

# Validación experimental de un modelo multicuerpo de un prototipo de vehículo automatizado



Emilio Sanjurjo Maroño

Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Navales e Industriales

Ferrol, 21 de junio de 2012

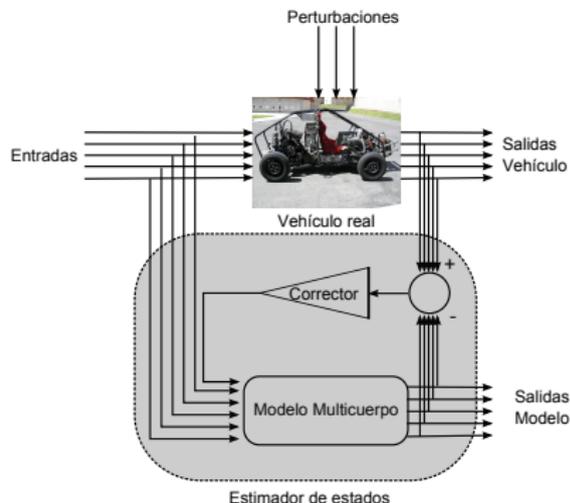
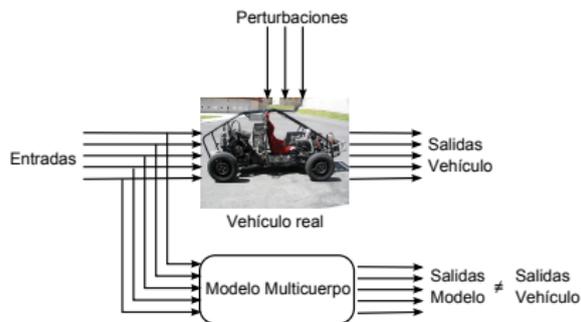


- 1 Introducción
- 2 El prototipo
- 3 Modelo multicuerpo
- 4 Entorno de la simulación
- 5 Resultados



## • Simulaciones de dinámica multicuerpo en el ámbito de la automoción

- ▶ Aplicaciones en las que no se exige tiempo real
  - ▶ Análisis de comportamiento
  - ▶ Ensayos de impacto
- ▶ Aplicaciones de tiempo real
  - ▶ Human in the loop → simuladores de conducción
  - ▶ Hardware in the loop → evaluación de componentes
  - ▶ Controladores a bordo → Observadores o estimadores de estados





“Una simulación es válida si, en un determinado rango de operación del sistema físico en estudio, y ante las mismas entradas, los resultados obtenidos mediante la simulación se corresponden con los que produce el sistema real dentro de un determinado rango de precisión.”

W.R. Garrot

- Metodología de validación

- ▶ Basada en la desarrollada para validar los modelos del NADS
- ▶ Cuenta principalmente con tres fases
  1. Grabación de parámetros experimentales. Implica repetir varias veces la misma maniobra para determinar la incertidumbre experimental → Vehículo automatizado
  2. Identificación de parámetros del vehículo (geometría, masas, inercias, etc)
  3. Comparación de resultados
- ▶ Los pasos 2 y 3 son iterativos
- ▶ No se deben utilizar los resultados obtenidos con la simulación para ajustar los parámetros del modelo

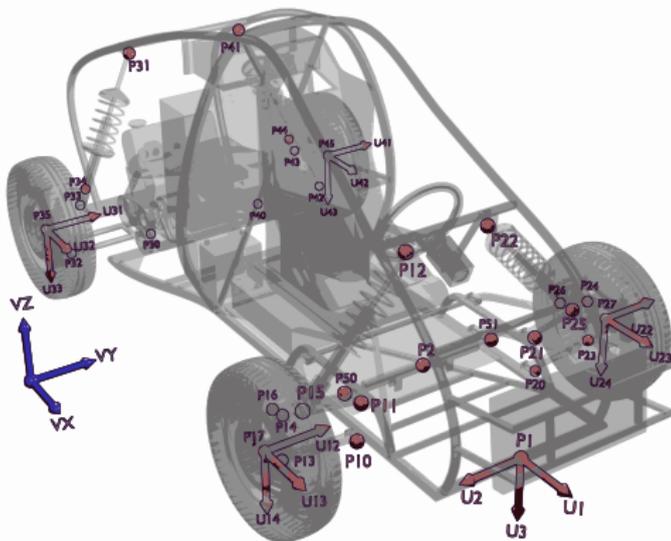
- Esta metodología se ha empleado en este trabajo a dos maniobras a baja velocidad, una en línea recta y otra con un giro de 90° aproximadamente



Este trabajo se ha realizado sobre un vehículo de fabricación propia, lo que facilita la determinación de parámetros del mismo. Sus principales características son:

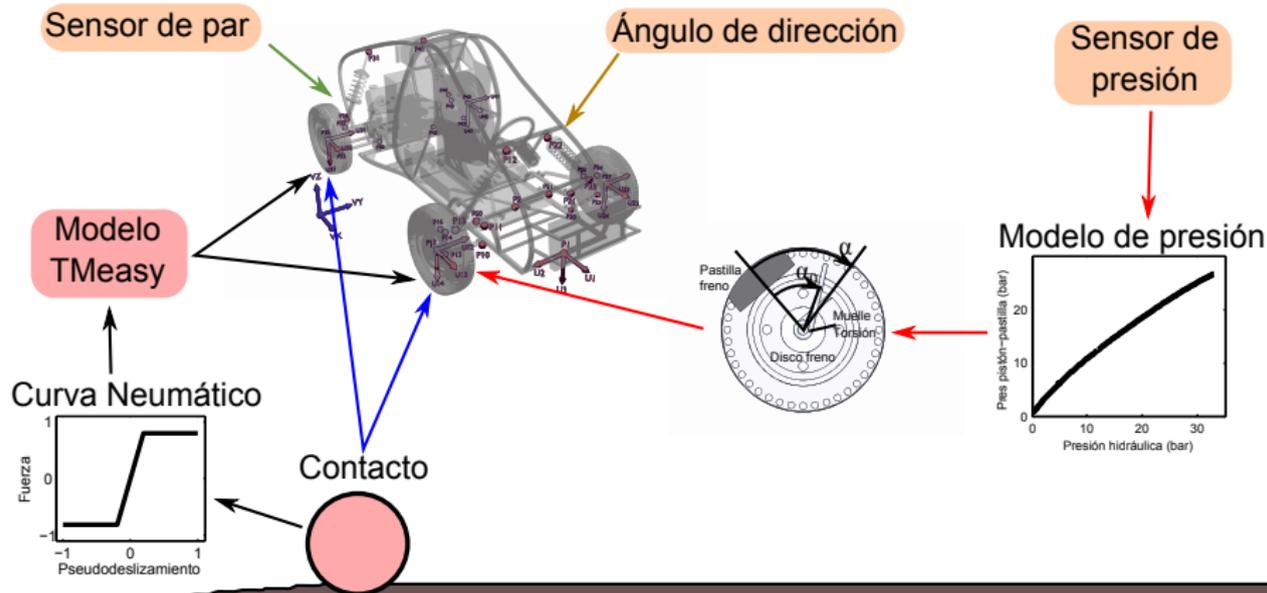
- Motor de combustión interna con cambio automático y en posición trasera
- Propulsión trasera
- Sensorizado y automatizado
  - ▶ Sistema de adquisición de datos Microstar Laboratories
  - ▶ Acelerador, dirección y freno automatizados
  - ▶ principales sensores: giro de las ruedas y la dirección, posición acelerador, unidad inercial, etc





$$M\ddot{q} + \Phi_q^T \alpha \Phi + \Phi_q^T \lambda^* = Q$$

$$\lambda_{i+1}^* = \lambda_i^* + \alpha \Phi_{i+1}$$



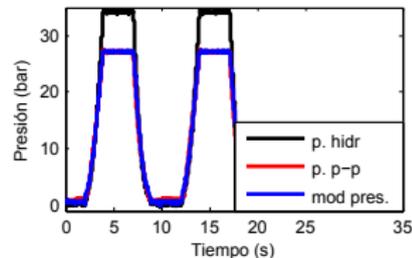
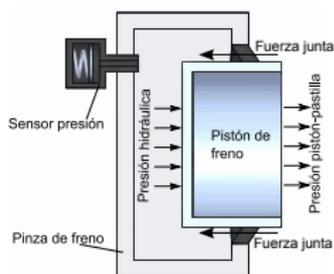
Geometría del suelo



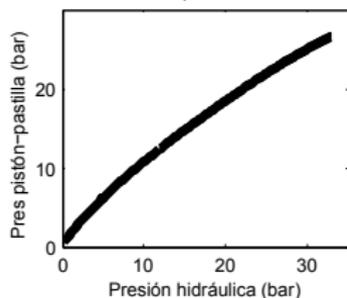
El objetivo del modelo de freno completo es calcular un par de frenada dada una presión hidráulica en el circuito de frenos. Consta de dos partes:

- Modelo de presión de freno

- Relaciona la presión hidráulica con la presión pistón-pastilla



Modelo de presión de freno

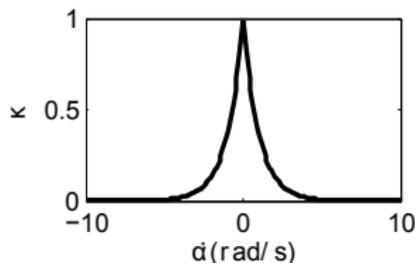
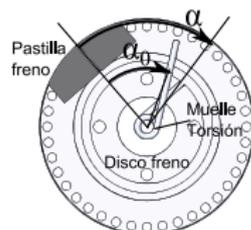


$$\begin{aligned}
 p &= p_h + k_{1L} (p_0 - p_h) + k_{3L} (p_0 - p_h)^3 & \text{si } p_h < p_0 \\
 p &= p_h + k_{1H} (p_0 - p_h) + k_{3H} (p_0 - p_h)^3 & \text{si } p_h \geq p_0
 \end{aligned}$$



- Modelo de freno

- Se combina la fuerza de rozamiento seco con una fuerza de muelle-amortiguador



$$T_{max} = n\mu pAR_{eq}$$

$$T_{muelle} = k(\alpha - \alpha_0) + c\dot{\alpha}$$

$$\kappa = e^{-\frac{|\dot{\alpha}|}{\dot{\alpha}_{bloqueo}}}$$

$$T_f = \kappa T_{muelle} + (1 - \kappa) T_{max}$$

- La variable  $\alpha_0$  tiene un valor constante mientras que  $\dot{\alpha} < \dot{\alpha}_{bloqueo}$  y  $T_{muelle} < T_{max}$ . En caso contrario, se actualiza su valor según la siguiente ecuación:

$$\alpha_0 = \alpha - \frac{T_{max}\dot{\alpha}}{k|\dot{\alpha}|}$$

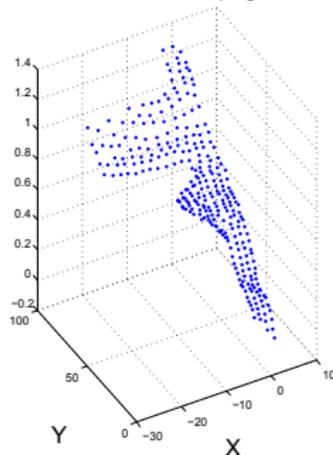


El entorno de la simulación tiene dos funciones principales:

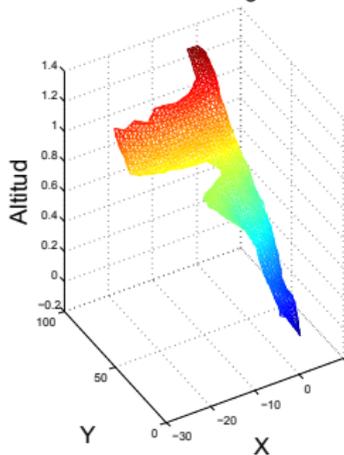
- Facilita la visualización de las maniobras
- Influye en las fuerzas que producen los neumáticos

La parte realizada con más detalle ha sido el levantamiento topográfico de la pista de pruebas

Levantamiento topográfico



Malla de triángulos





Para verificar la validez del modelo, se han de comparar los resultados experimentales con los resultados obtenidos mediante simulación. El proceso seguido ha sido el siguiente:

- Realización de maniobras de referencia con el prototipo
  - ▶ Maniobra en línea recta a baja velocidad
  - ▶ Maniobra con giro de 90° (Maniobra en “L”)
- Repetición de las maniobras con el prototipo
  - ▶ Adquisición de datos experimentales
  - ▶ Post-proceso de los datos: escalado, eliminación del offset, filtrado, etc
  - ▶ Cálculo media e intervalo de confianza al 95 %, según la expresión

$$IC = \bar{x} \pm t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}^{n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- Repetición de la maniobra “media” con el modelo multicuerpo
  - ▶ Las entradas al modelo son la presión del circuito hidráulico de frenos, el par a las ruedas traseras y el ángulo de la dirección
- Verificación de los resultados
  - ▶ Verificación visual
  - ▶ Monitorización de magnitudes relevantes para la dinámica



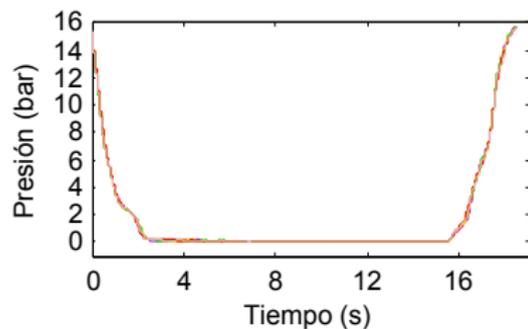


Figura 1 - Presión de freno

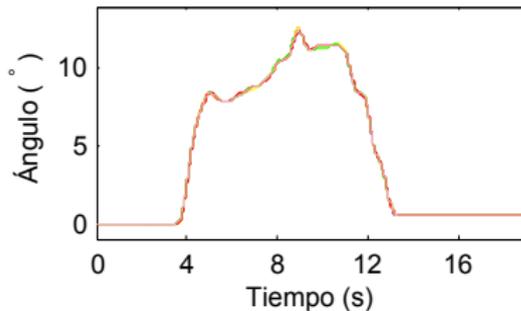


Figura 2 - Ángulo del acelerador

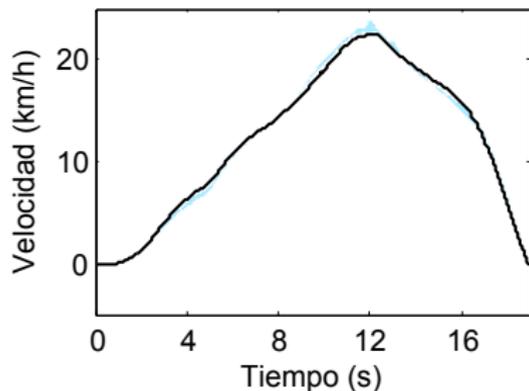


Figura 3 - Velocidad de la rueda delantera derecha

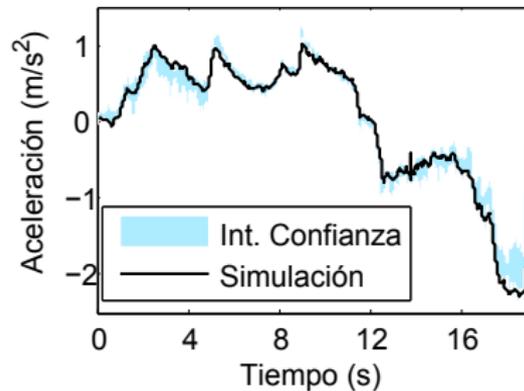


Figura 4 - Aceleración longitudinal del chasis



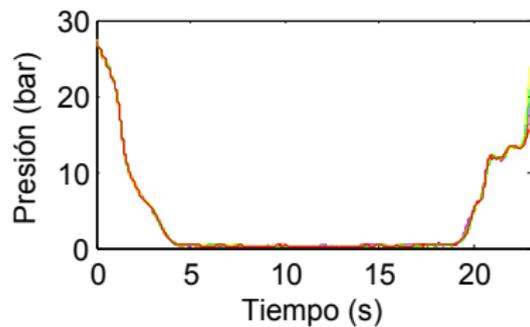


Figura 5 - Presión de freno

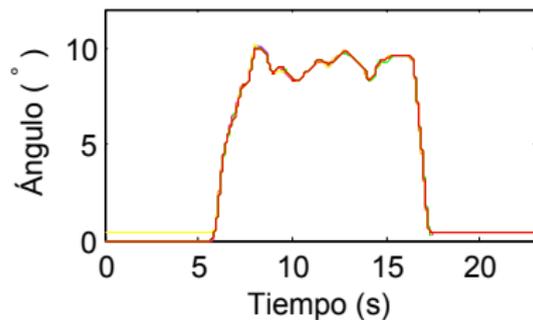


Figura 6 - Ángulo del acelerador

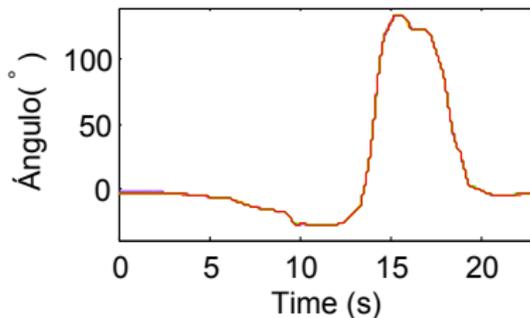


Figura 7 - Ángulo de la cremallera de dirección

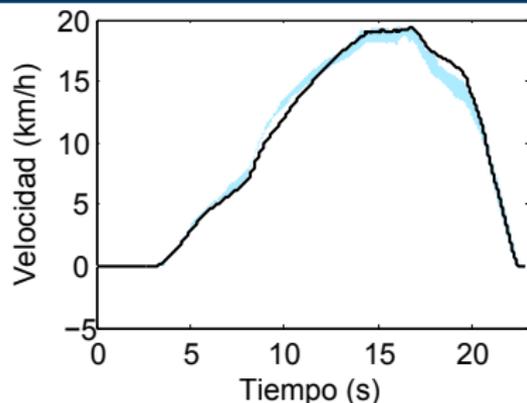


Figura 8 - Velocidad de la rueda delantera derecha

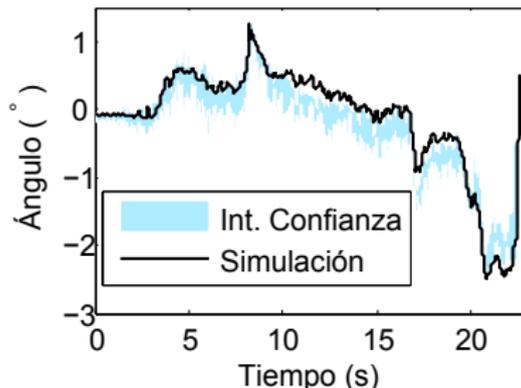


Figura 9 - Aceleración longitudinal

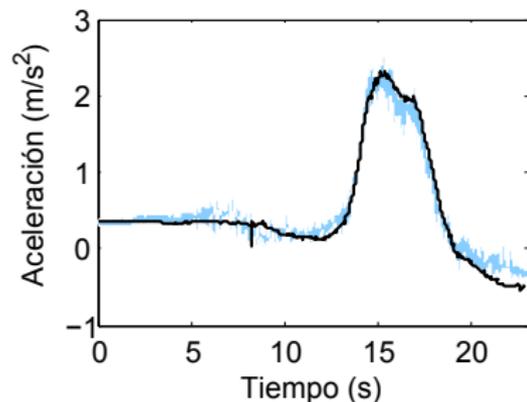


Figura 10 - Aceleración lateral

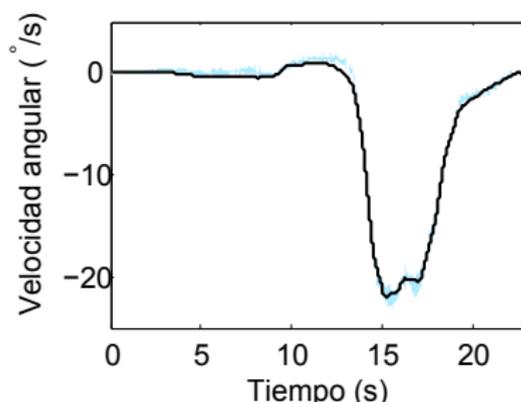


Figura 11 - Velocidad de guiñada



Los factores más importantes para conseguir que el modelo se comporte como el vehículo real han sido:

- Modelo de neumático
- Modelo de freno
- Topografía del suelo
- Geometría del vehículo

Otros factores, como las curvas características de los neumáticos, la distribución de las masas se han mostrado menos influyentes para las maniobras realizadas.

Futuras líneas de investigación:

- Instalación y ejecución del modelo multicuerpo a bordo del vehículo de forma simultánea y sometido a las mismas entradas
- Corrección de este modelo en tiempo real con los sensores instalados en el prototipo, con el objetivo de estimar el estado del vehículo al completo



Gracias por su atención



Emilio Sanjurjo Maroño

Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Navales e Industriales

Ferrol, 21 de junio de 2012