones de rodaje, esto es considerando la presencia del conductor. El modelo debe ser fiable para estudios del comportamiento dinámico y contribuir al diseño estructural del chasis. El modelo biomecánico resulta de la composición de partes de distinta naturaleza y propiedades bien diferenciadas. Por esta razón, resulta en este caso un especial desafío el objetivo de lograr la correspondencia entre su comportamiento y el del vehículo real. Se requiere una buena predicción de los parámetros para lo que se efectúan una serie de ensayos experimentales para determinar las propiedades dinámicas del sistema. Especialmente importante para la respuesta dinámica se muestra el estudio de los mecanismos de disipación en la suspensión, que resultan marcadamente no lineales y la definición de un modelo simplificado y lineal para acelerar el cálculo de la respuesta. Como objetivos más generales, el trabajo pretende contribuir al diseño de chasis de motocicletas basados en premisas de seguridad, viabilidad y costo, como así también a establecer las especificaciones que deben cumplir los chasis y los medios de control de su calidad.

### 3 CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL DEL SISTEMA MOTO-CONDUCTOR

Desde el punto de vista estructural, la motocicleta en condiciones de marcha puede ser descompuesto en distintos subsistemas, a saber: a) El **Chasis** es una subestructura de relativamente poca masa (9.9 kg) y gran rigidez con una primera frecuencia propia libre-libre en 95,1 Hz con un modo flexional en el plano longitudinal (estimación basada en el modelo de E.F.); b) El **Sistema de suspensión** compuesto por resortes y amortiguadores junto con los sistemas de acople y sujeción y se caracteriza por una relativa baja rigidez y alto amortiguamiento; c) **Masas adicionales:** son masas vinculadas al chasis, que no aportan rigidez significativa, tal como motor, tanque, batería, asiento, etc. Con estos aportes, la primera frecuencia propia flexional libre-libre en el plano longitudinal del chasis con los componentes citados resulta cercana a 50 Hz (estimación basada en el modelo de E.F.); d) **Conductor-Asiento**, que provee una masa mayor que la masa suspendida propia de la moto. La hipótesis de sistema inerte utilizada es apropiada para casos donde la interacción vehículo-conductor es baja [4], y el modelo del conductor y del asiento resultan sistemas de baja frecuencia propia cercanas a las frecuencias del sistema de suspensión.

#### 3.1 Chasis metálico

El marco metálico está constituido por un tramo de caño apenas curvo (tramo 1), que une a la horquilla por delante con la zona central de pedales, ver Fig. 1. Desde la zona media de este tramo se abren dos caños curvos hacia los laterales y hacia arriba (tramo 2), los que llegan hasta la zona de anclaje de la suspensión trasera. Finalmente, una construcción en chapa estampada solidariza el punto bajo del tramo 1 con la zona media del tramo 2, generando de esta forma un marco cerrado y proveyendo rigidez estructural. Esta construcción tiene además la función de alojar adecuadamente al propulsor de la moto.

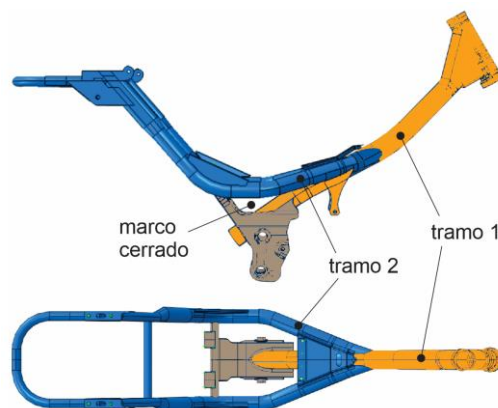


Fig. 1: Concepción del chasis de la motocicleta

Se relevaron las dimensiones del tubo, tales como diámetro externo  $D = 49,6$  mm y espesor  $e = 3,2$  mm. De acuerdo con ensayos realizados de espectrometría de emisión óptica según norma ASTM E 415-2014, el material del chasis de la moto ensayada era acero SAE 1118.

### 3.2 Sistema de suspensiones

El sistema de suspensión delantero está compuesto una horquilla telescópica que aloja dos conjuntos resorte-amortiguador de cada lado de la rueda delantera. El sistema de suspensión trasero es de brazo basculante y se compone de una parrilla horizontal que pivota en la zona de pedalines mediante un buje y sujeta por detrás a la rueda. Este punto sirve además de anclaje inferior para un conjunto resorte-amortiguador de cada lado de la rueda, el que por otro lado presenta un anclaje en el tramo 2. Los sistemas de suspensiones fueron modelados por conjuntos resorte-amortiguador respetando las condiciones de restricciones cinemáticas que el marco les impone. Se pretende utilizar hipótesis de comportamiento lineal y amortiguamiento viscoso para ganar simplicidad de los modelos.

### 3.3 Conductor

La interacción vehículo-conductor puede despreciarse siempre que la masa del conductor y las fuerzas que genera sean pequeñas en relación a las presentes en el vehículo. Como este no es el caso en una motocicleta, se implementó un modelo de cuerpo humano sentado erecto y sin respaldo según la norma ISO 5982:2001, constituido por un sistema de 3 grados de libertad, ver Fig. 2. El sistema provee una masa aparente en el nodo de la masa  $m_0$  que corresponde con la respuesta aproximada de un cuerpo humano sentado sobre una mesa vibratoria. En este modelo, si bien las masas y rigideces no se corresponden en forma directa con las estructuras fisiológicas del cuerpo humano, puede considerarse que la masa  $m_2$  se corresponde con la cabeza. En base a un peso total de 75 kg, y considerando que el 73% de la masa descansa sobre el asiento, las distribuciones de masas, rigideces y amortiguamientos resultan como se muestra en la figura. De las funciones de masa aparente que provee la norma puede apreciarse que el cuerpo humano en las condiciones de operación de una motocicleta (sentado) resulta básicamente un sistema con una frecuencia propia algo menor a 4 Hz provisto de un amortiguamiento considerable, por lo que sus efectos sobre las frecuencias pendulares de la motocicleta deben ser tenidos en cuenta.

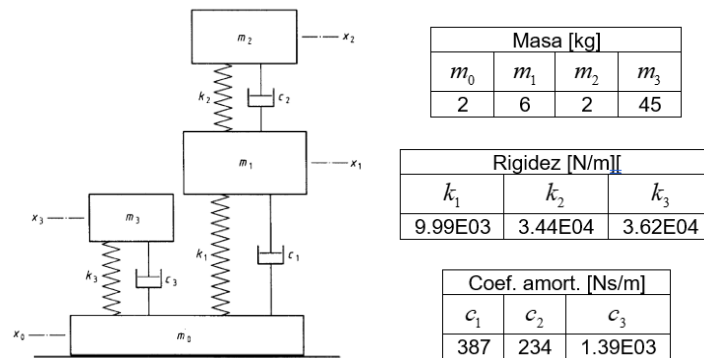


Fig. 2: Modelo vertical del conductor utilizado (extraído de norma ISO 5982)

### 3.4 Asiento

El asiento constituye el vínculo entre el modelo del conductor y el de la moto y se modela en forma simplificada como un sistema resorte-amortiguador, donde la masa propia se desprecia de acuerdo con Fairley et al. [5] y Griffin [6]. Un grupo de nodos en el asiento de la moto que se corresponden con la posición de la cadera del conductor y cuyos GL han sido previamente restringidos entre si se vinculan solidariamente con la masa  $m_0$ . De acuerdo con Patten [7], quien investigó las funciones de transferencia experimentales de asientos de conductor de automóviles compuestos por espuma de poliuretano y mediante el uso de una masa puntual, un modelo representativo fiel resulta no lineal en las aceleraciones debido a las características constitutivas del material expresadas por la rigidez y amortiguamiento. En general, se observa que los picos de las funciones de transferencia y la frecuencia de resonancia disminuyen con el aumento de las aceleraciones. A efectos del presente trabajo, es suficiente la consideración de un sistema lineal que genere con la masa del conductor supuesta puntual una frecuencia de aprox. 6 Hz con un amortiguamiento de un 35% respecto del crítico. Estos parámetros fueron estimados a partir de las funciones de transferencia disponibles, ver ejemplo en la Fig. 3, para asientos de diferente calidad y teniendo en cuenta el peso del conductor considerado.

### 3.5 Masas adicionales no estructurales

En una tabla se resumieron las masas del modelo del chasis y luego las masas adicionales que forman parte del sistema no estructural de la motocicleta. Estas masas han sido agregadas al modelo mediante la discretización de las partes o bien mediante la inclusión de masas puntuales. El posicionamiento de las partes fue realizado en el plano longitudinal de acuerdo con un relevamiento fotográfico. Las masas han sido clasificadas de acuerdo con su carácter en suspendidas y no suspendidas. En algunos casos es necesario una discriminación porcentual, ya que hay elementos que comparten la característica de ser masas suspendidas y no suspendidas. Esta tarea resultó dificultosa, por lo que se debieron realizar aproximaciones.

Téngase en cuenta que, el modelo de masas suspendidas de la motocicleta tuvo un peso total de 58.4 kg y el error de las aproximaciones en las asignaciones de masa puede ser significativo.

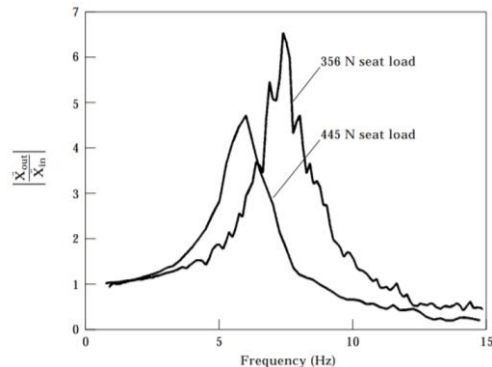


Fig. 3: Funciones de transferencia para un asiento de un automóvil para 356 N y 445 N de peso puntual sentado (extraído de [7]).

#### 4 ESTUDIOS Y ENSAYOS PRELIMINARES SOBRE EL CHASIS Y LA MOTOCICLETA

Se desarrollaron distintos ensayos sobre el marco desnudo y sobre la moto completa, con el fin de conocer el comportamiento de los distintos componentes, dentro de los que se destacan ensayos para la determinación de los parámetros inerciales de la moto, del conductor, ensayo de la motocicleta con cargas cíclicas en forma estática y progresiva y ensayos de componentes de suspensión. La masa, posición del centro de gravedad y masa rotacional de la moto fue medida mediante el pesado en la ruedas delantera y trasera en posición horizontal e inclinada [8], y midiendo la frecuencia pendular de la moto colgada. Mediante un modelo biomecánico se calculó el CG del conductor, basándose en la posición del cuerpo del conductor y la participación de las distintas partes en las que se divide el cuerpo humano en el peso total según Foale [9]. Para esto se consideró la posición de conducción como sentada erguida y con las manos en el manubrio.

La rigidez de las suspensiones fue calculada mediante relevamiento de las dimensiones de los resortes helicoidales y fueron posteriormente contrastados mediante el ensayo en laboratorio de la curva de carga de los resortes ensayados en forma individual. La rigidez resulta bilineal por bloqueo de las espiras en uno de los tramos que lo constituyen. En la Fig. 4 se muestran a modo de ejemplo las curvas de carga relevadas de los resortes que forman la suspensión delantera y trasera.

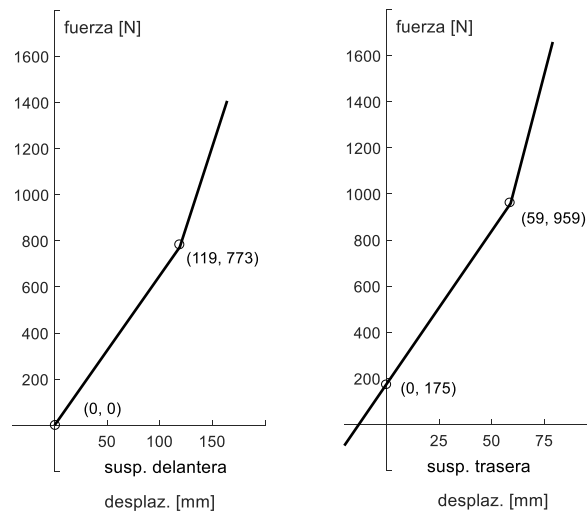


Fig. 4: Curvas de carga de los resortes de las suspensiones delantera (izq.) y trasera (der.).

#### 4.1 Determinación del amortiguamiento de los sistemas de suspensión

Se realizaron ensayos dinámicos cíclicos en una barra de horquilla delantera y en un amortiguador trasero para la determinación del modelo de amortiguamiento adecuado y los parámetros que la describen.

El amortiguador delantero se encuentra construido dentro de la horquilla, la cual está conformada por un conjunto de dos barras a ambos laterales de la moto y formada cada una por dos tubos cilíndricos que deslizan con fricción entre sí. Un barral fue ensayado fijado por un extremo a un punto fijo, mientras que el otro punto fue sometido a un movimiento armónico de amplitud y frecuencia controlada. Los ensayos se realizaron para amplitudes  $x_0$  de 1.905, 4.27, 8.875 mm y para frecuencias  $f$  de 1.04, 2.33, 3.12, 3.94, 5.84, 7.88 Hz con lo que se obtuvieron 18 mediciones de velocidades entre 12.47 y 439.4 mm/s. La instrumentación consistió en una celda de carga y un acelerómetro, con lo cual se obtuvieron histogramas de fuerza y velocidad en forma cíclica, no mostrados aquí por razones de espacio. Los ensayos muestran en resumen un comportamiento friccional para velocidades bajas, mientras que a velocidades más elevadas se hace presente el amortiguamiento viscoso, pero solo en extensión. Basándose en el concepto de amortiguamiento viscoso equivalente, se pueden calcular los coeficientes de amortiguamiento en función de la velocidad igualando las energías disipadas por ciclo  $E_d$  con la energía disipada por ciclo en un modelo viscoso, de acuerdo con  $c_{eq} = E_d / (\pi \omega x_0)$  obteniéndose los gráficos de la Fig. 5, que en este caso corresponden a los amortiguadores delanteros.

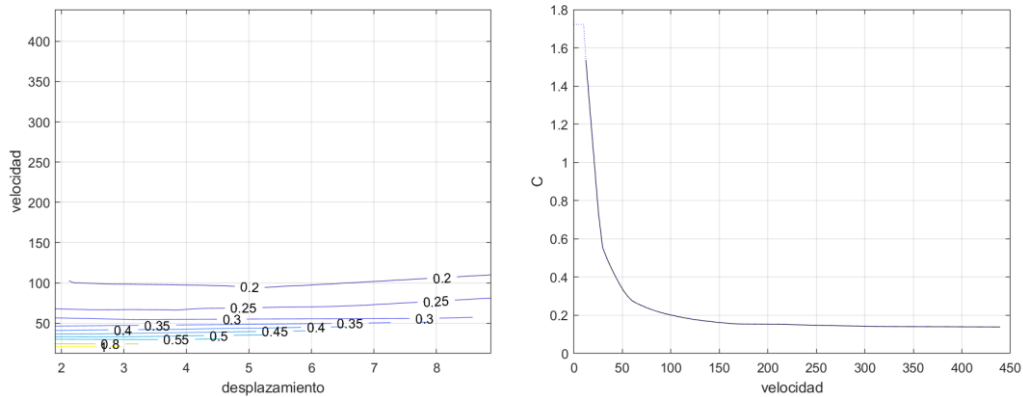


Fig. 5: Fuerza registrada en los ensayos de amortiguadores delanteros

El gráfico izquierdo, velocidad vs. desplazamiento, presenta las líneas de nivel que representan al amortiguamiento equivalente expresado en Ns/mm. Las líneas se presentan como aproximadamente rectas y casi horizontales, mostrando la escasa influencia del desplazamiento máximo  $x_0$  en la determinación del amortiguamiento equivalente. Por esta razón se puede obtener el gráfico derecho, donde se muestra el coeficiente de amortiguamiento  $c$  [Ns/m] equivalente en función de la velocidad  $v$  [mm/s].

El amortiguador trasero forma parte del conjunto resorte-amortiguador de la suspensión, alojando el resorte por fuera y proporcionando los ojales de sujeción. Es un amortiguador de doble efecto, que fue ensayado fijado por un extremo a un punto fijo, mientras que el otro punto fue sometido a un movimiento armónico de amplitud y frecuencia controlada. Los ensayos se realizaron para aproximadamente las mismas amplitudes y frecuencias de ensayo anteriores, con lo que se obtuvieron 18 mediciones de velocidades entre 12.47 y 439.4 mm/s. De los ensayos se obtuvieron los coeficientes de amortiguamiento viscosos equivalentes, obteniéndose los gráficos de la Fig. 6

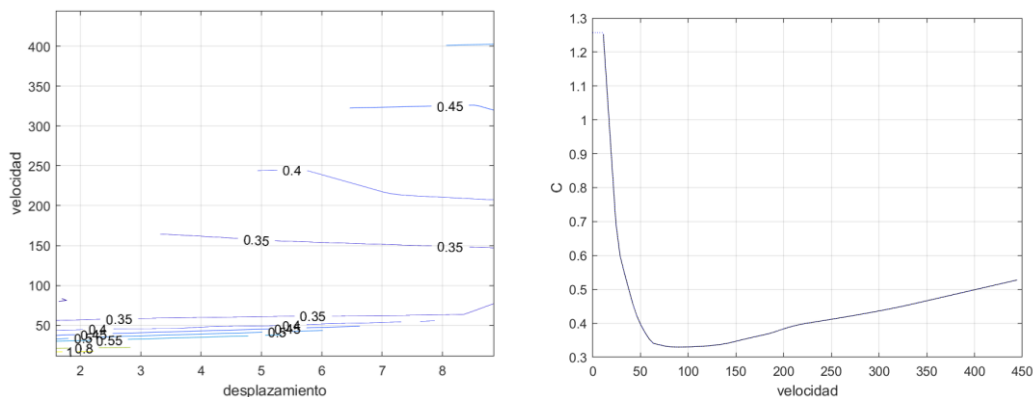


Fig. 6: Fuerza registrada en los ensayos de amortiguadores traseros



El gráfico izquierdo presenta las líneas de nivel que representan al amortiguamiento equivalente expresado en  $Ns/mm$ , donde se observa escasa influencia del desplazamiento en el amortiguamiento equivalente. Asumiendo una independencia del amortiguamiento con el desplazamiento, se obtiene el gráfico derecho, donde se muestra el coeficiente de amortiguamiento equivalente viscoso en función de la velocidad. Los valores de coeficiente de amortiguamiento para velocidades bajas son levemente superiores a de la suspensión delantera, mientras que el amortiguamiento crece linealmente con la velocidad y sus valores son más del doble del de la suspensión delantera.

## 5 PROCEDIMIENTO DE MODELACIÓN

El marco fue modelado mediante elementos cuadriláteros de cáscara con 4 nodos e integración reducida. Para la modelación del chasis tubular se utilizaron 43929 elementos cuadriláteros y 1076 elementos triangulares, ambos lineales. Las uniones soldadas no fueron modeladas y desde este punto de vista el modelo representa una construcción similar a una fundida, esto debido a que el análisis de la soldadura no constituye un objetivo del trabajo. En la Fig. 7 se muestra el modelo terminado del sistema moto-conductor, donde se distingue el chasis, motor, asiento, parrilla de suspensión, manubrio, etc. Se utilizaron una cantidad menor (en relación al chasis) de elementos tetrahédricos cuadráticos y hexahédricos lineales para modelar los elementos auxiliares con volumen, tales como motor y asiento. La parrilla trasera de suspensión se modeló con elementos de viga lineales con propiedad másica y fue vinculada mediante conectores para permitir su rotación en el chasis. En forma análoga se consideró el manubrio. Un conector del tipo deslizador fue utilizado para completar la modelación del resorte y amortiguador delanteros y lograr la restricción de los movimientos fuera de la línea de acción de los dispositivos. Otras restricciones fueron utilizadas en el asiento del conductor, para vincular el modelo humano al asiento, se utilizó un *constraint* para solidarizar un conjunto de puntos del asiento en concordancia con la zona de contacto del conductor con el nodo de la masa  $m_0$  (ver Fig. 2). El conjunto de masas adicionales fue considerado en la forma de masas puntuales agregadas, ya que las inercias rotacionales propias son en principio de valor poco significativo. Finalmente se observa en Fig. 7 el acoplamiento del sistema de masas y resortes del conductor.

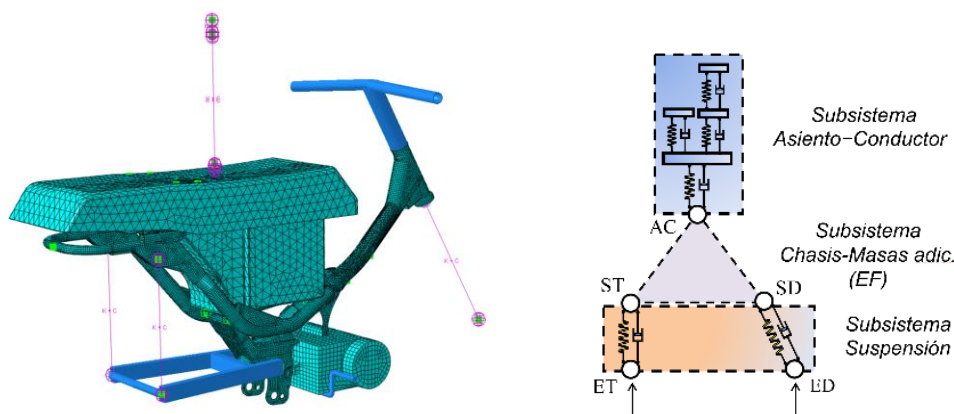


Fig. 7: Modelo de EF del sistema moto-conductor y esquema de modelo simplificado

### 5.1 Modelo simplificado

Se construyó un modelo simplificado que contiene un número de GLD reducido utilizando el método de síntesis de componentes modales (CMS method ó Craig Bampton method, [10] [11]).

El modelo original computacional de EF es particionado en una subestructura que comprende: i) *chasis y las masas adicionales* del modelo de masas suspendidas, ii) la subestructura *asiento-conductor* y iii) la subestructura del *sistema de suspensión*, ver Fig. 7 (der.). Las matrices de rigidez y masa de la subestructura chasis y masas adicionales son obtenidas como salida del programa de EF en formato de tabla en los grados de libertad retenidos. Contando con las matrices de la subestructura del chasis y masas adicionales, el sistema completo de la moto es regenerado en un código en ambiente Matlab programado a tal fin y adicionando las subestructuras del sistema de suspensión y del humano. Los grados de libertad *retenidos* en el proceso de subestructuración son 3 GLD de pórtico plano para cada uno de los 3 nodos que definen el marco: la suspensión delantera (SD), suspensión trasera (ST) y asiento del conductor (AC). Adicionalmente se retiene un GL adicional para conservar un modo flexional, que representa la flexibilidad del chasis y completa la cantidad de 10 GLD de las matrices del subsistema chasis y masas adicionales.

#### 5.1.1 Verificación del modelo simplificado MR vs. modelo de EF

Se comparan en la Tabla 1 las frecuencias propias del sistema obtenidas mediante el programa de EF y la solución al problema de valores propios utilizando las matrices de rigidez y masa ensambladas del modelo simplificado (MR). Los errores en las frecuencias entre ambos modelos son en todos los modos menores al 5%.

Tabla 1: Frecuencias propias de los modelos de EF y MR

Modo	EF (Hz)	MR (Hz)	Descripción
1	3.10	3.11	vertical
2	5.25	5.32	pendular polo cercano al eje trasero
3	5.57	6.02	pendular acoplado con conductor
4	9.61	9.99	pendular acoplado con conductor
5	24.31	24.33	pendular polo cercano al eje del. y acoplado c/ conductor

## 6 CONCLUSIONES

Se construyó un modelo computacional de una motocicleta CUB de 110 cm<sup>3</sup> en condiciones de marcha considerando la presencia de un conductor. El objetivo final de este modelo es realizar estudios asociados a la vida útil del chasis, para lo cual se pretende obtener una descripción abarcativa de las cargas y del estado tensional del chasis generadas por el rodaje en distintas condiciones de terreno y velocidad. Se describen y analizan los diferentes subsistemas con propiedades dinámicas bien diferenciadas en cuanto a proporciones de rigidez, masa y amortiguamiento. Se muestra la conveniencia en la adopción de diferentes modelos para las subestructuras, su origen y distinta necesidad de detalle en la modelación. La consecución de los propósitos generó un análisis en varios aspectos, de los que se concluye que:

- A pesar de la obtención de parámetros por medio de ensayos experimentales, surge la necesidad de ajustes en la determinación de la magnitud y distribución másica de variados componentes del motovehículo, junto con la necesidad de linealización de componentes. Específicamente, se trata de los resortes de suspensión por presencia de bi-linealidad y de los amortiguadores de doble efecto con magnitudes diferentes en tracción y compresión. Adicionalmente presencia de fricción seca en las suspensiones, *stick-slip* y *stiction* (pegado). El tratamiento de estos componentes, junto con la calibración del modelo es motivo de una continuación de este trabajo [12].
- El modelo asiento-conductor posee una importante influencia en la respuesta dinámica por poseer una masa similar al total del vehículo y frecuencias en el rango de frecuencias de la suspensión.
- El problema tensional se puede abordar mediante un proceso de dos etapas, utilizando cálculos previos de la respuesta dinámica en modelos más simples, y utilizando estos resultados para el cálculo de tensiones en modelos en detalle de EF.

## 7 REFERENCIAS

[1] Petrone N., Saraceni M., Cecchetto M., Pegoraro D., *Sviluppo di un banco prova per l'analisi strutturale ed a fatica di telai motociclistici*, XXX° Convegno Nazionale AIAS, Alghero, 407-416, 2001.

- [2] Petrone N., Susmel L., *Biaxial Testing and Analysis of Bicycle-Welded Components for the Definition of a Safety Standard*, Fatigue and Fracture of Engineering Material and Structures, 26, 491-505, 2003.
- [3] Cossalter V., Dorian A., Massaro M., Taraborrelli L., *Experimental and numerical investigation on the motorcycle front frame flexibility and its effect on stability*, Mechanical Systems and Signal Processing, 60-61, 452-471, 2015.
- [4] Kepler V., *Analysis of the Biomechanical Interaction between Rider and Motorcycle by Means of an Active Rider Model*, Bicycle and Motorcycle Dynamics Symposium on the Dynamics and Control of Single Track Vehicles, Delft, The Netherlands, 2010.
- [5] Griffin M. J., *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, ISBN 0-12-303040-4, 1990.
- [6] Fairley, T., Griffin M., *A test method for the prediction of seat transmissibility*, Society of Automotive Engineers International Congress and Exposition, Detroit, 24-28, SAE Paper 860047, 1986.
- [7] Patten W., Sha S., Mo C., *A Vibrational Model of Open Celled Polyurethane Foam Automotive Seat Cushions*, Journal of Sound and Vibration, Volume 217, Issue 1, 145-161, ISSN 0022-460X, 1998.
- [8] Cossalter V., *Motorcycle Dynamics*, Second Edition, ISBN: 9781430308614, 2006.
- [9] Foale T., *Motorcycle Handling and Chassis Design, the art and science*, Second edition, ISBN 84-933286-3-4, 2012.
- [10] Craig R., Kurdila A., *Fundamentals of Structural Dynamics*, Second Edition, Wiley & Sons. Inc., ISBN 978-0-471-43044-5, 2006.
- [11] Wijker J., *Mechanical Vibrations in Spacecraft Design*, ISBN 978-3-642-07354-0, Springer Verlag, 2004.
- [12] Stuardi J., Chiappero G., Giudici A., *Estrategias de simulación computacional de motocicleta para análisis estructural*, VIII Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica y III Congreso Argentino de Ingeniería Ferroviaria, CAIM 2023, Santa Fe, setiembre 2023.