



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio de los fenómenos de baja frecuencia de un vehículo ferroviario con diferentes modelos dinámicos y condiciones de circulación.

Realizado por:

Jorge Gómez Bosch -> jorgobos@etsid.upv.es

Tutores:

José Martínez Casas -> jomarc12@mcm.upv.es

Javier Carballeira Morado -> jacarmo@mcm.upv.es



Índice

- Introducción
- Modelos matemáticos
- Antecedentes de estabilidad en dinámica ferroviaria
- Validación de resultados
- Análisis de estabilidad
 - Estabilidad lineal
 - Estabilidad no lineal
- Conclusiones



Motivación

- Estudio del comportamiento dinámico en la dirección lateral y vertical:
 - Estabilidad
 - Guiado en curva
 - Confort vibroacústico
- Mejoras en el sector ferroviario
- Creciente preocupación por el impacto medioambiental



Objetivos

- Validación de un software propio del CIIM
- Análisis de la influencia de la flexibilidad en los fenómenos de baja frecuencia
- Nuevo enfoque a los análisis de estabilidad



Metodología

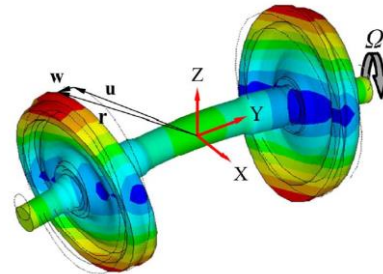
- Dos softwares de dinámica ferroviaria:
 - *Adams VI-Rail*
 - *Thermomix*
- *Manchester Benchmarks*:
 - Año 1997
 - Base de datos común de referencia
 - Dos vehículos y cuatro casos de vía



Descripción de los modelos

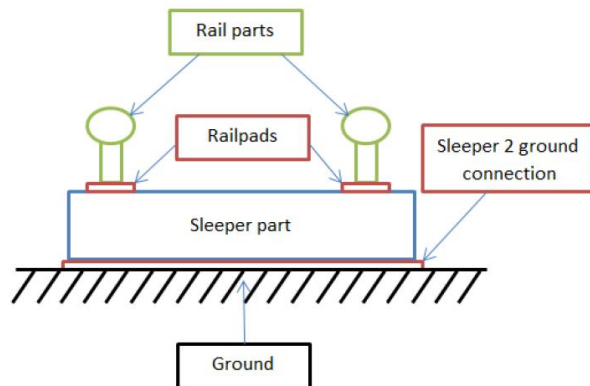
Modelos de eje:

- Multibody
- Continuos
- Elementos finitos



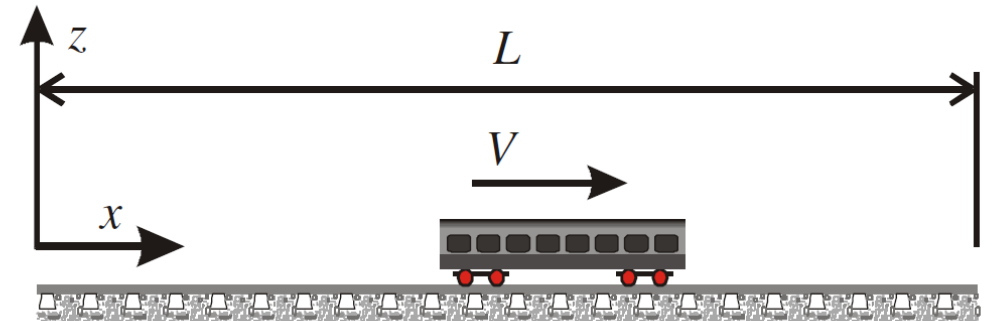
Modelos de contacto:

- Modelado del problema elástico
- Precisión temporal
- Dimensión del problema
- Área de contacto



Modelos de vía:

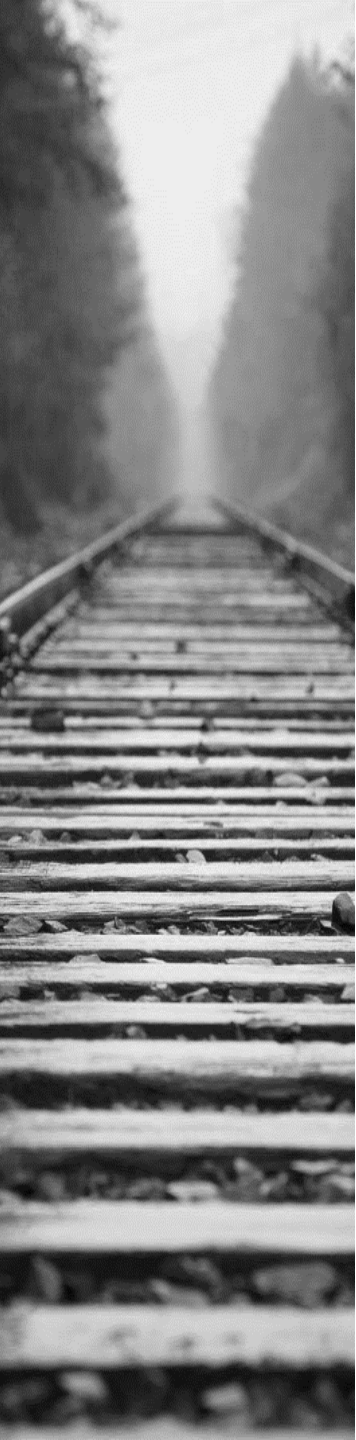
- Método constructivo
- Longitud de la vía
- Modelo del carril





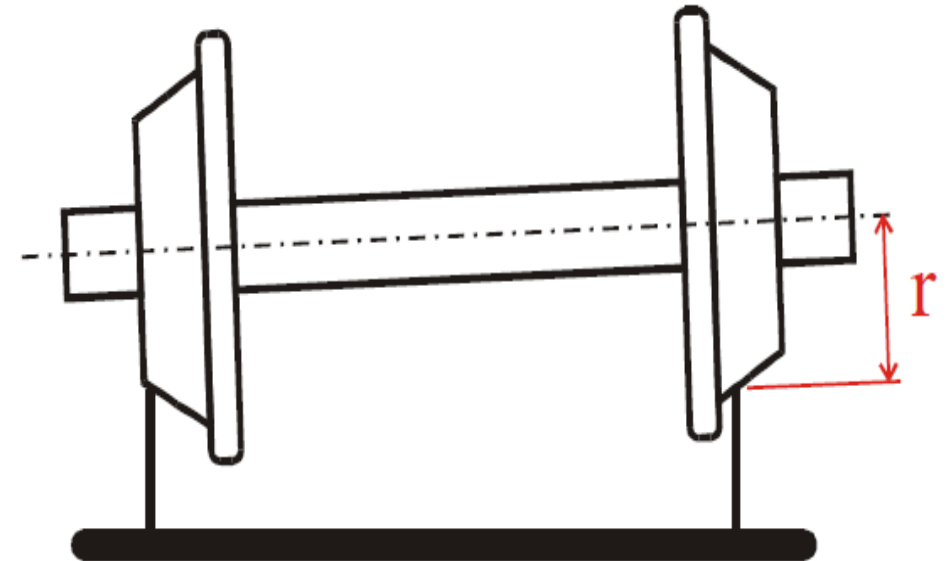
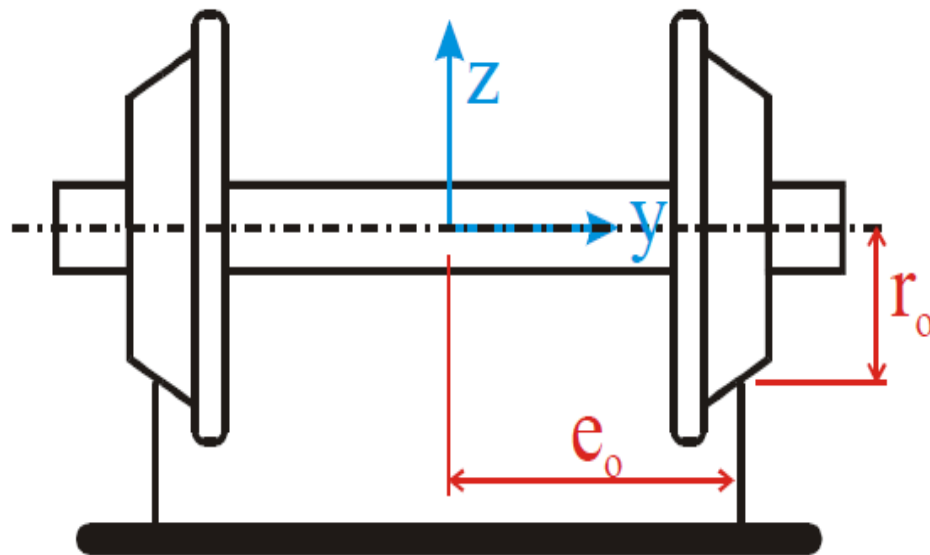
Modelos implementados

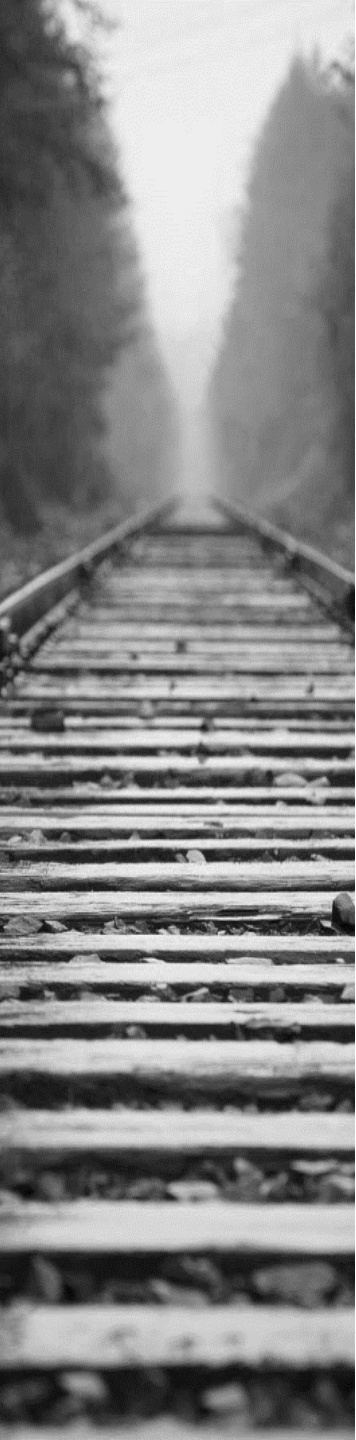
	<i>ADAMS VI-Rail</i>	<i>Thermomix</i>
Modelo de eje	<ul style="list-style-type: none">• Sólido rígido	<ul style="list-style-type: none">• Sólido flexible
Modelo de vía	<ul style="list-style-type: none">• Vía rígida o flexible*• Apoyo en balasto	<ul style="list-style-type: none">• Vía cíclica• Apoyo en balasto• Viga de Timoshenko
Modelo de contacto	<ul style="list-style-type: none">• Exacto• No-herciano• 3D	<ul style="list-style-type: none">• Simplificado• Multi-herciano• 2D



Análisis cinemático

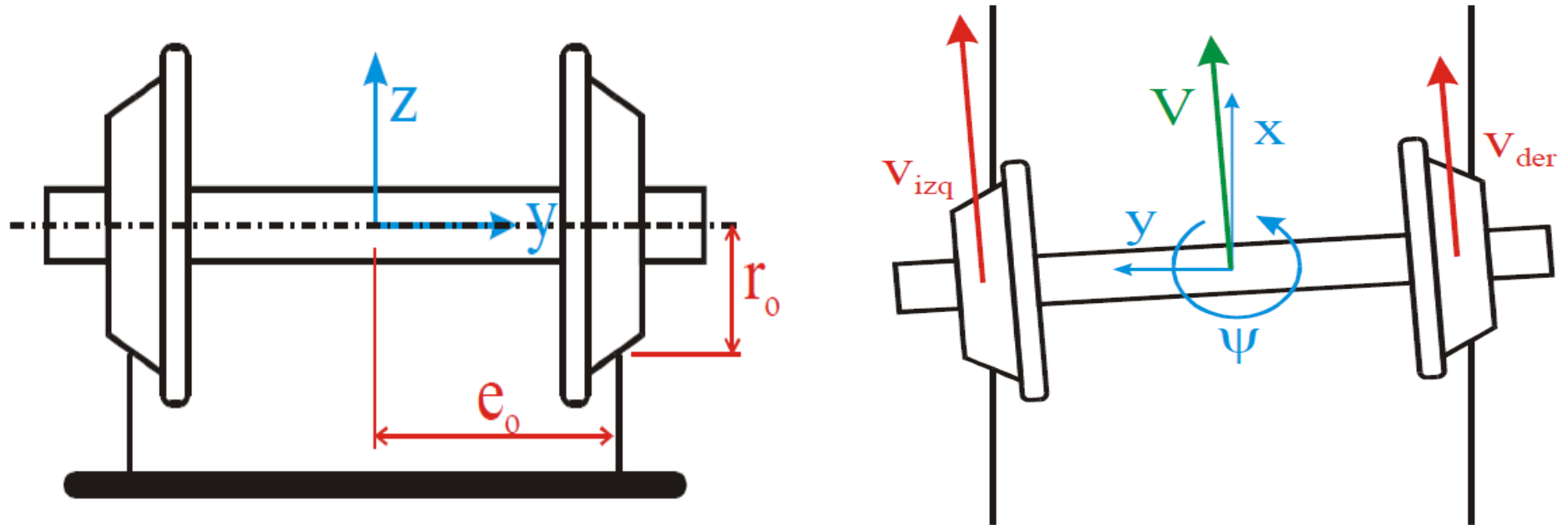
Modelo de rodadura sin deslizamiento

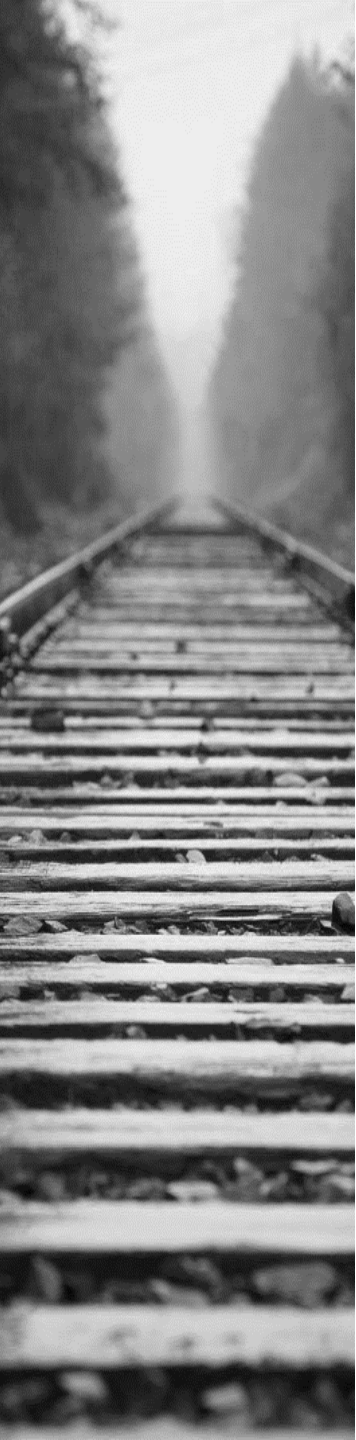




Análisis cinemático

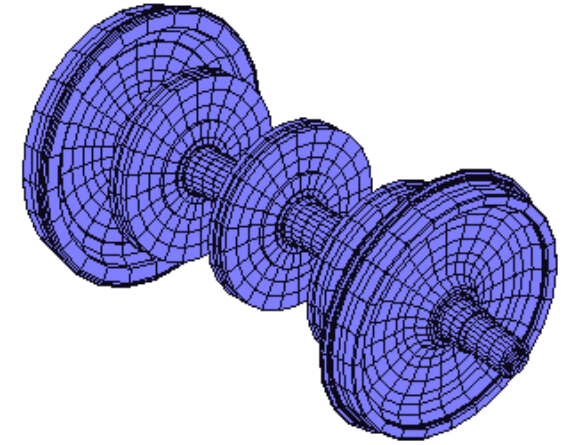
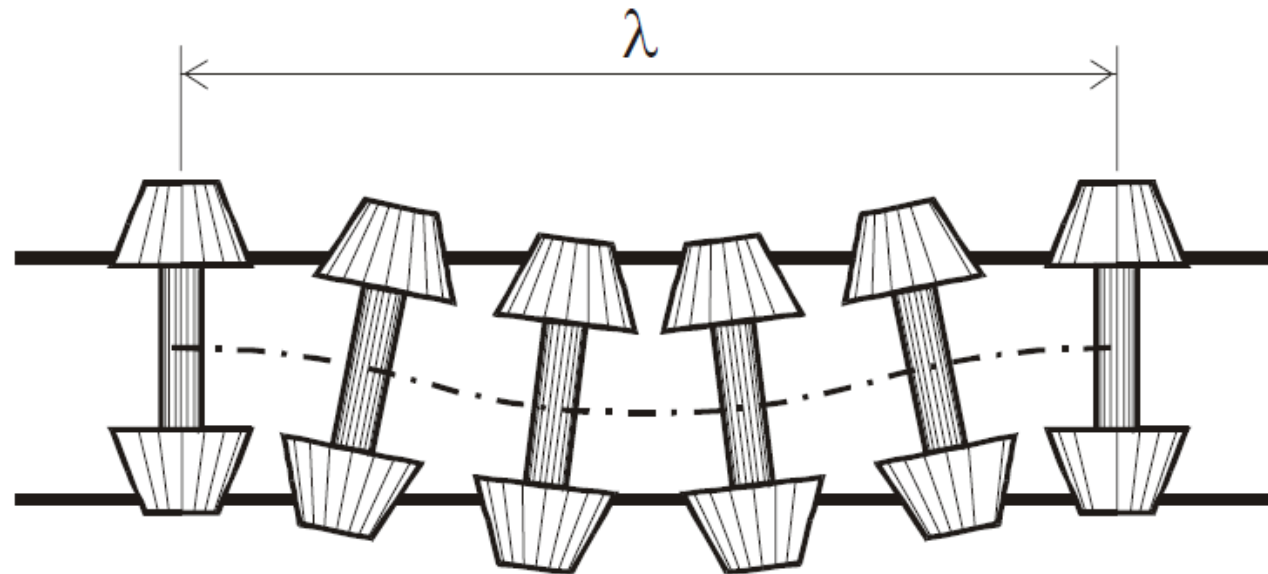
Modelo de rodadura sin deslizamiento





Análisis cinemático

Modelo de rodadura sin deslizamiento



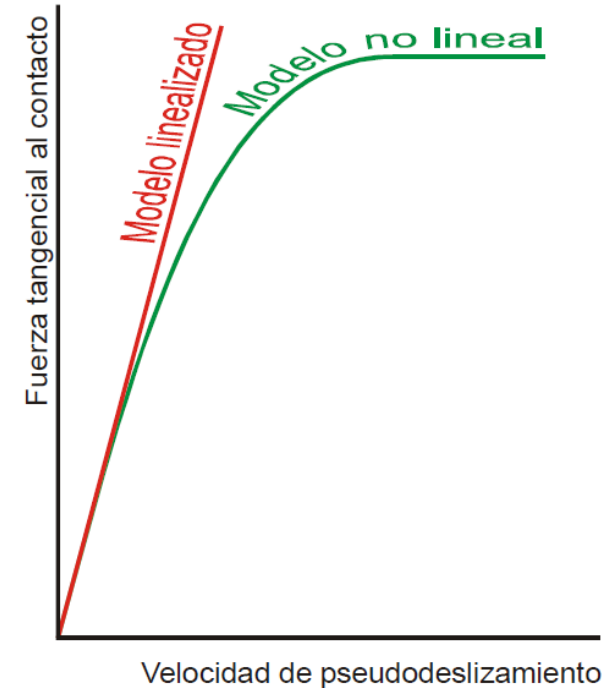
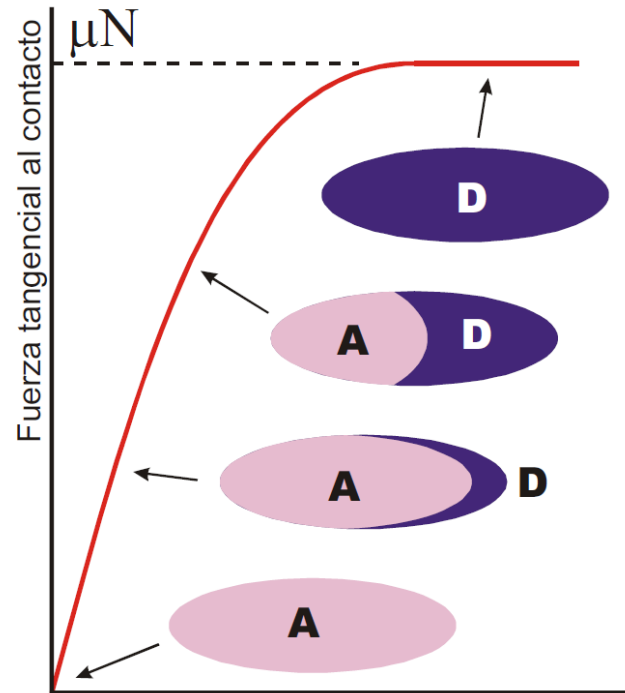
$$\omega = V \sqrt{\frac{\gamma}{r_0 e_0}}$$

$$\lambda = \frac{V}{\frac{\omega}{2\pi}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{r_0 e_0}{\gamma}}$$



Análisis dinámico

Velocidad de pseudodeslizamiento



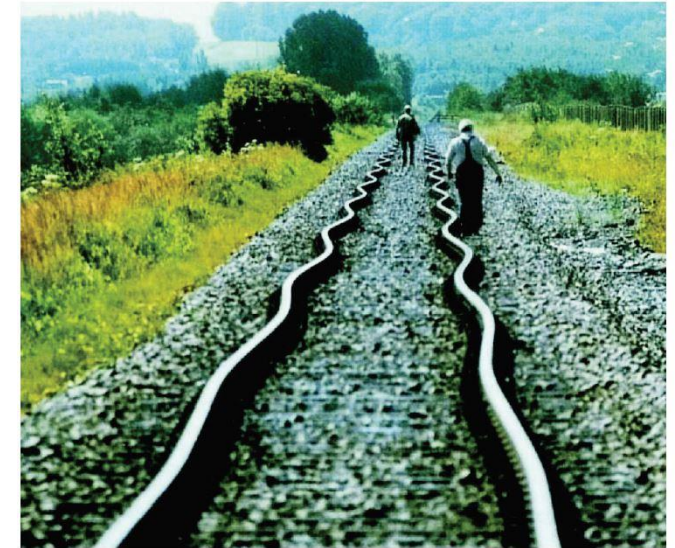


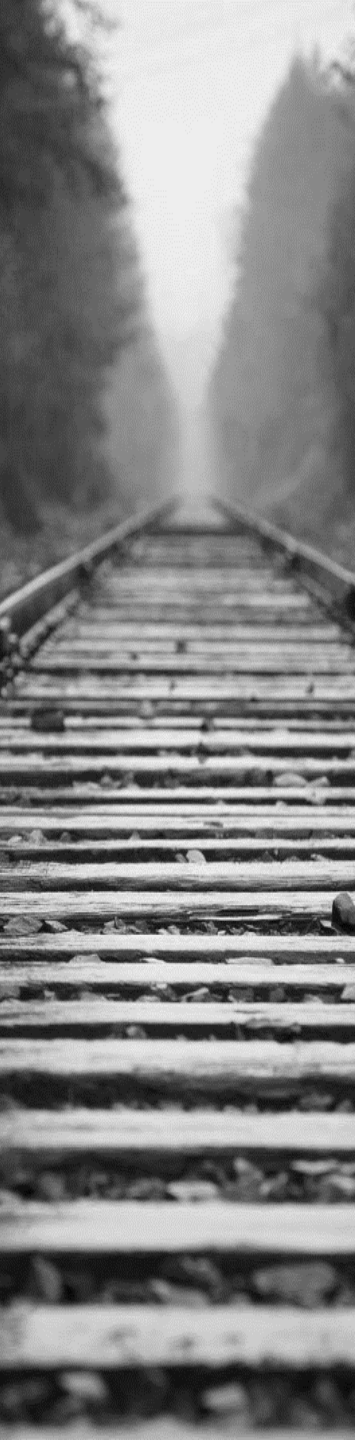
Análisis dinámico

Ecuaciones del movimiento

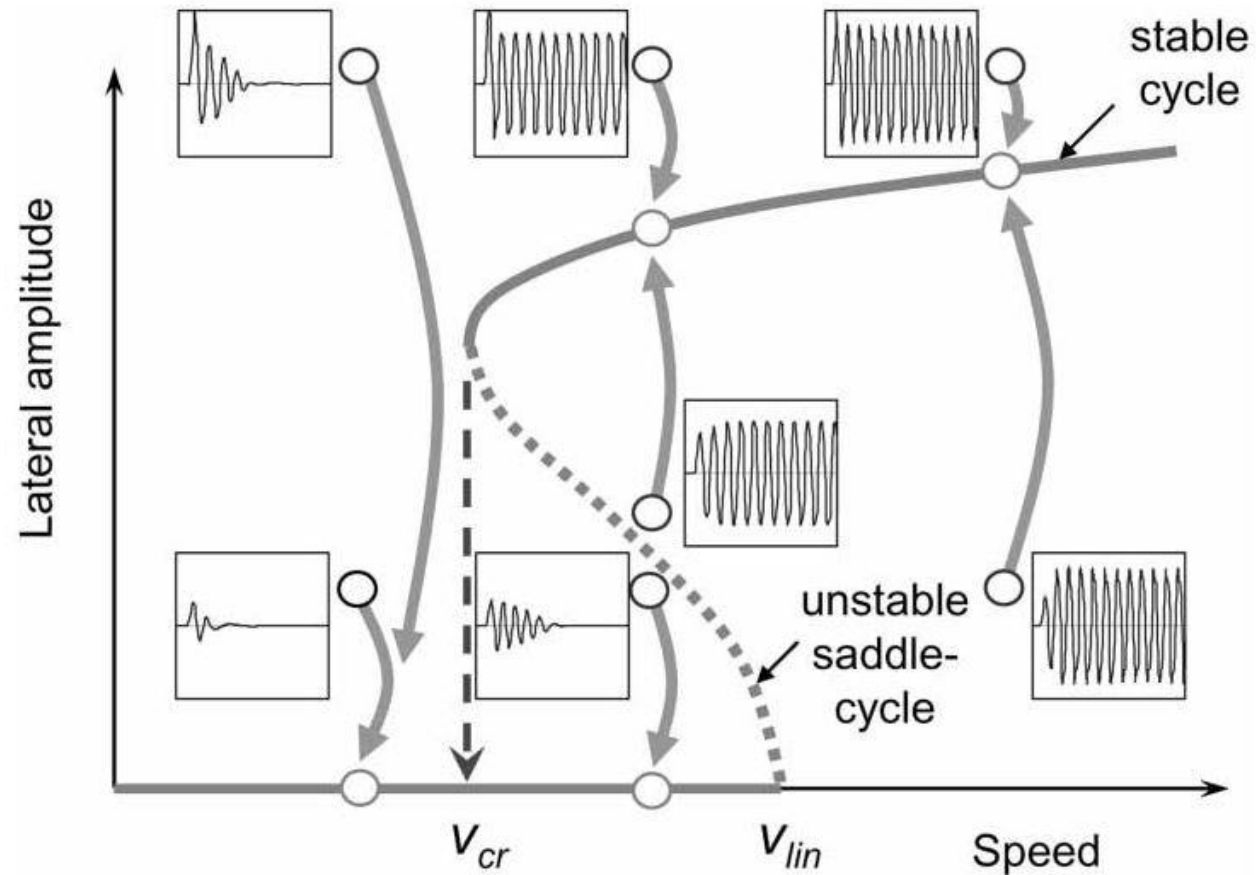
$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2f_{yy}}{V} & 0 \\ 0 & \frac{2f_{xx}e_0^2}{V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -2f_{yy} \\ \frac{2\gamma f_{xx}e_0}{r_0} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \psi \end{bmatrix} = 0$$

- Amortiguamiento decreciente con la velocidad
- Matriz no simétrica. El sistema introduce energía en los grados de libertad





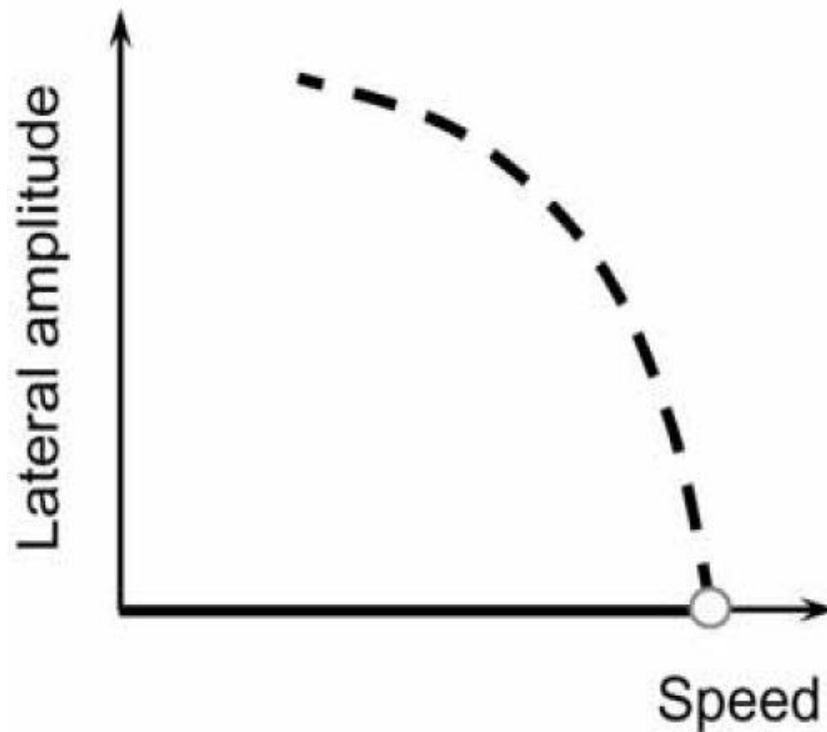
Bifurcación de Hopf



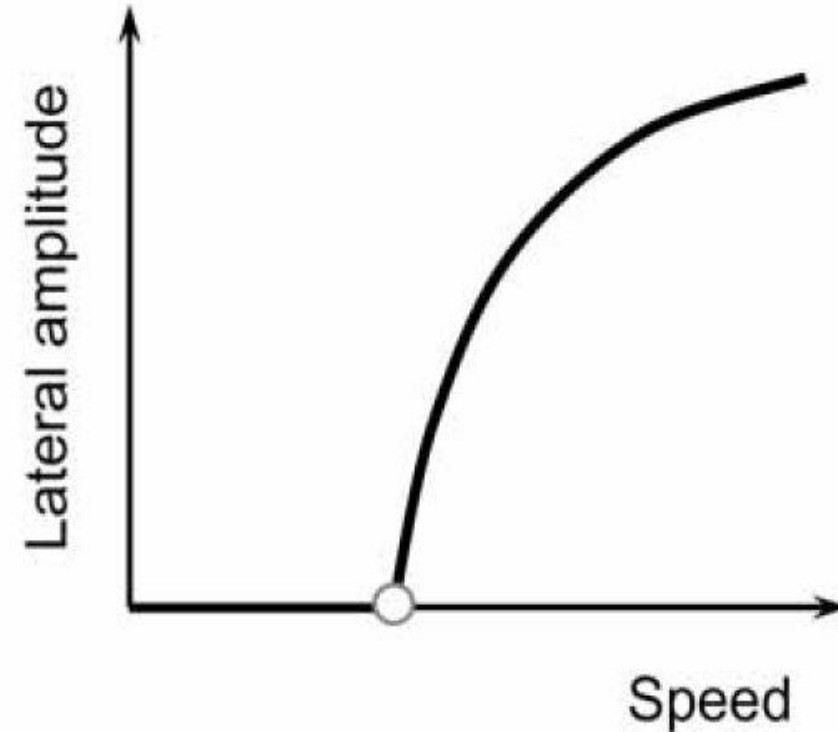


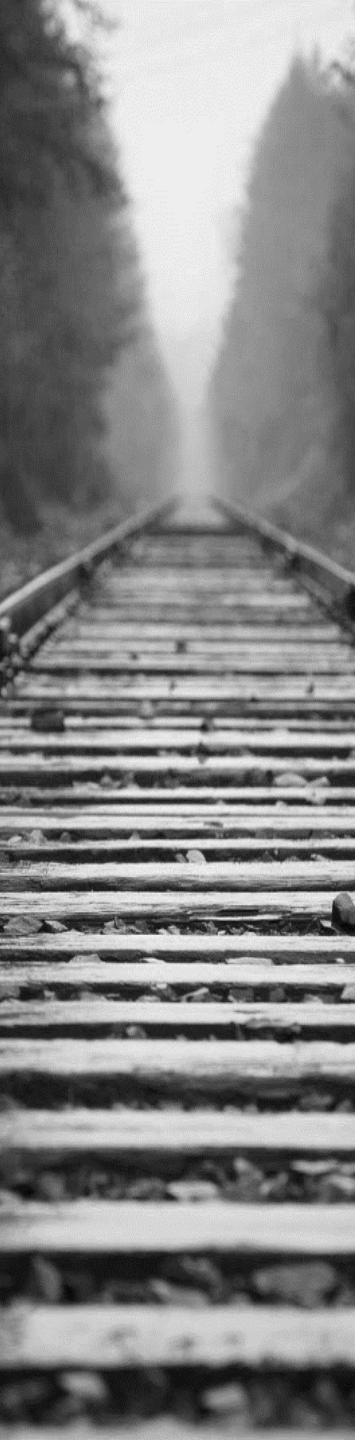
Bifurcación de Hopf

Subcritical Hopf bifurcation



Supercritical Hopf bifurcation





Introducción

Modelos matemáticos

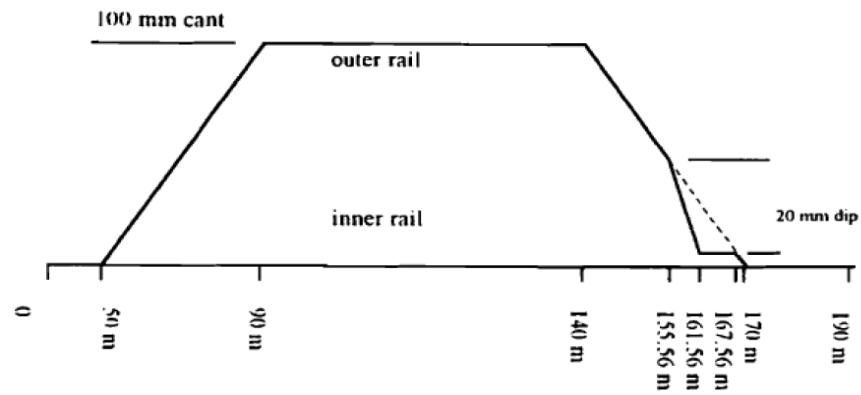
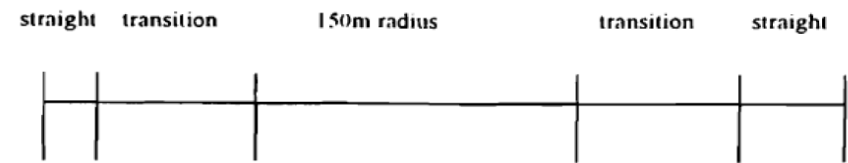
Antecedentes

Validación de resultados

Análisis de estabilidad

Conclusiones

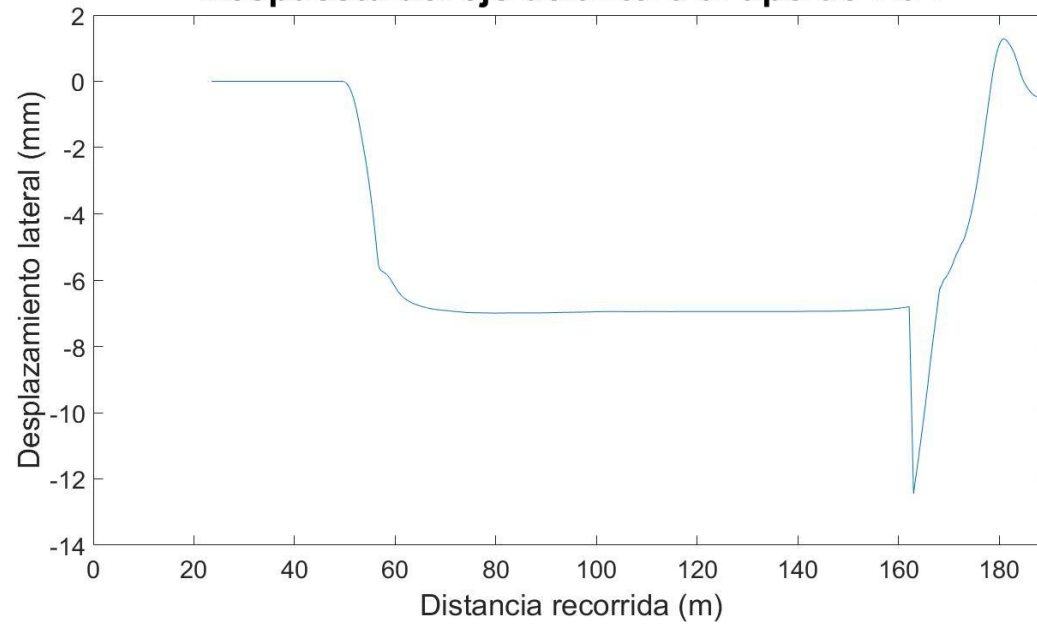
Track Case I



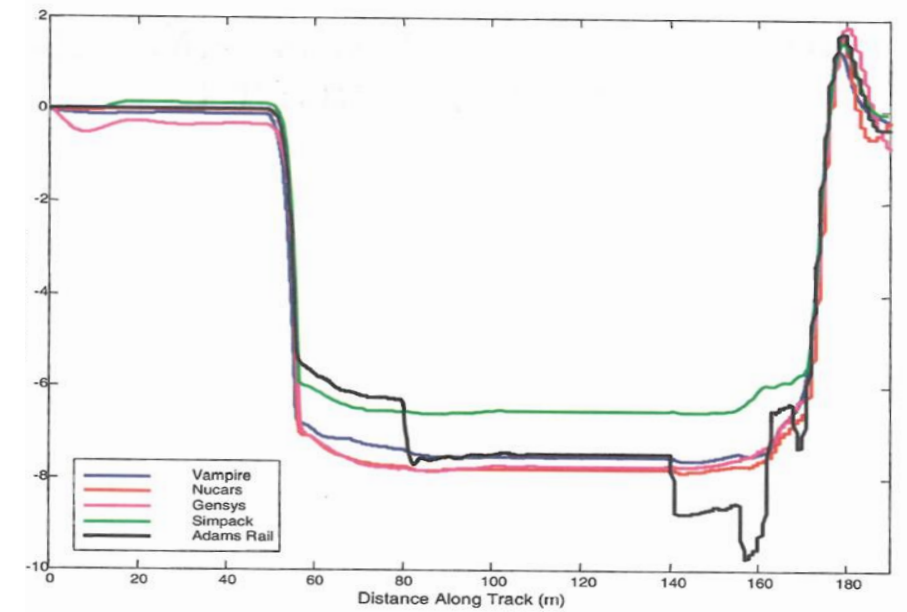


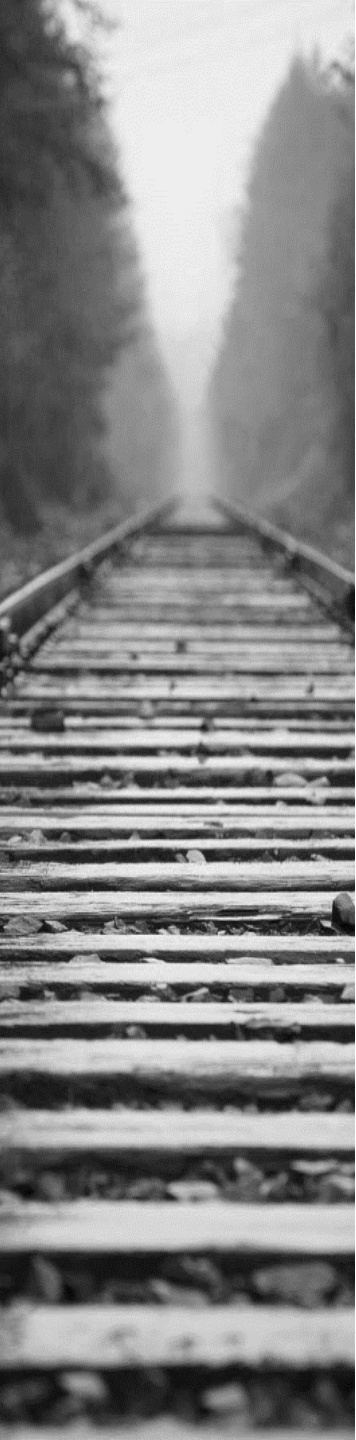
Track Case I

Respuesta del eje delantero al tipo de vía I



Plot 1. Vehicle 1, Case1 - Lateral Displacement of Wheelset 1





Introducción

Modelos matemáticos

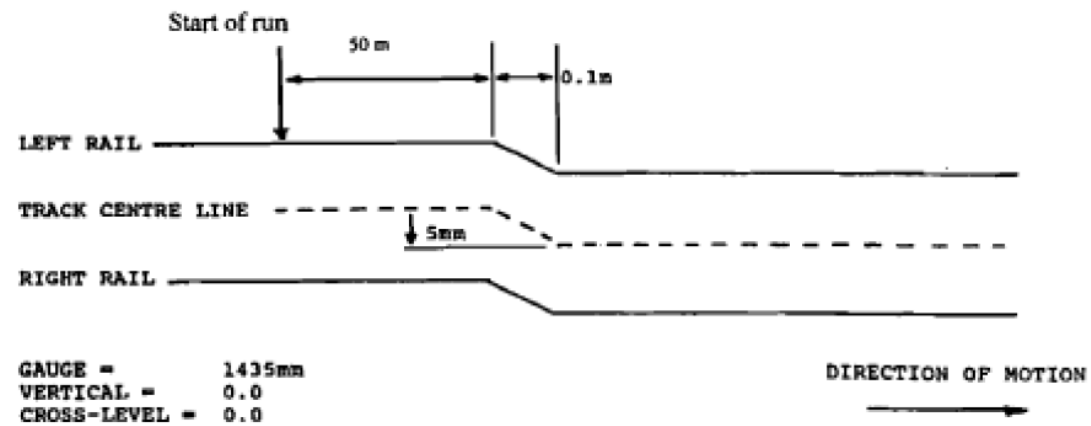
Antecedentes

Validación de resultados

Análisis de estabilidad

Conclusiones

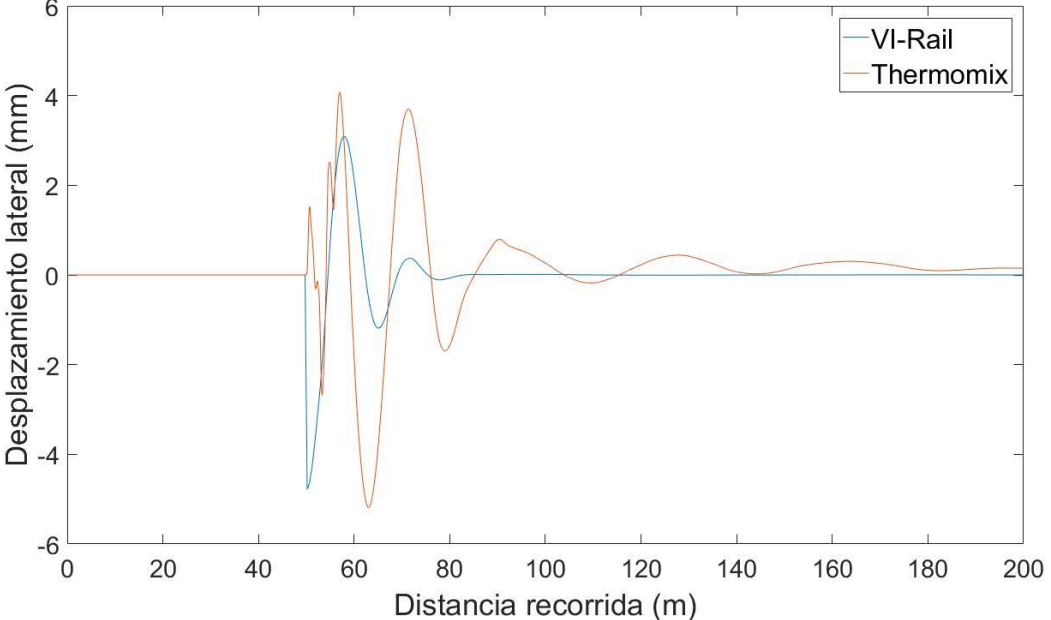
Track Case II



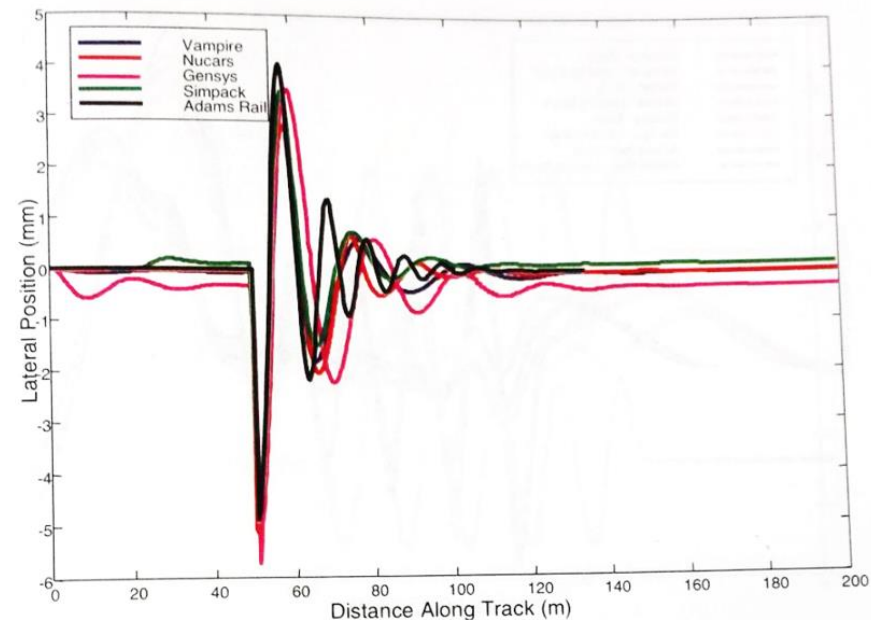


Track Case II

Respuesta del eje delantero al tipo de vía II



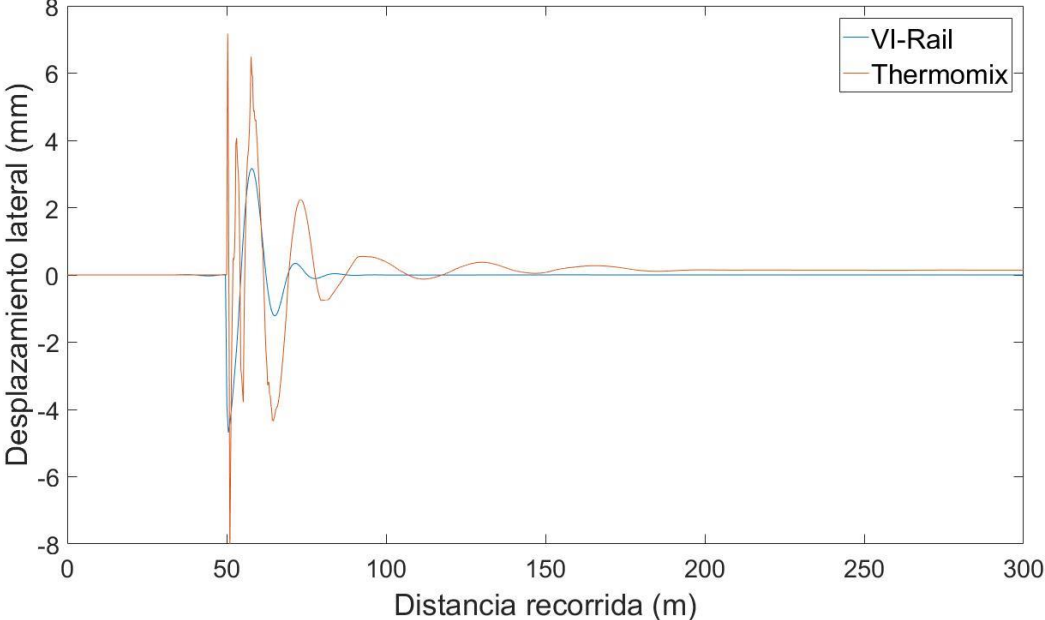
Plot 14. Vehicle 1, case 2 – Lateral Position of Wheelset 1



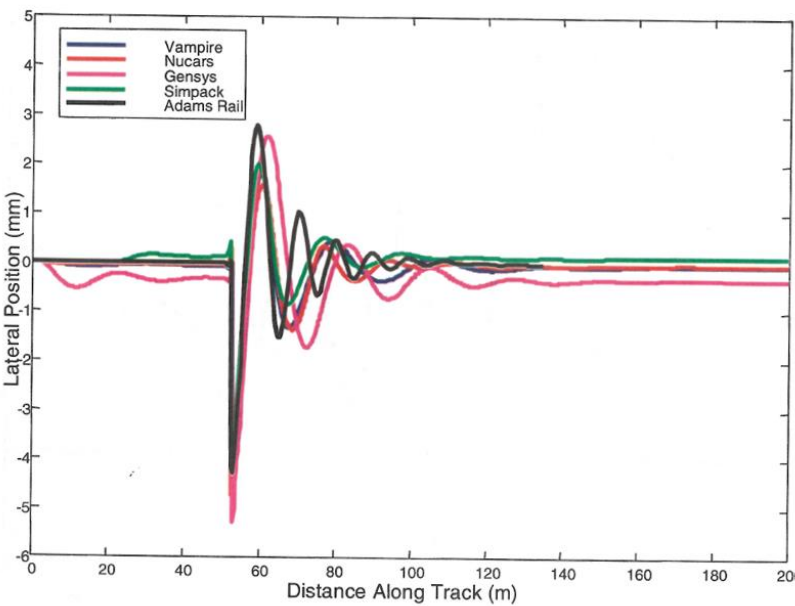


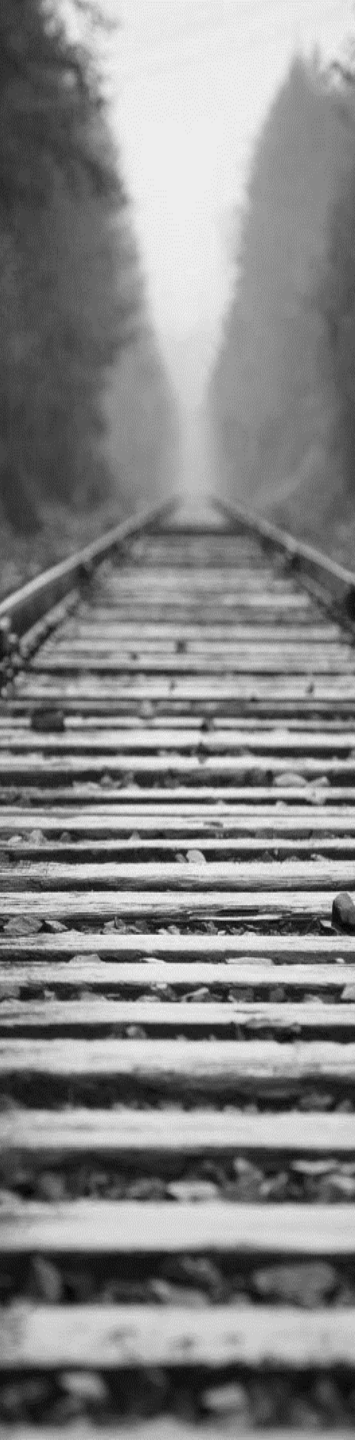
Track Case II

Resupuesta del eje trasero al tipo de vía II

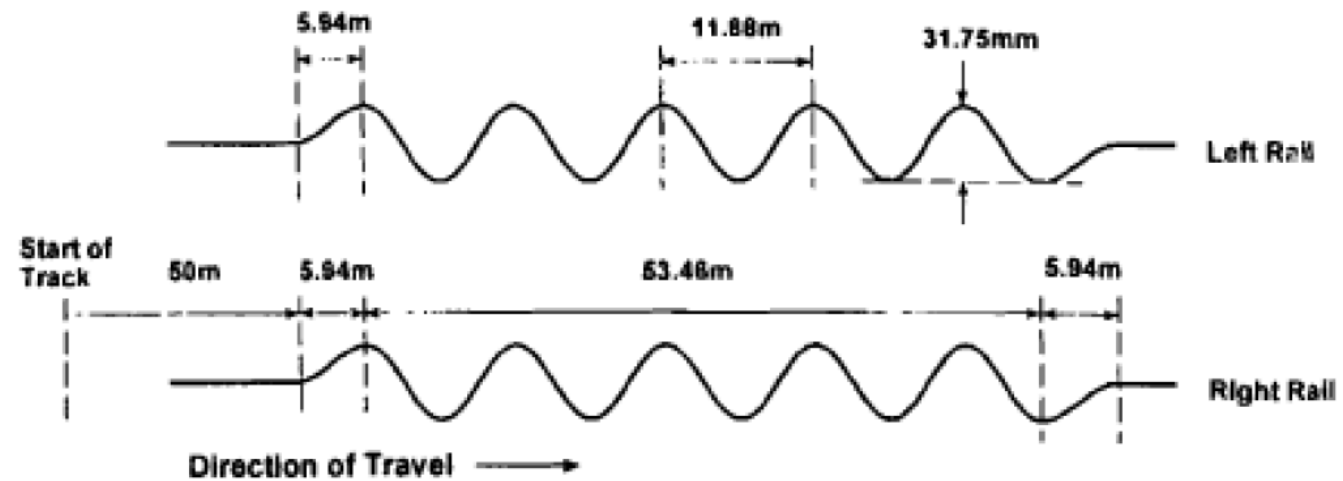


Plot 15. Vehicle 1, Case 2 - Lateral Position of Wheelset 2





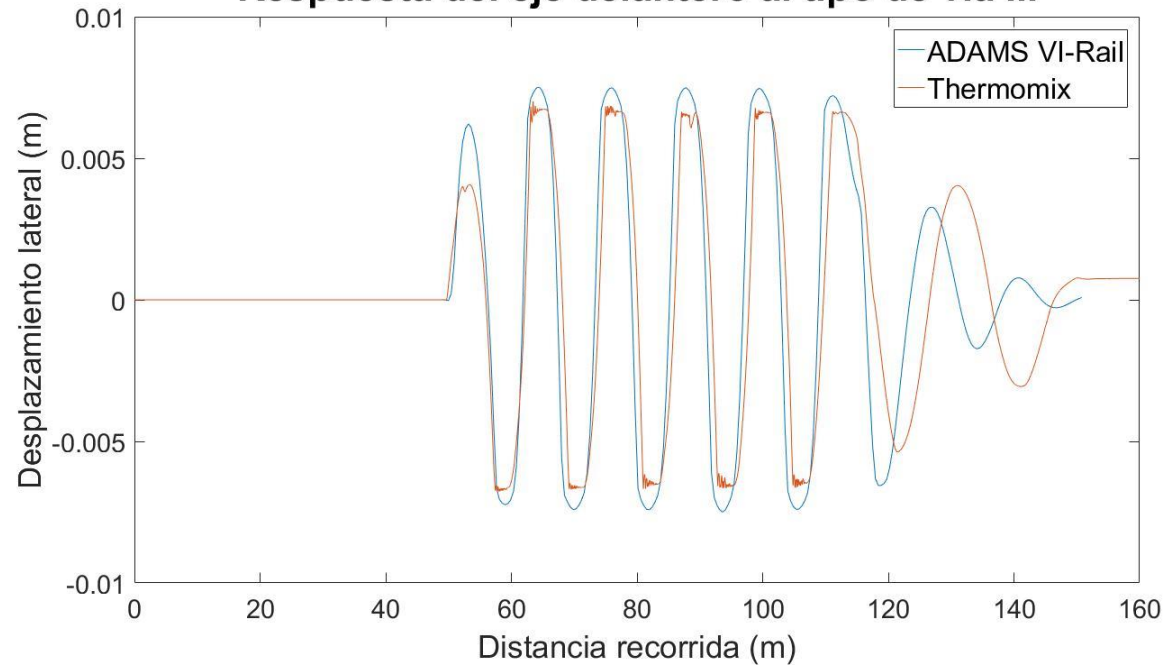
Track Case III



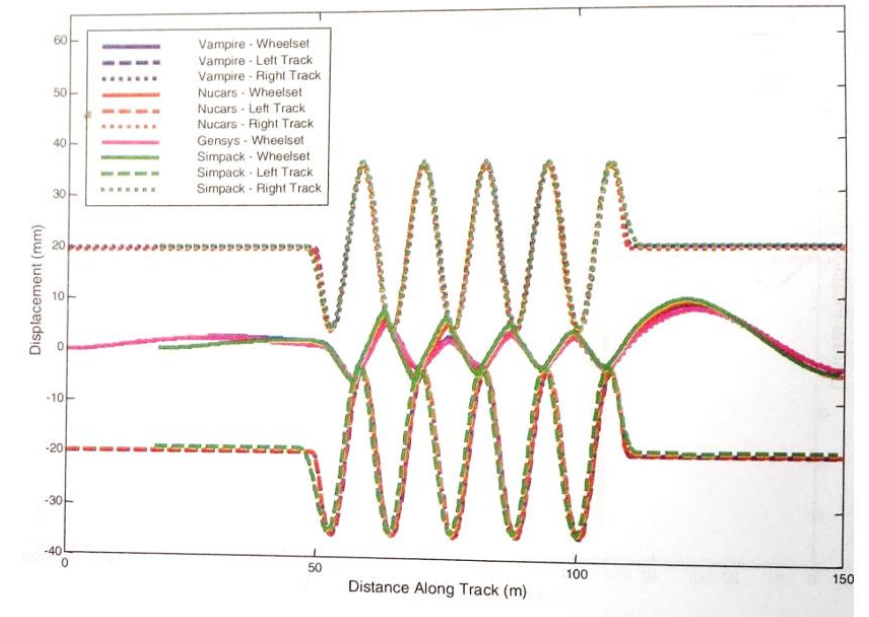


Track Case III

Respuesta del eje delantero al tipo de vía III

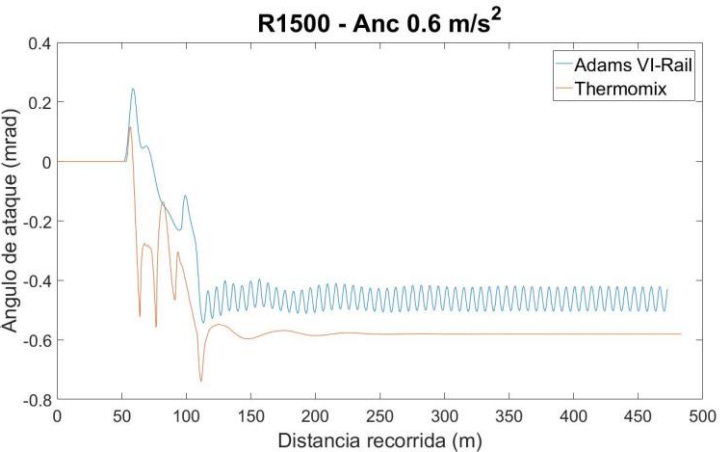
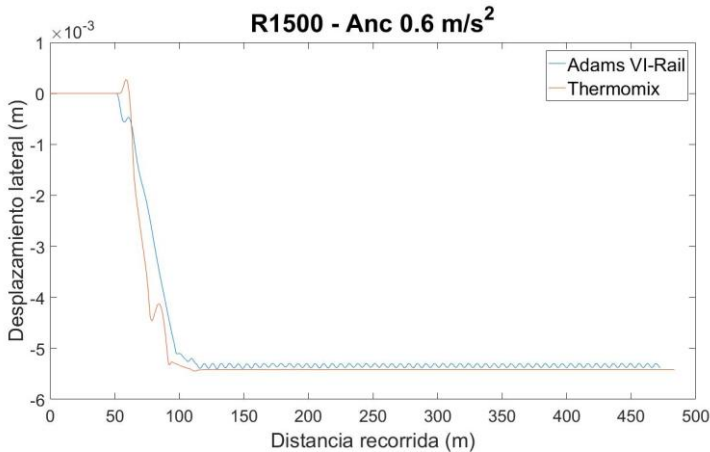
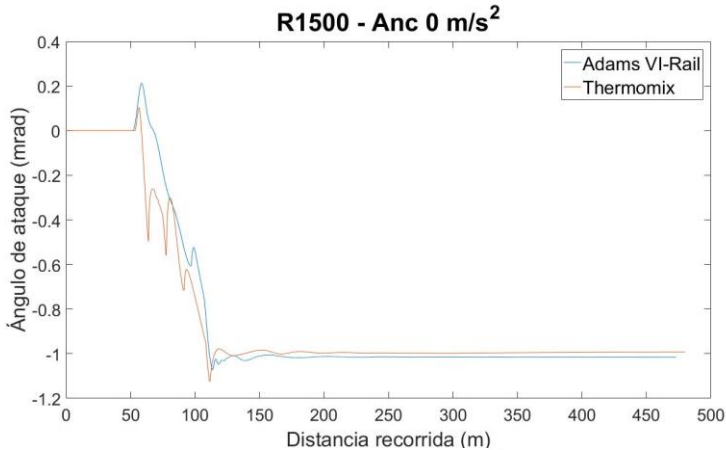
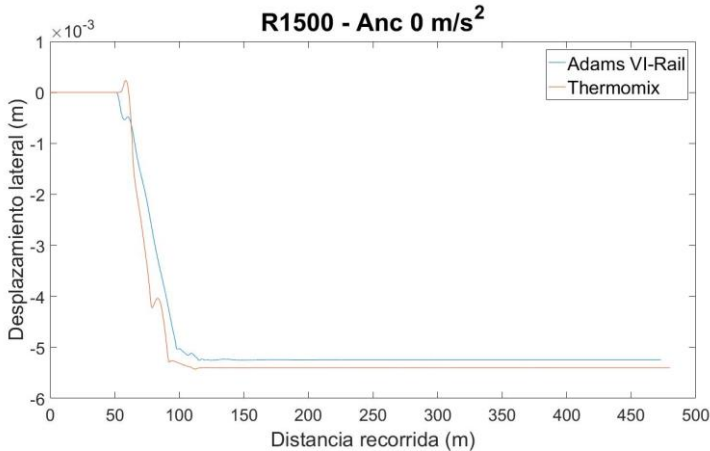


Plot 17. Vehicle 1, Case 3 – Lateral Displacement of Wheelset 1 Relative to Track Displacement



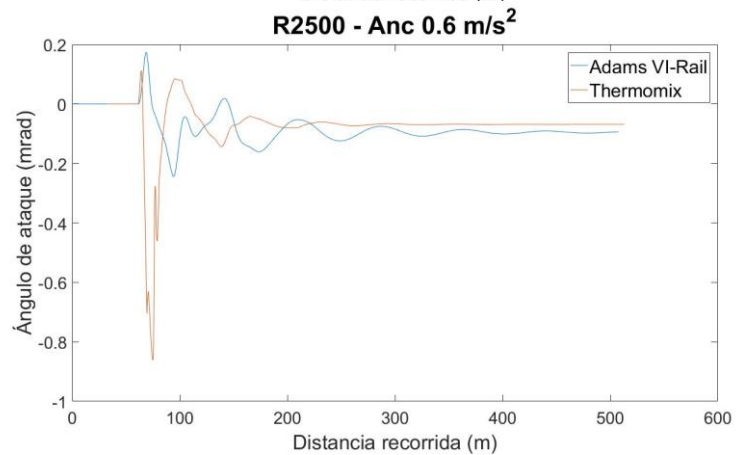
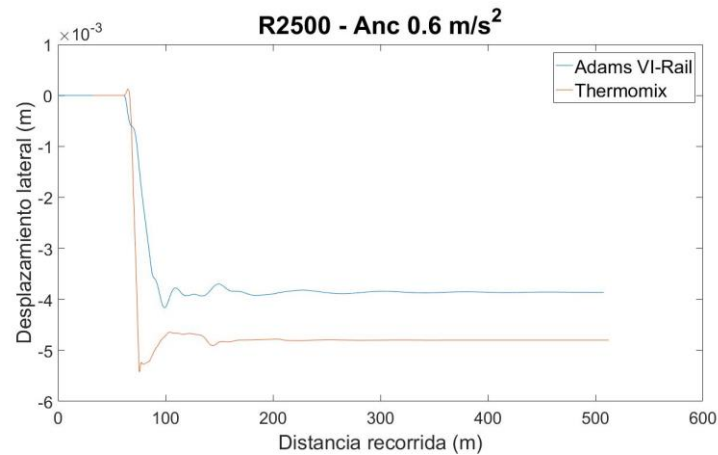
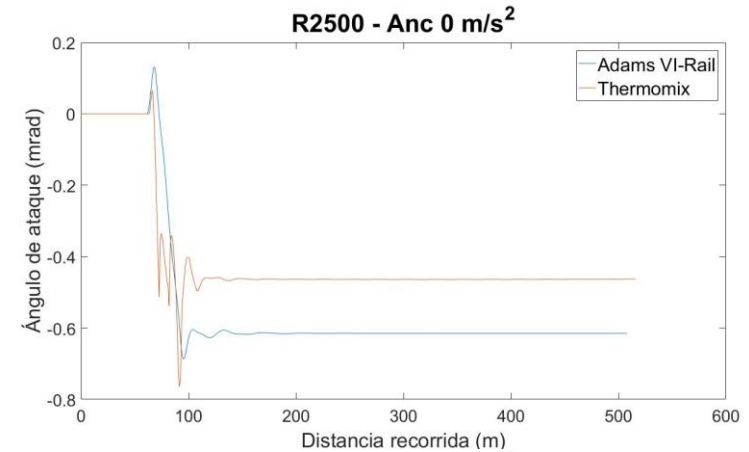
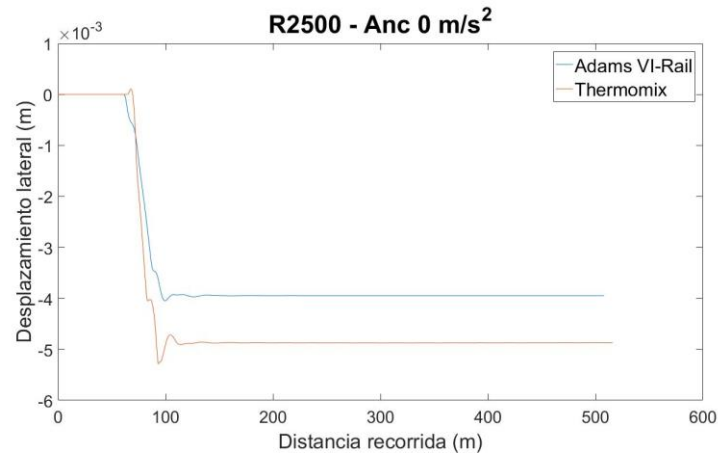


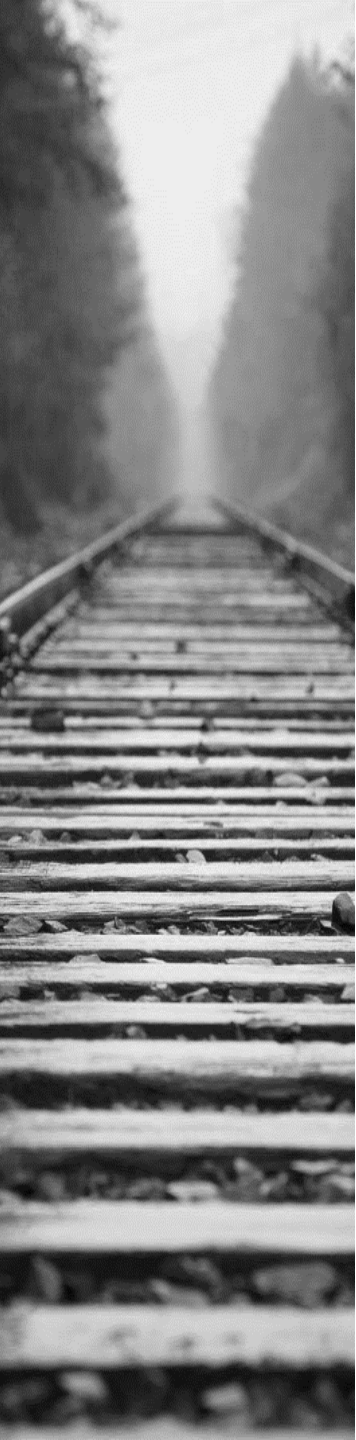
Vía curva. R1500





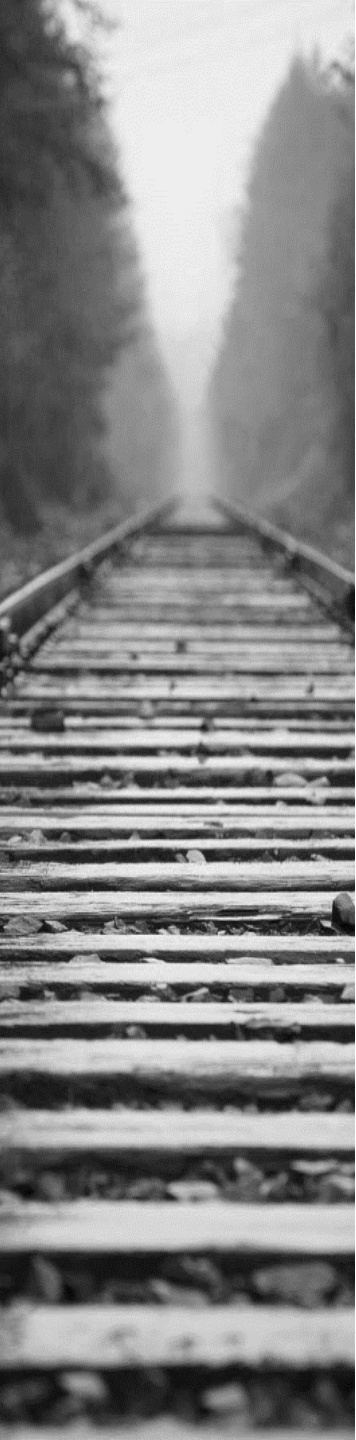
Vía curva. R2500



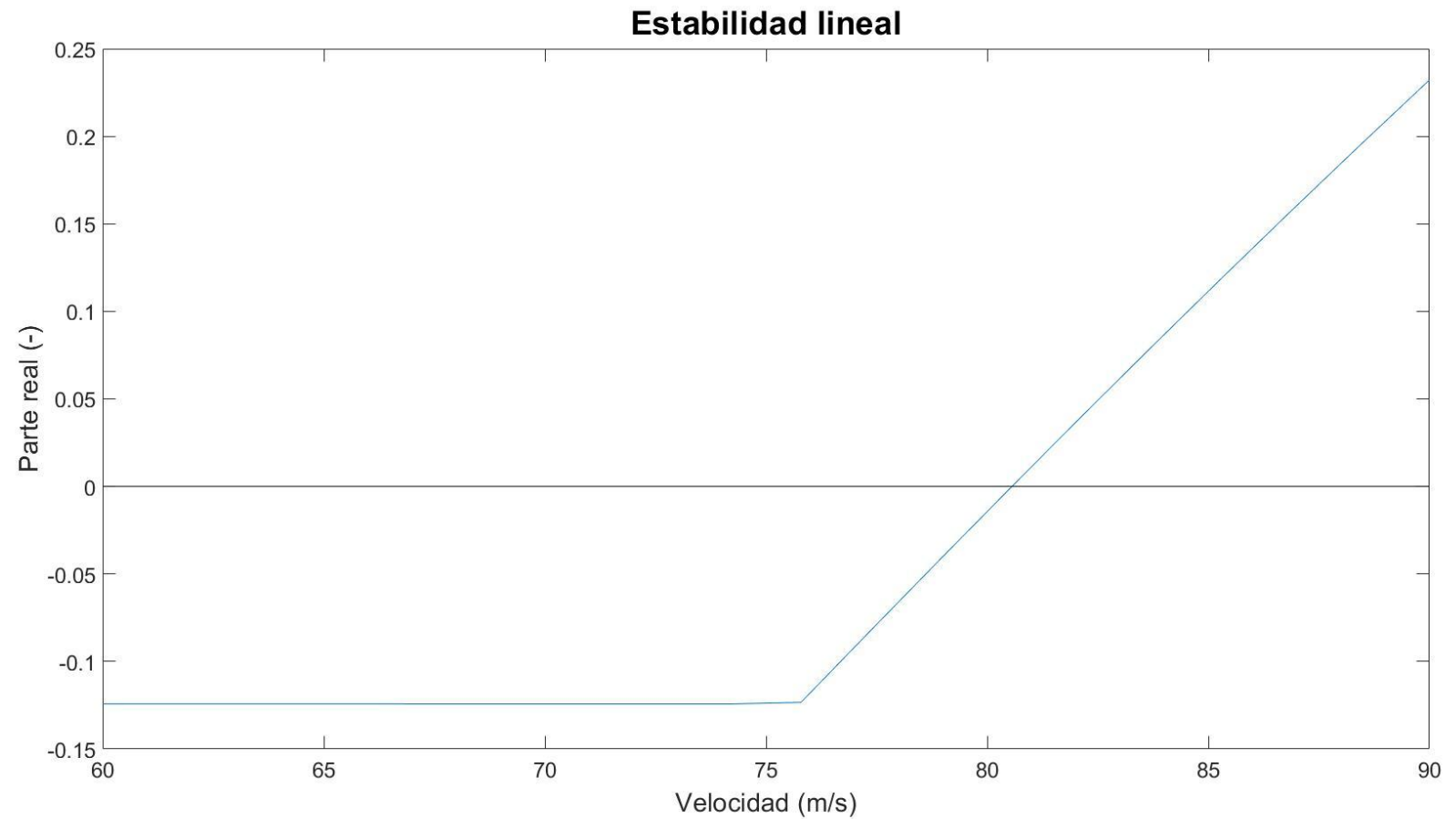


Estabilidad lineal

- Búsqueda de la velocidad que vuelve inestable el sistema.
- Raíces con parte real positiva.
- Parámetros de contacto lineales con las velocidades de pseudodeslizamiento.

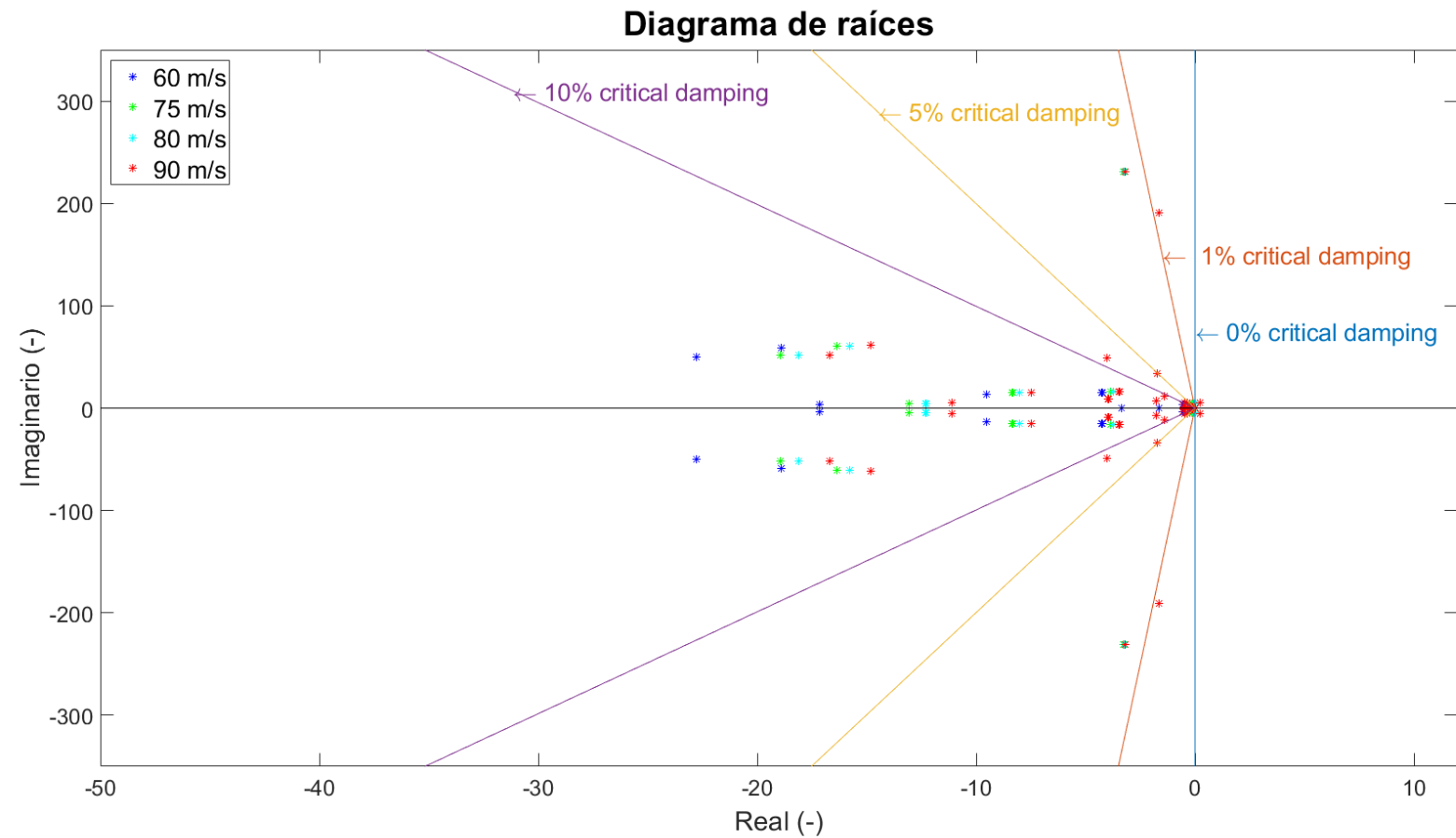


Estabilidad lineal





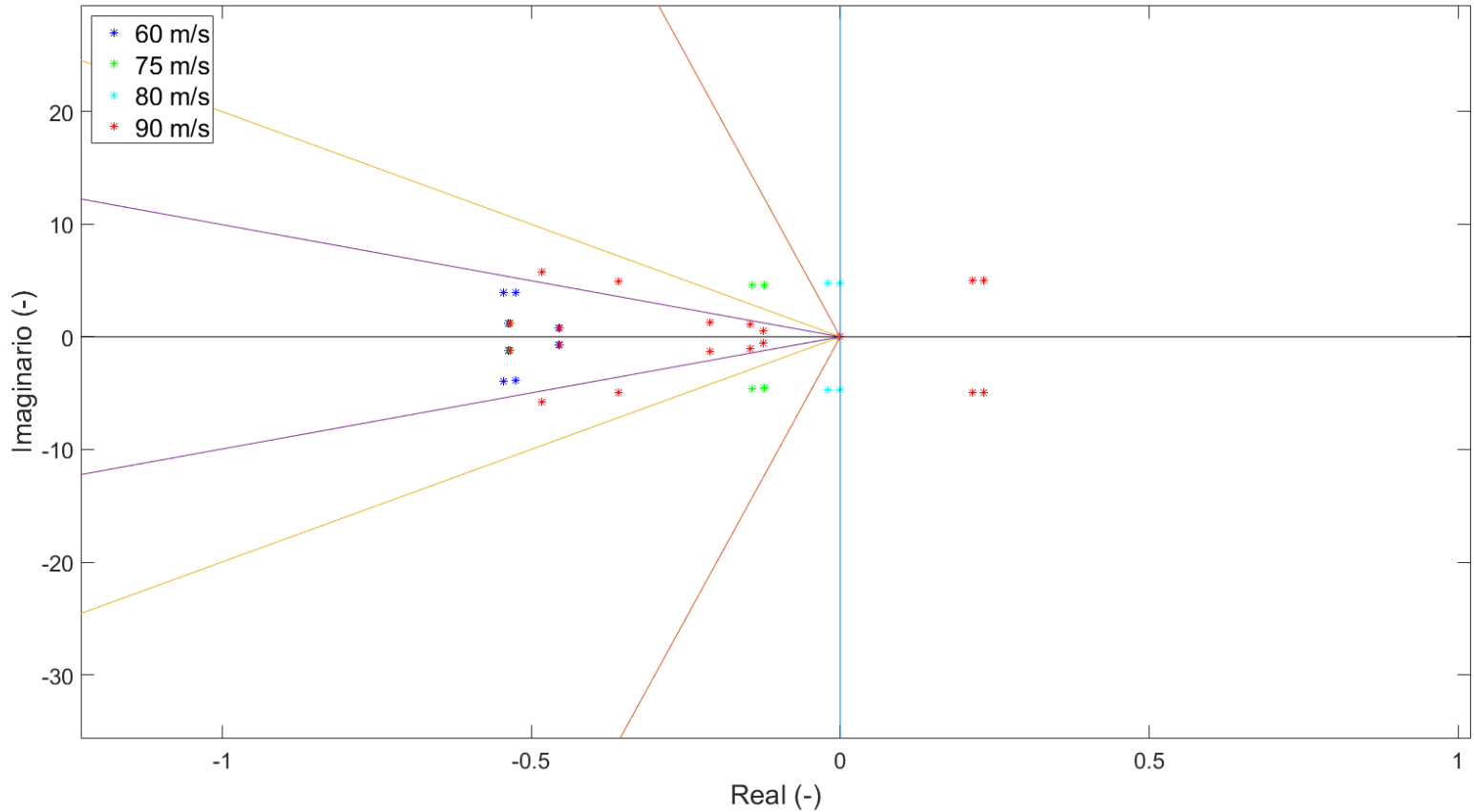
Estabilidad lineal





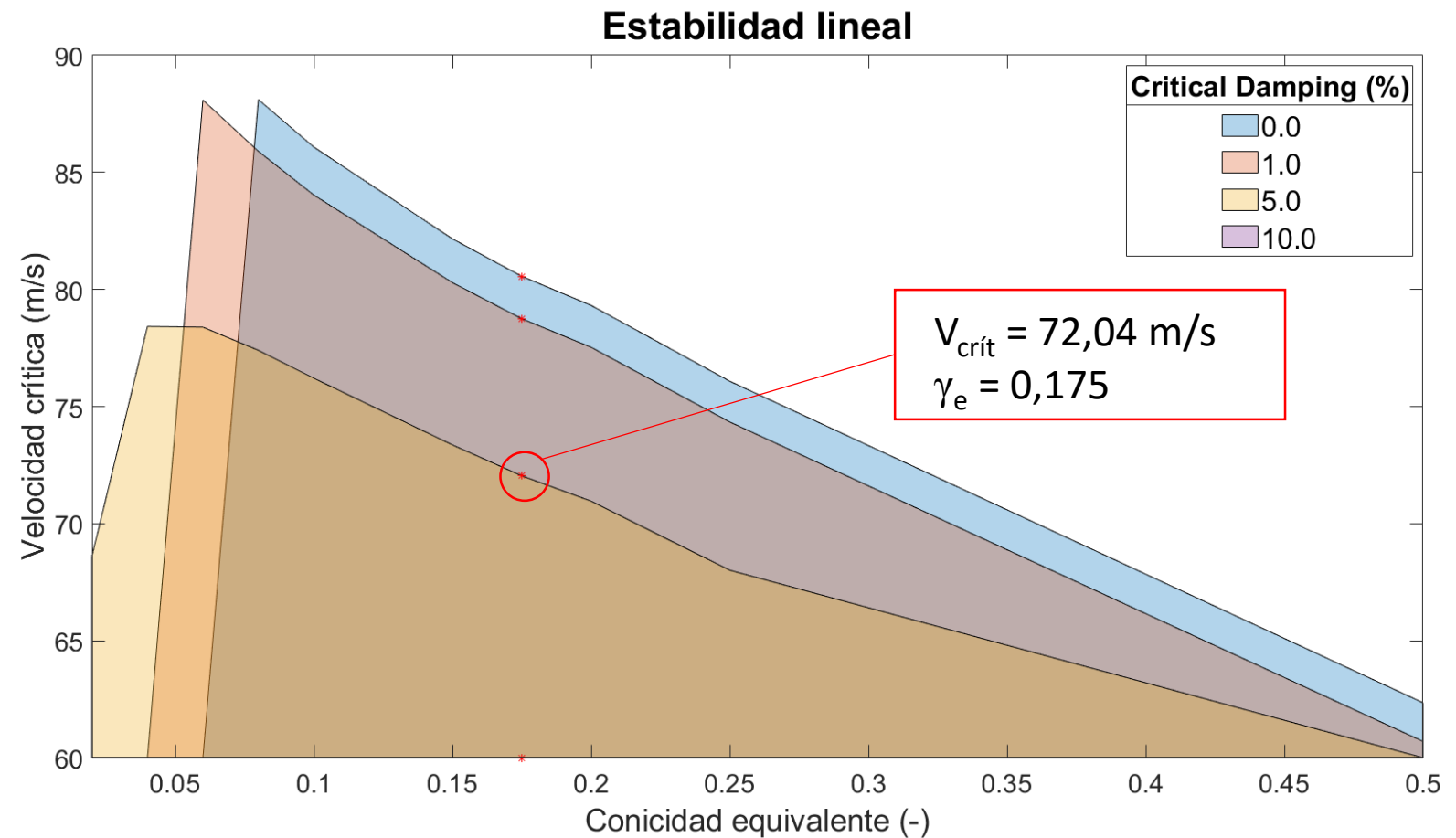
Estabilidad lineal

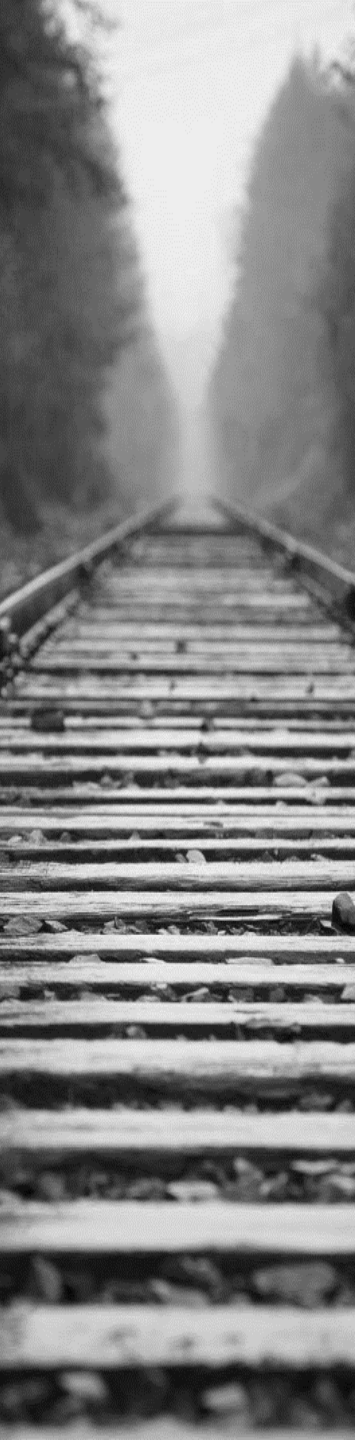
Diagrama de raíces





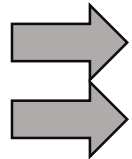
Estabilidad lineal





Estabilidad no lineal

Tres métodos diferentes:



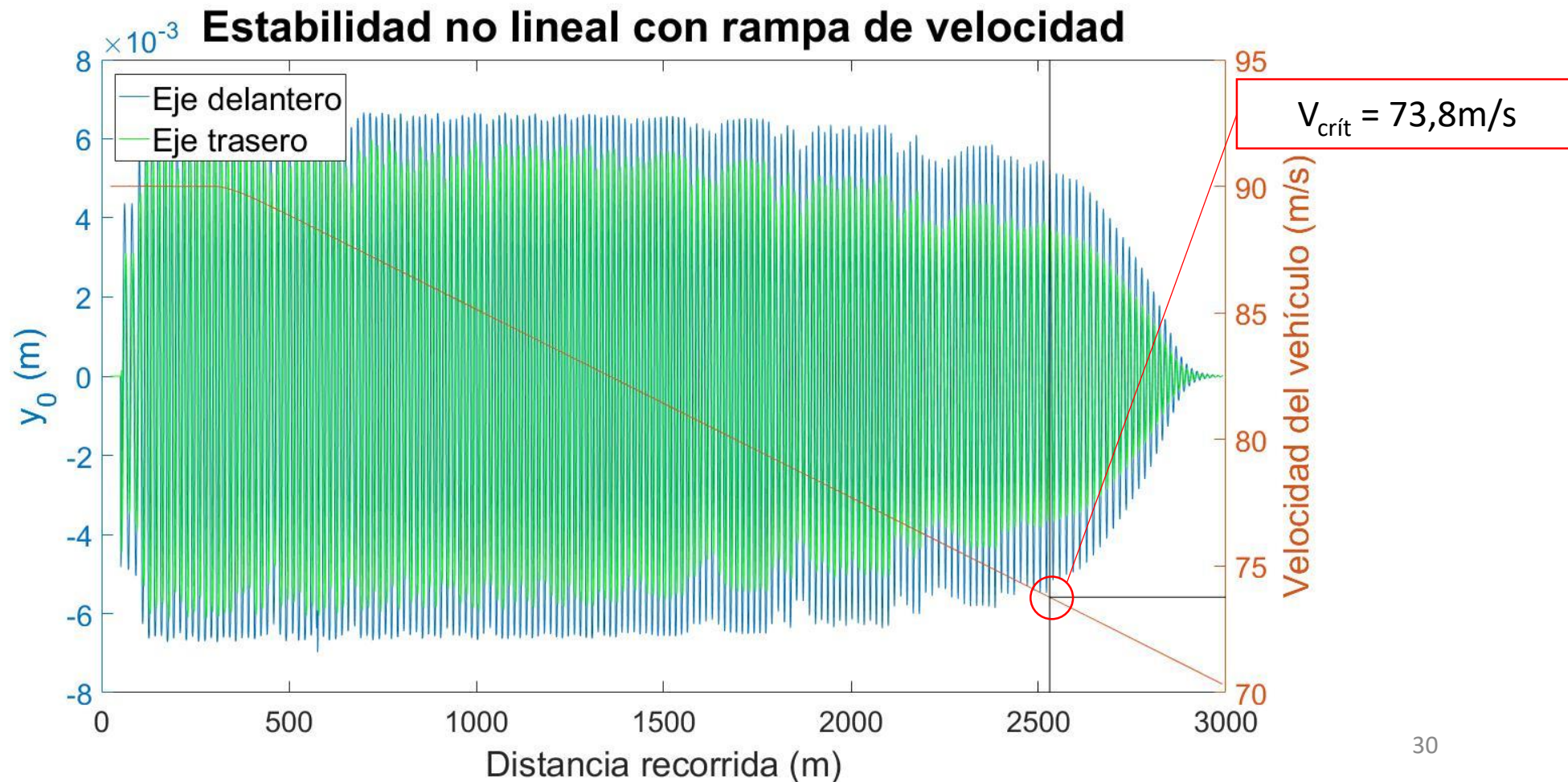
- Sin excitación, vía ideal, reduciendo la velocidad.
- Perturbación en vía, con velocidad constante, variando la fuente de excitación.
- Irregularidad estocástica en vía, velocidad constante.

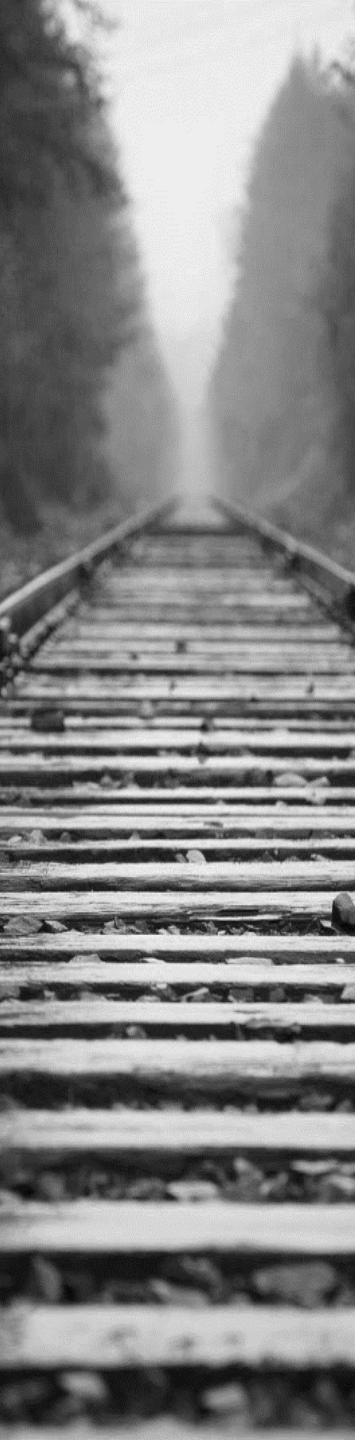
Escenarios de análisis:

- Amplitud de la perturbación
- Geometría de la perturbación
- Software de análisis
- Flexibilidad

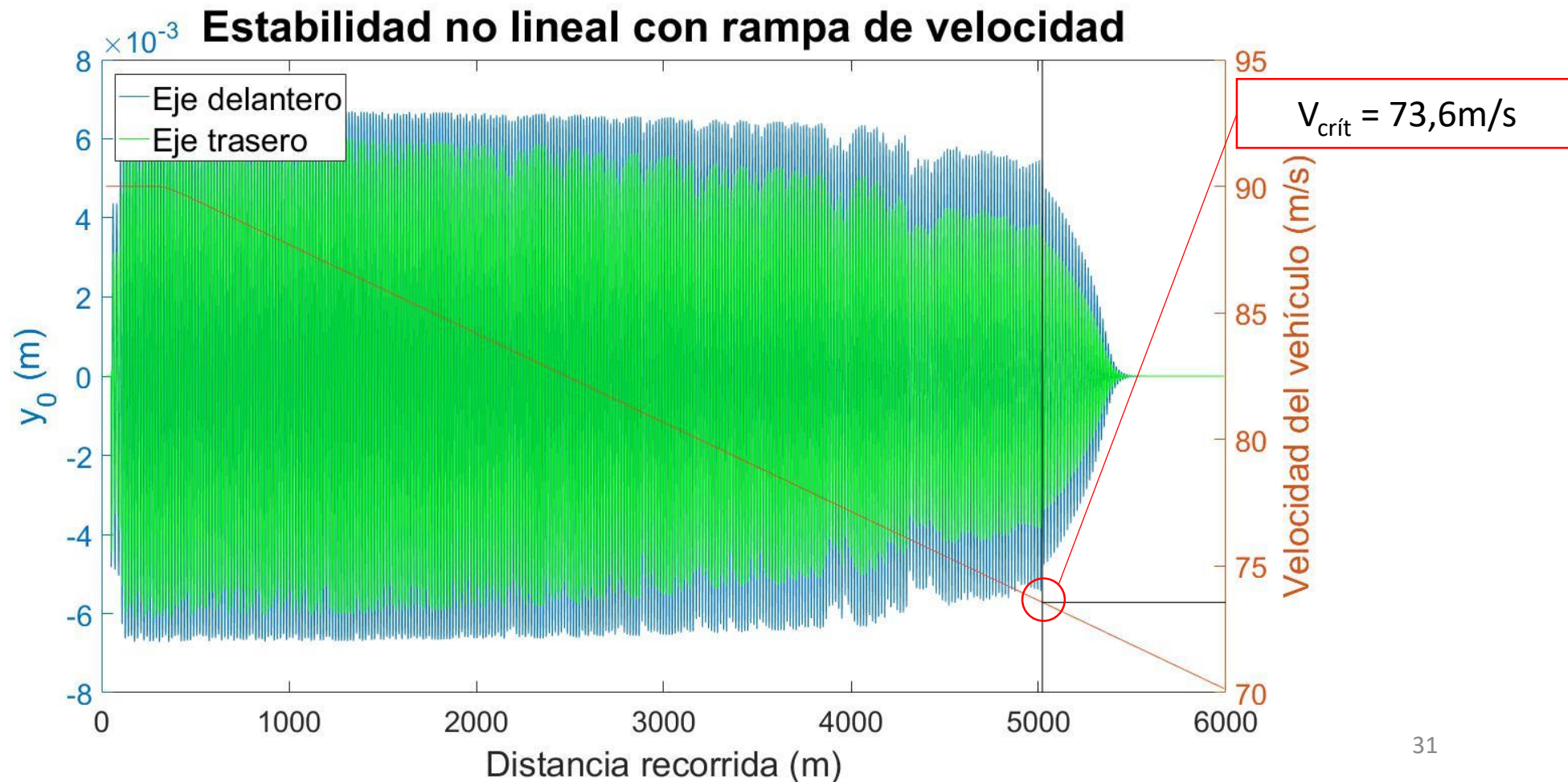


Vía ideal, velocidad decreciente



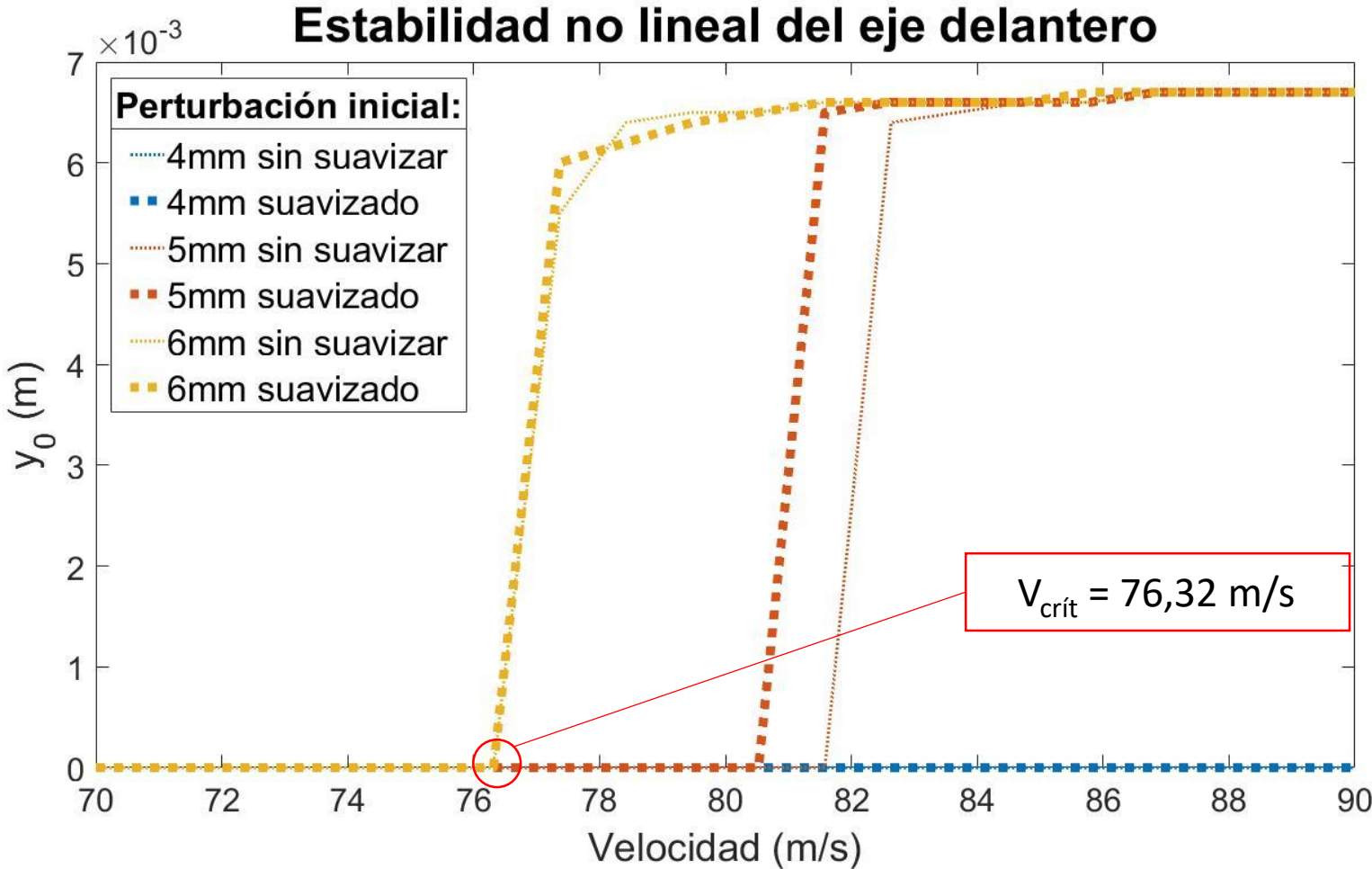


Vía ideal, velocidad decreciente





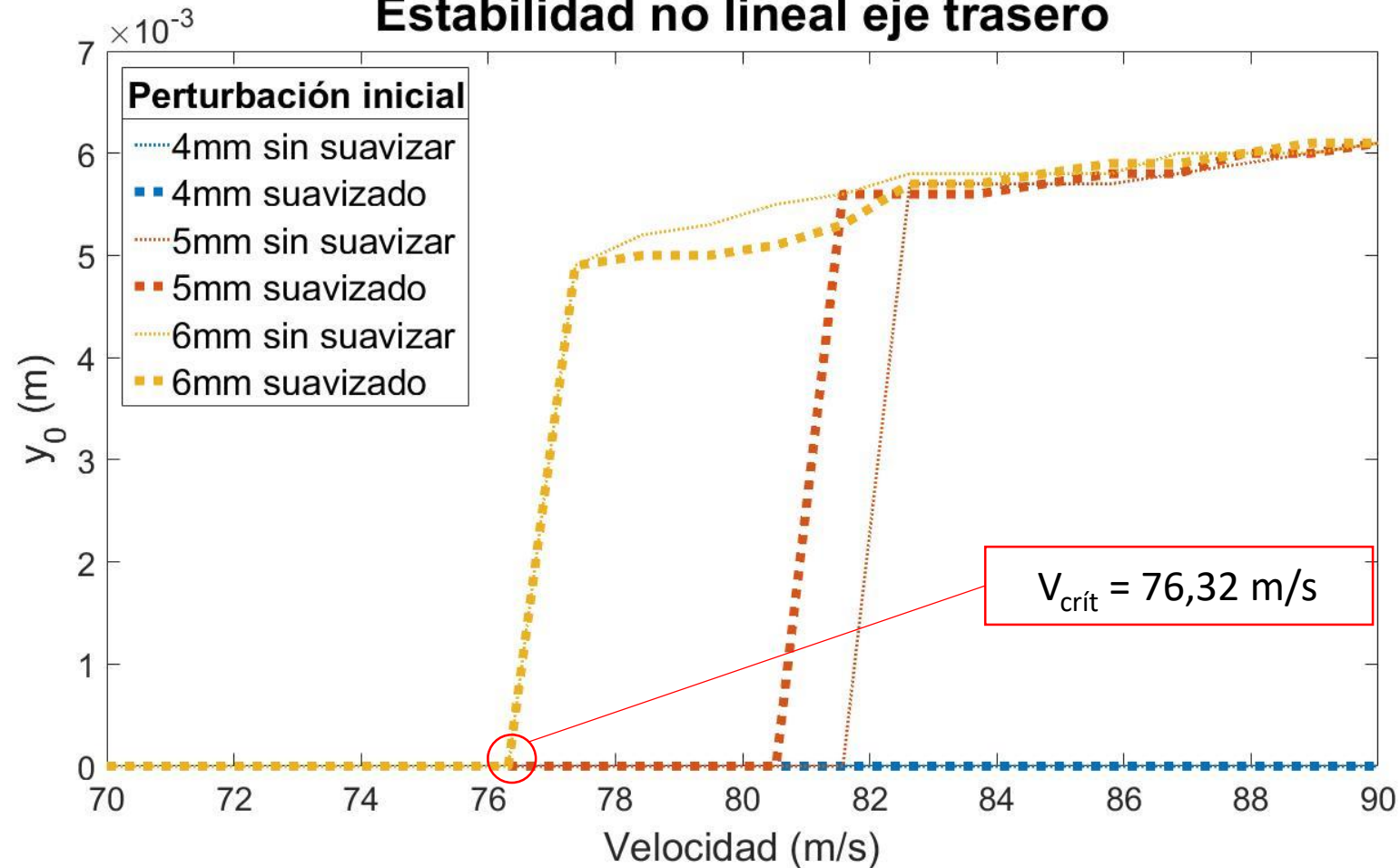
Amplitud de la perturbación





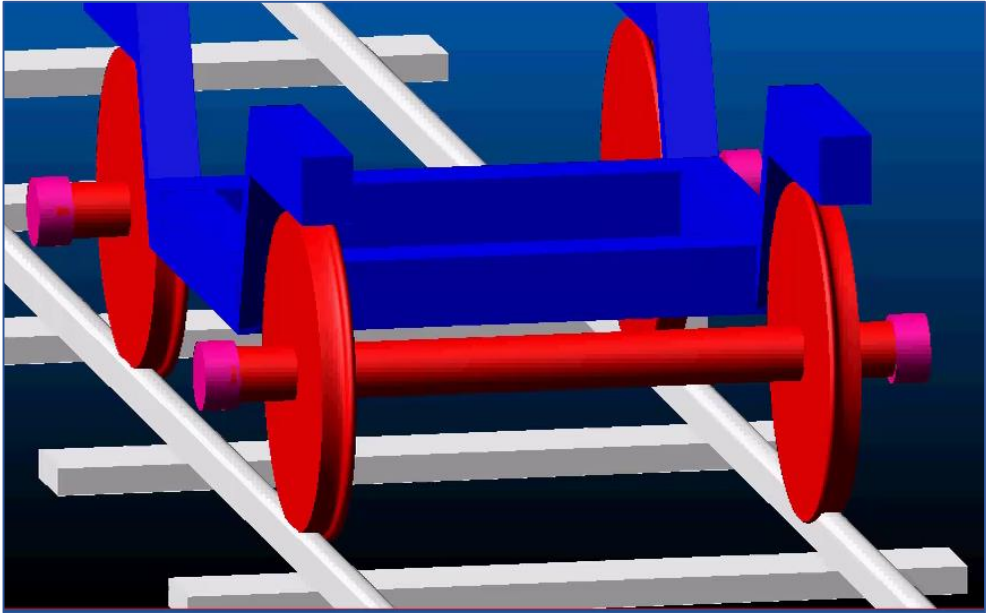
Amplitud de la perturbación

Estabilidad no lineal eje trasero

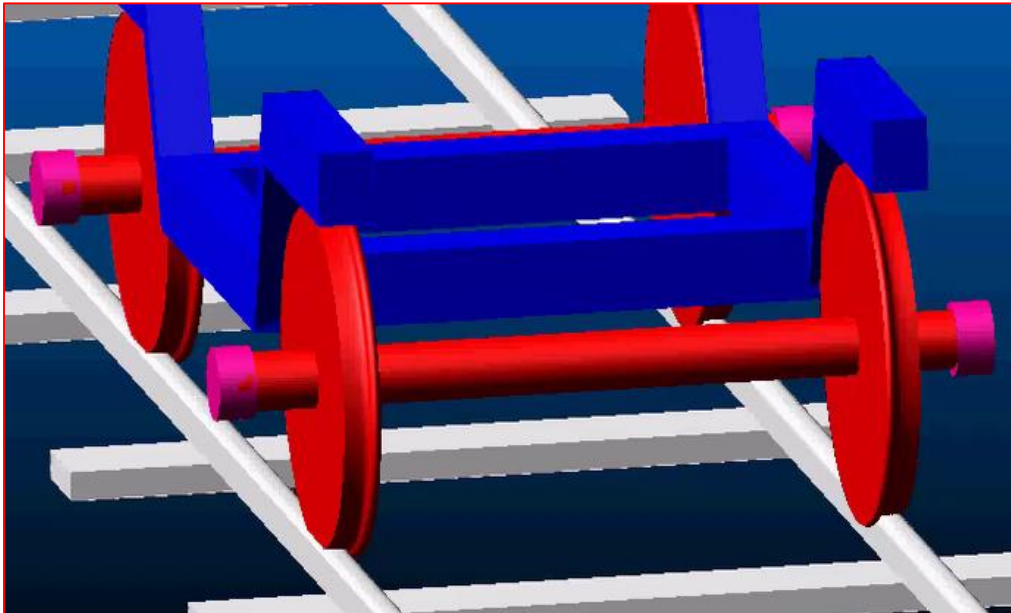




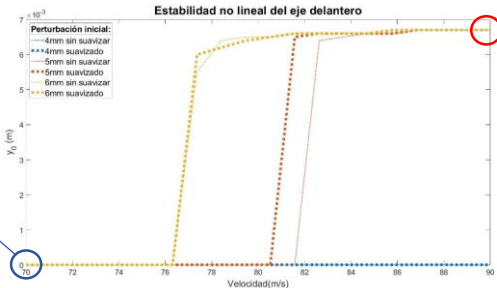
Amplitud de la perturbación

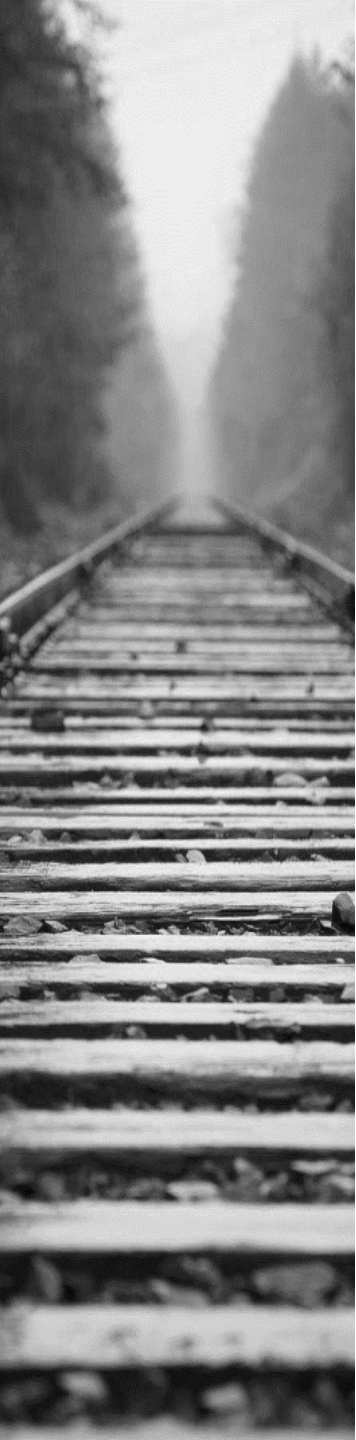


V = 70m/s



V = 90m/s





Introducción

Modelos matemáticos

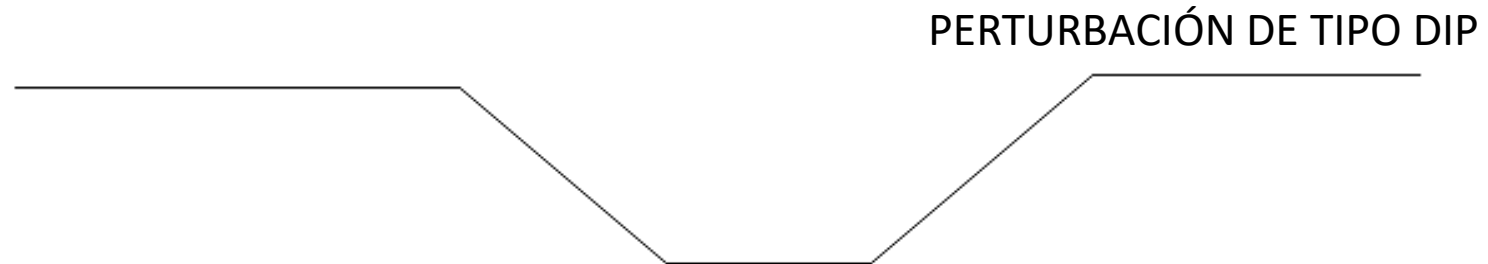
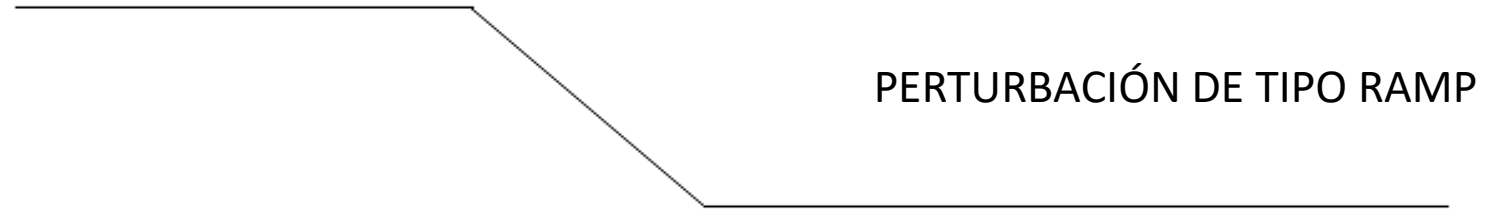
Antecedentes

Validación de resultados

Análisis de estabilidad

Conclusiones

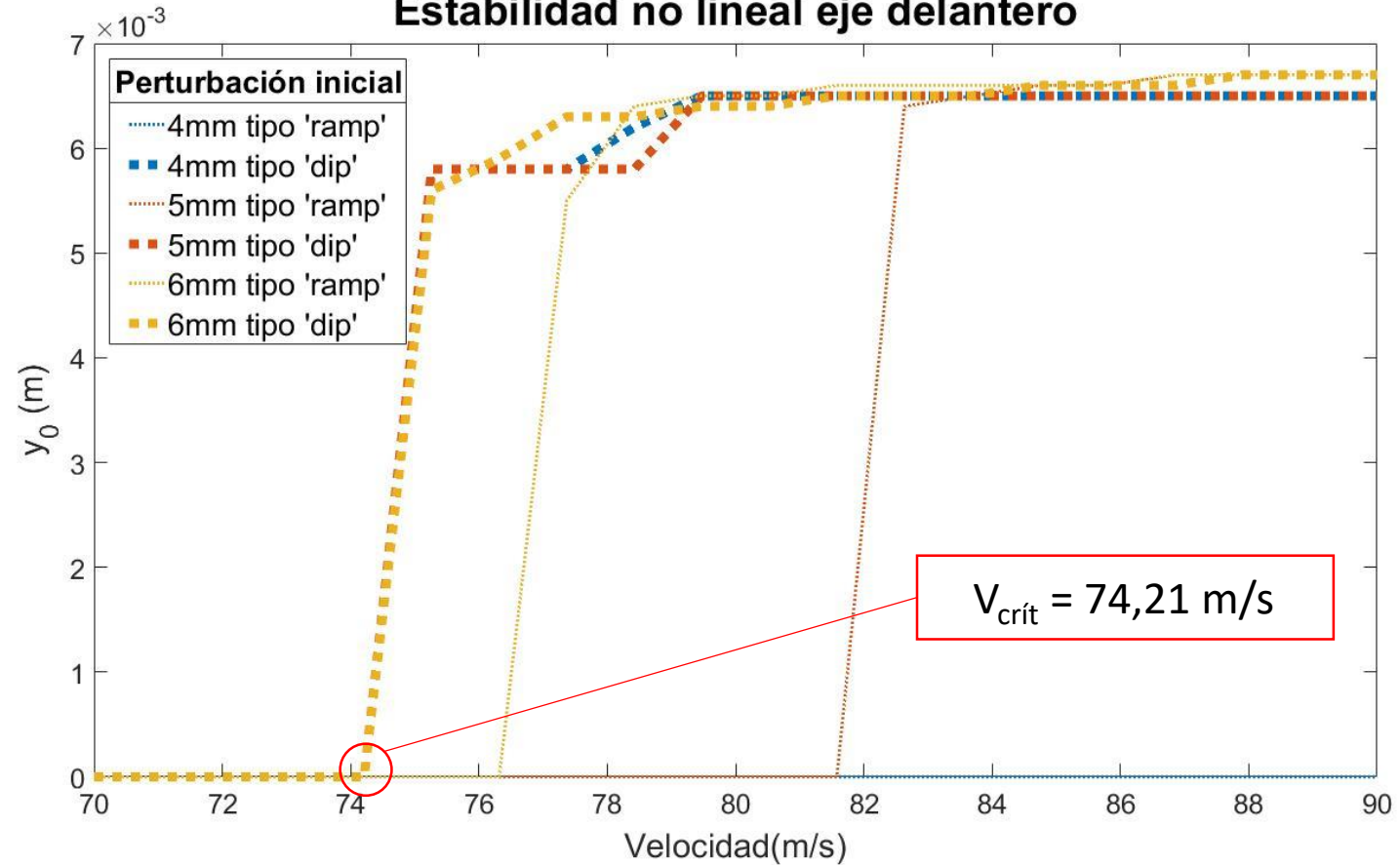
Geometría de la perturbación

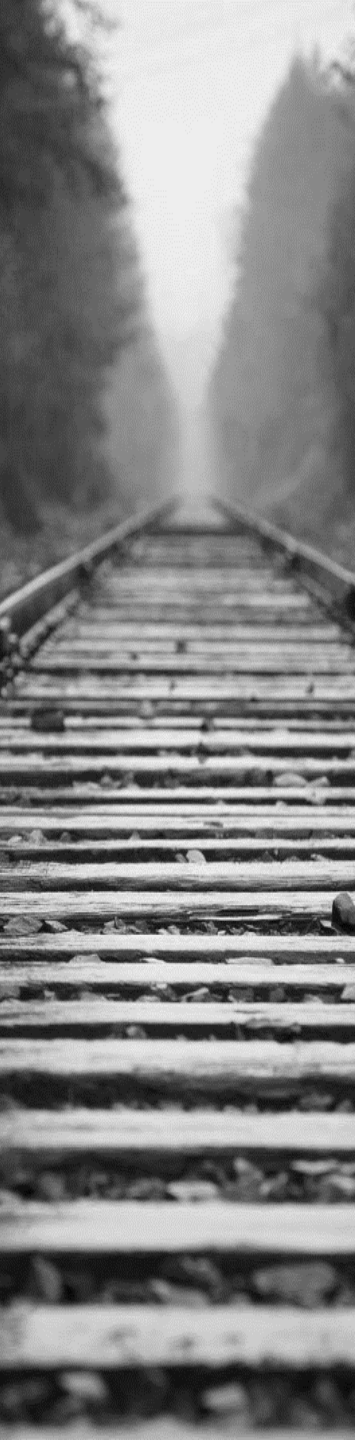




Geometría de la perturbación

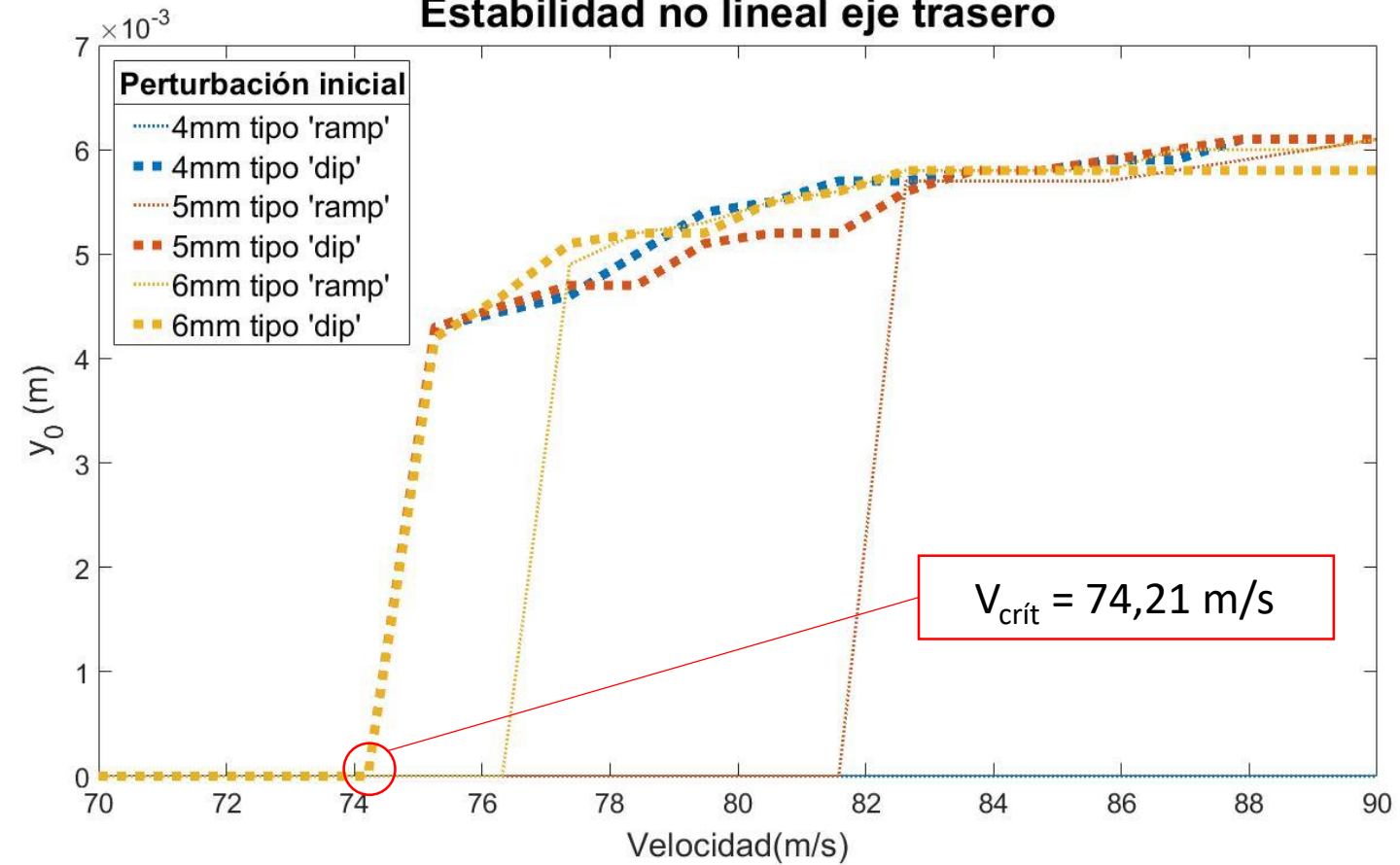
Estabilidad no lineal eje delantero





Geometría de la perturbación

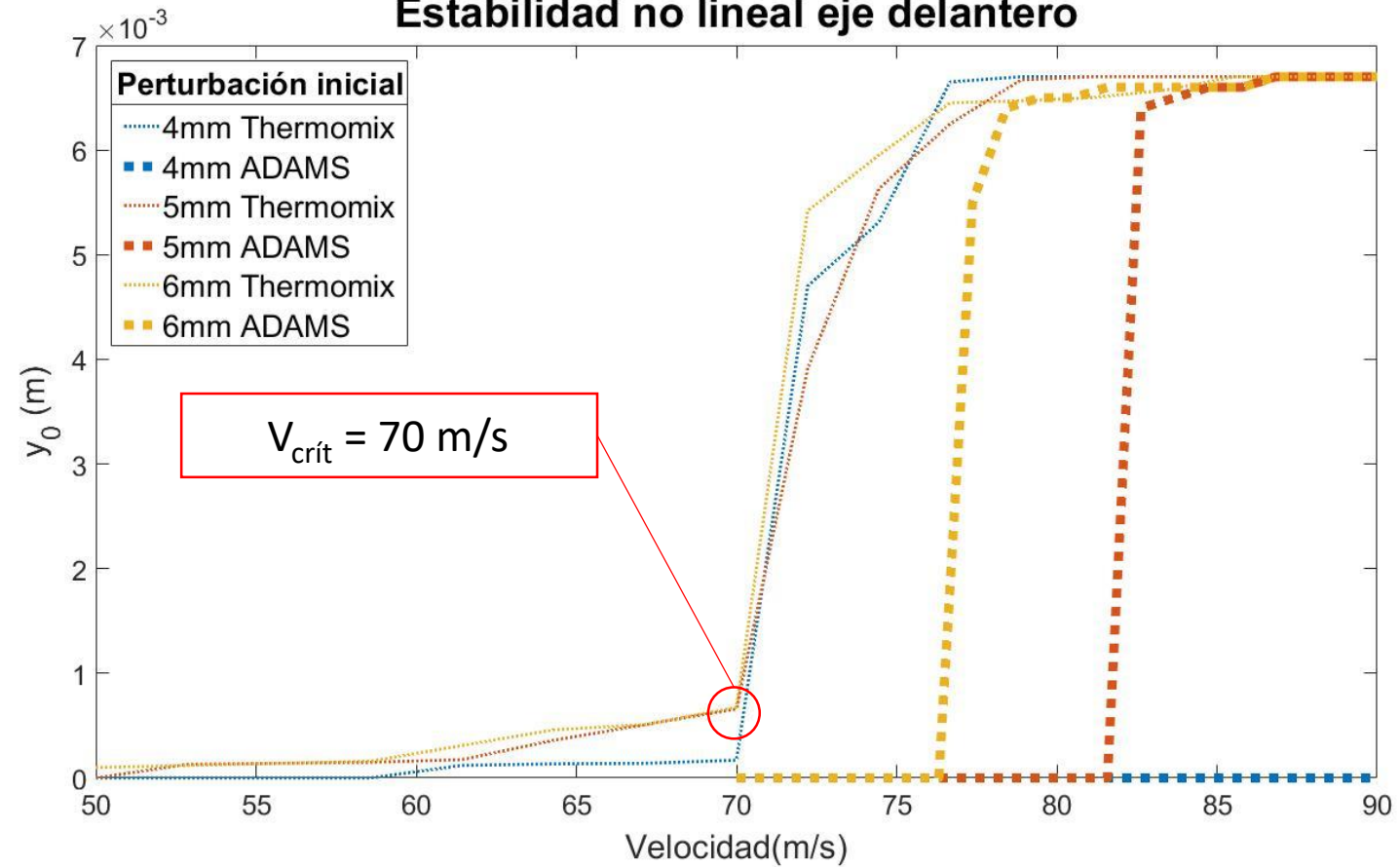
Estabilidad no lineal eje trasero





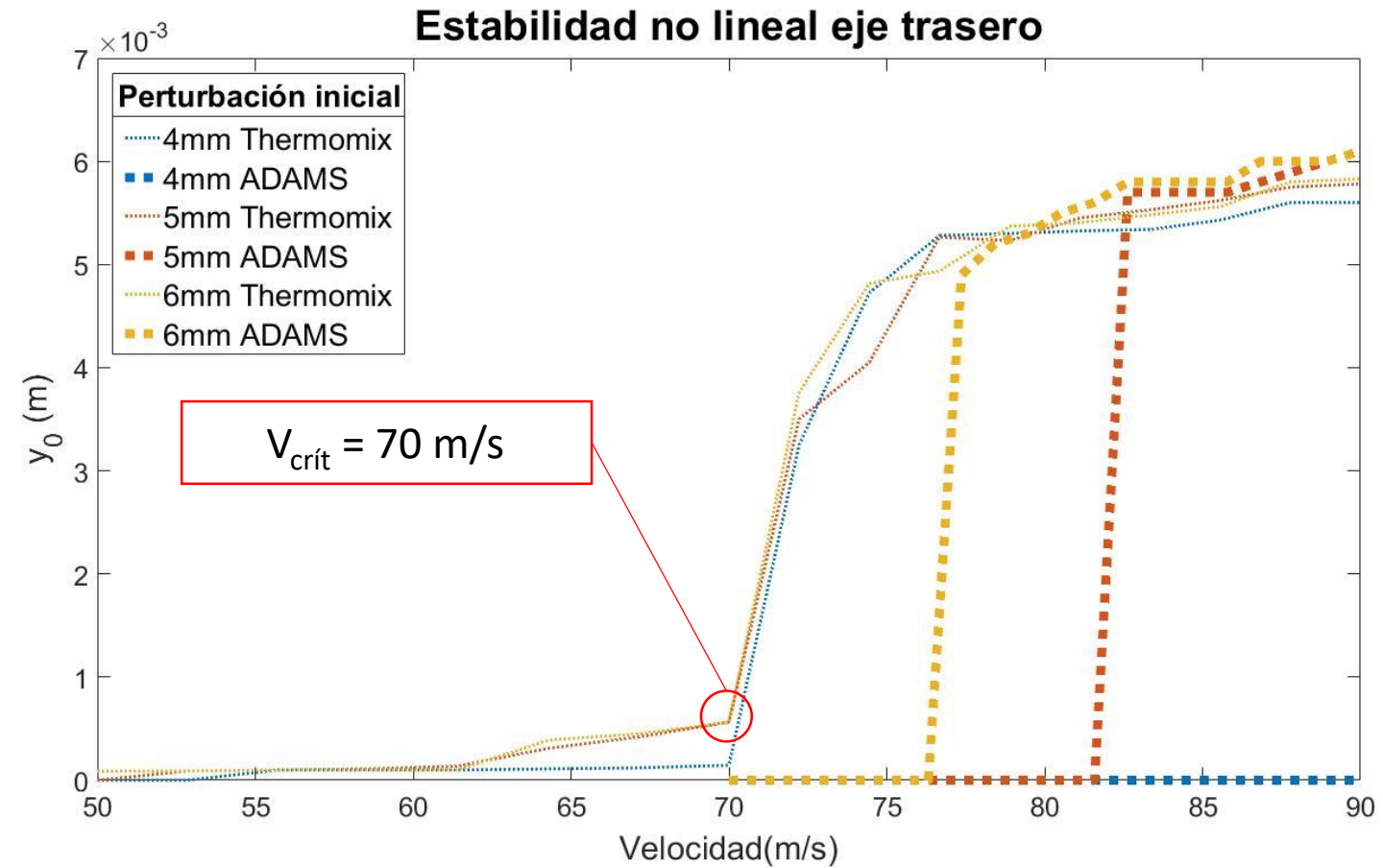
Software de análisis

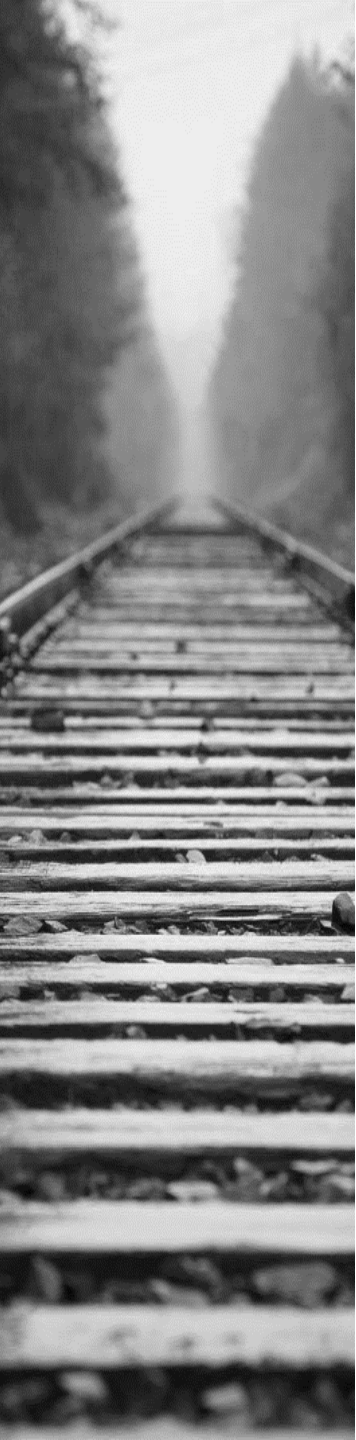
Estabilidad no lineal eje delantero



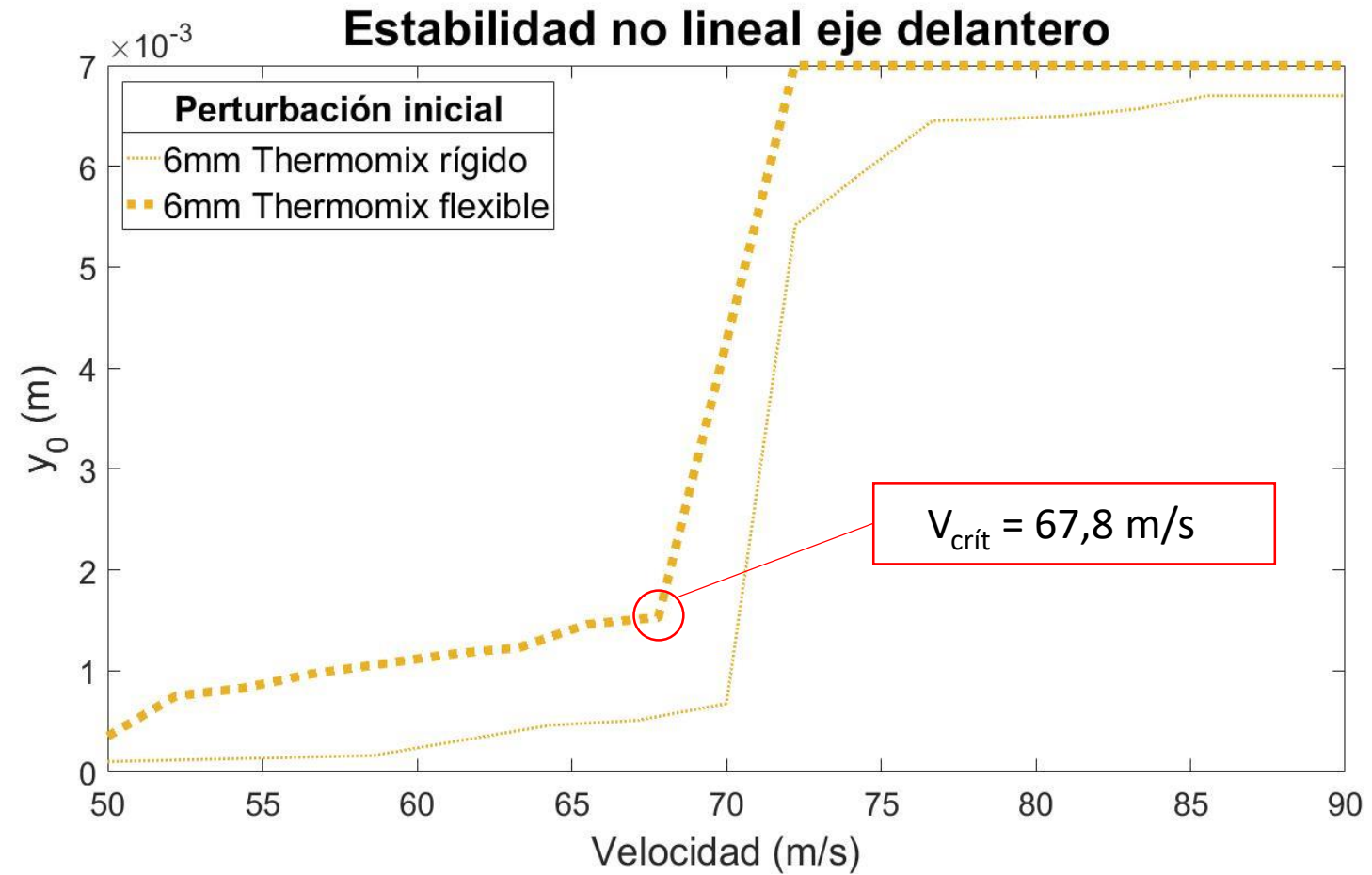


Software de análisis





Flexibilidad

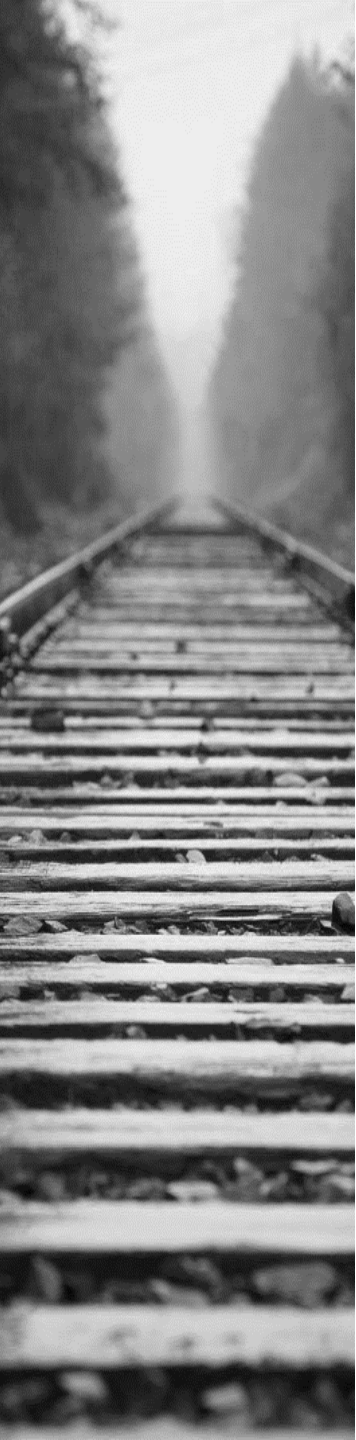




Conclusiones

Análisis	$v_{\text{crít}}$ (m/s)
Estabilidad lineal	72,0
Velocidad decreciente	73,0
Perturbación de tipo 'dip'	76,3
Perturbación de tipo 'ramp'	74,0
Thermomix rígido	70,0
Thermomix flexible	67,8

- Resultados para un conjunto rueda carril
- Importancia del modelo de contacto
- Necesidad de diversos análisis y test de aceptación
- Resultados de flexibilidad no satisfactorios. Necesidad de más análisis
- Introducción de flexibilidad en *Adams VI-Rail*
- Estabilidad en curva



MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN