

Desarrollo de un simulador dinámico para vehículos de emergencias en terreno irregular

Mario Fraga Fernández

Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol

Septiembre de 2024



ANTECEDENTES

Proyecto ATEMPO

- Objetivo: creación de un *simulador dinámico* para *vehículos de emergencias en terrenos deformables*.
- Obtención del *consumo energético*.
- *Capacidad* del vehículo para realizar determinadas *maniobras*.

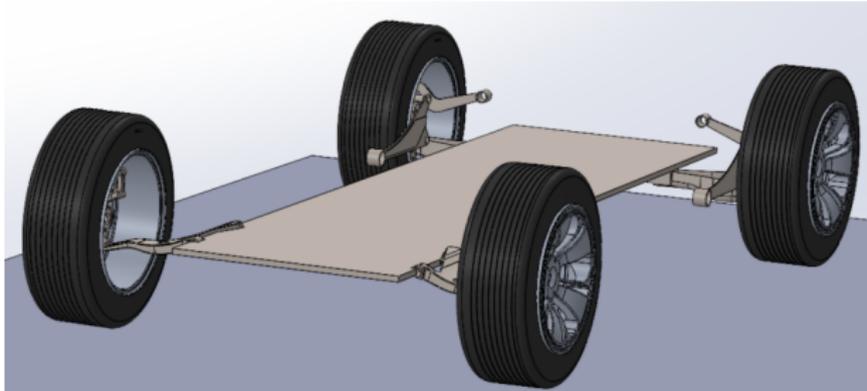


Requerimientos del simulador

- 1 Modelo de vehículo → *Toyota Rav-4*.
- 2 Modelo de suelo → *Terramechanics*.
- 3 Cálculo de las ecuaciones del movimiento → Biblioteca BioLim.

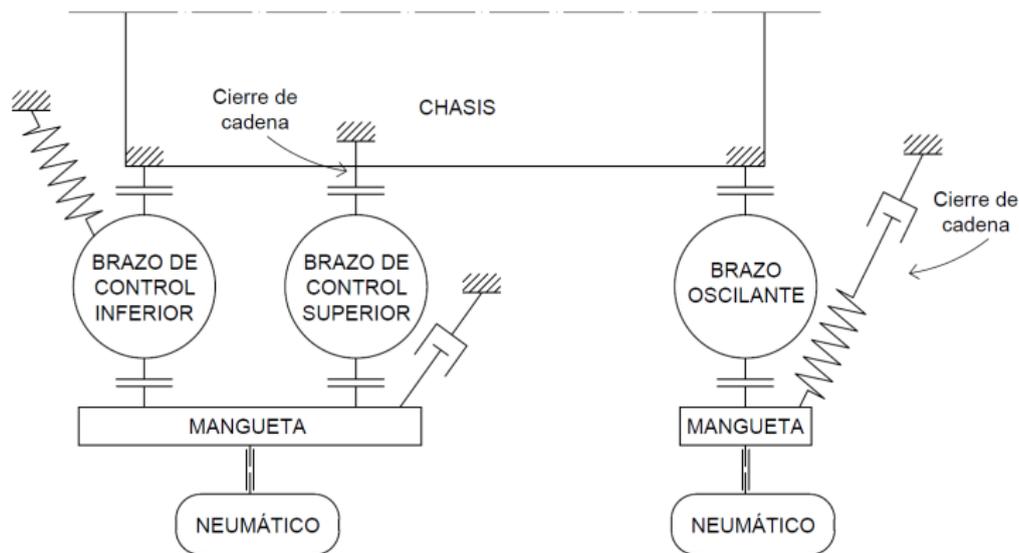
MODELO DE VEHÍCULO

- Creación del *modelo completo de vehículo*.
- Diferentes *tipologías* para la suspensión delantera y trasera.
- Modelado en *SolidWorks*.

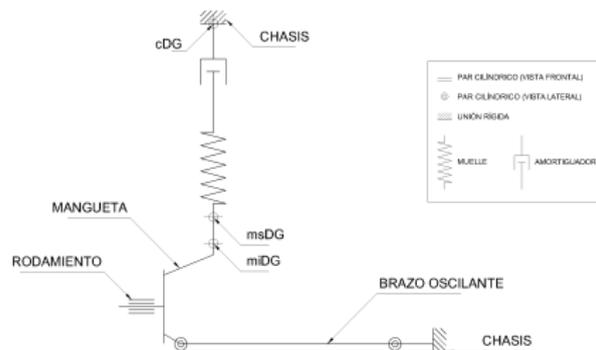


Configuración del vehículo

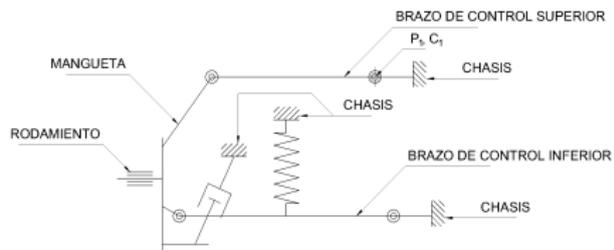
- BioLim → Definición de mecanismos de cadena abierta mediante archivos XML.



Cadena abierta Suspensión delantera

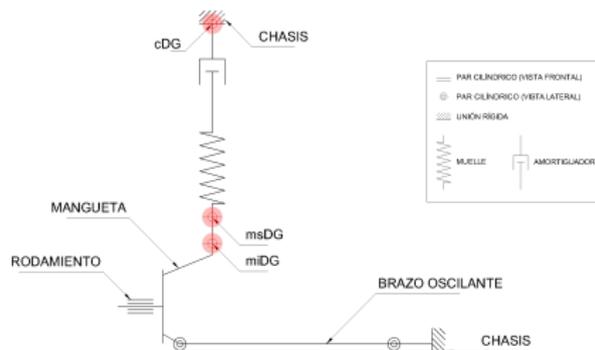


Cadena cerrada Suspensión trasera

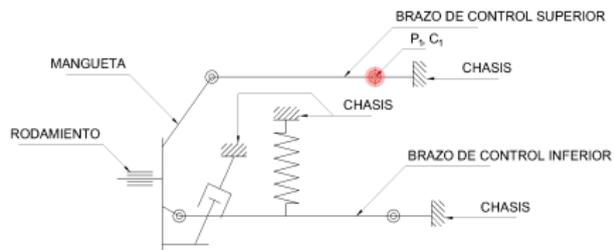


Restricciones (2)

Suspensión delantera Puntos alineados



Suspensión trasera Puntos coincidentes



MODELOS DE TERRENO

- *Modelo de terreno indeformable* (modelo de fricción seca).
- *Modelo de terramechanis de Wong.*
 - Tierra arenosa.
 - Parámetros de Howard Jones con mayor K y k_{ϕ} .
 - Arena húmeda.
- *Modelo de fuerzas laterales de Ishigami.*

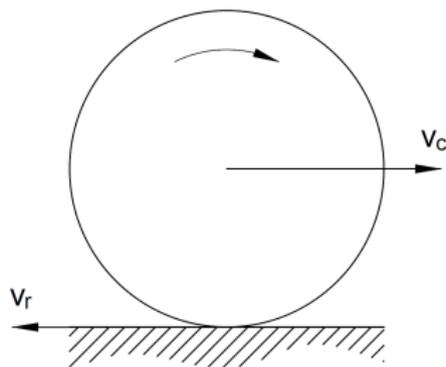
Definición de deslizamiento

- Relación de velocidades:

$$i = \frac{v_r - v_c}{v_r} \quad (1)$$

v_r → Velocidad lineal de un punto de la rueda situado a una distancia igual al radio de la misma desde su centro.

v_c → Velocidad lineal del centro de la rueda.



MODELO DE TERRENO INDEFORMABLE

Terreno indeformable (1)

- Verificación del funcionamiento de muelles y amortiguadores.
- Comparación con el resto de modelos.

Terreno indeformable (2)

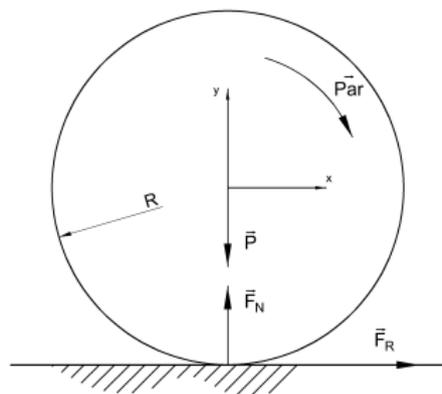
- Modelo de fuerza normal \rightarrow fuerza vertical.

$$\vec{F}_N = k \cdot \text{dist} - c \cdot v_z \quad (2)$$

- Modelo de fuerza tangencial \rightarrow fuerza de rozamiento y par resistente.

$$\vec{T}_{TOTAL} = \vec{T}_{MOTOR} - \vec{T}_{RESISTENTE} \quad (3)$$

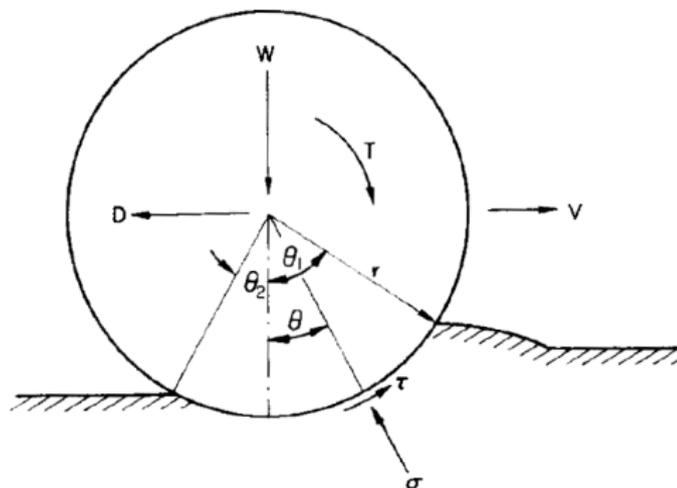
$$\vec{F}_R = \frac{M \cdot R}{M \cdot R^2 + I} \cdot \vec{T}_{MOTOR} \quad (4)$$



MODELOS DE TERRENO DEFORMABLE

- *Modelo de terramechanics de Wong.*
 - Terreno horizontal.
 - Terreno con pendiente de subida.

- *Modelo de fuerzas laterales de Ishigami.*



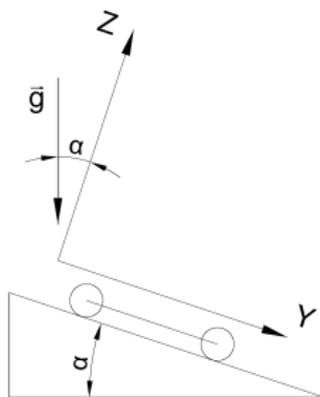
| ENTRADAS | SALIDAS |
|-----------|-------------------|
| Par motor | Fuerza vertical |
| | Fuerza horizontal |
| | Par resistente |

- No preparado para estado transitorio \rightarrow *Parámetros de suavizado*.

Simulación en terreno con pendiente de subida

- Objetivo: simular en terreno con pendiente arbitraria.
- Adición al modelo de Wong.
- Inclinación del terreno \rightarrow *Cambio en la gravedad.*

$$\vec{g} = \{0.0, g \cdot \sin \alpha, g \cdot \cos \alpha\} \quad (5)$$

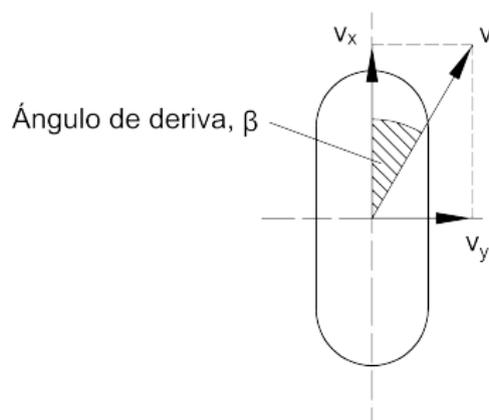


Modelo de fuerzas laterales (giro) de Ishigami

- Modificación directa del *ángulo de deriva*.

$$\beta = \arctan \frac{v_y}{v_x} \quad (6)$$

| ENTRADA | SALIDA |
|--------------------------|------------------------|
| Ángulo de deriva β | Fuerza lateral de giro |



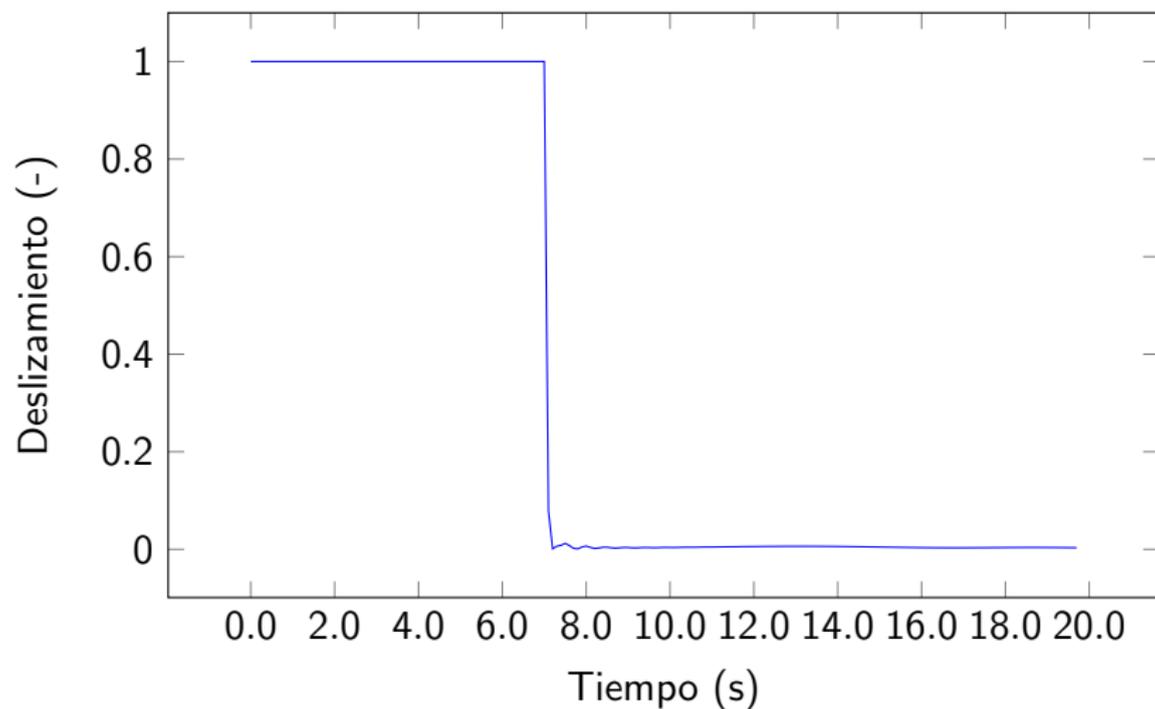
- Disponemos de todos los datos del simulador: par, velocidad angular de las ruedas, etc. → Cálculo directo del trabajo.

$$P_i = T_i \cdot \omega_i \quad (7)$$

$$W = \sum_{i=0}^N P_i \cdot \Delta t \quad (8)$$

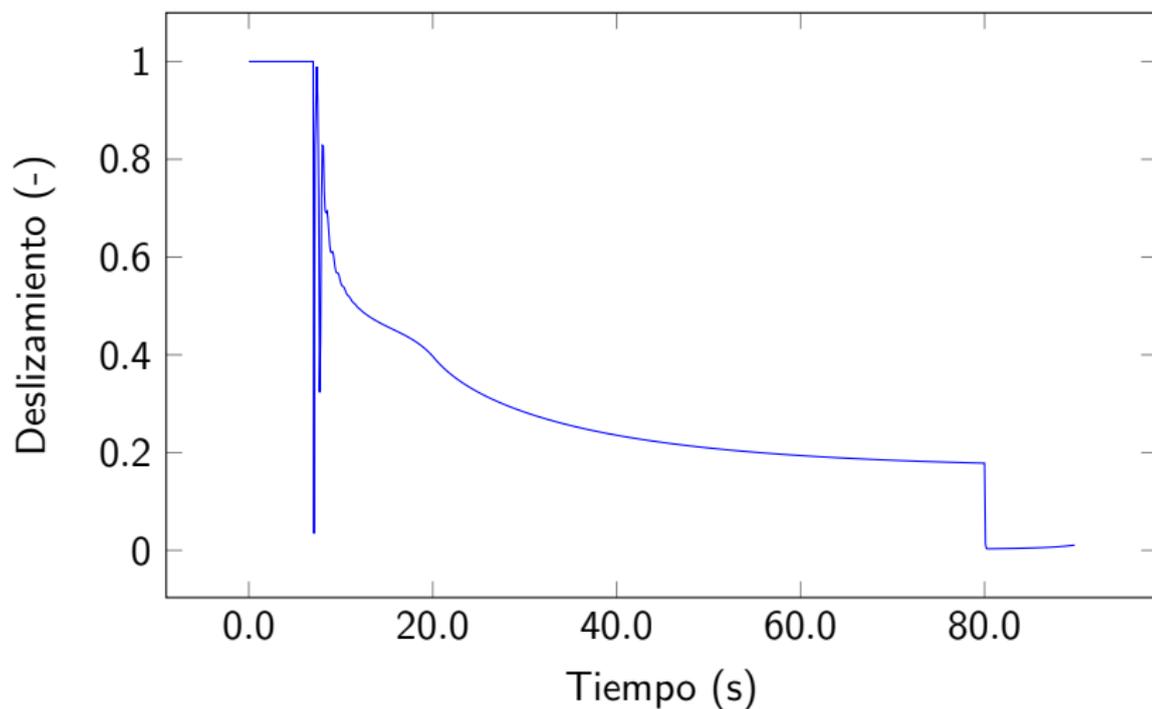
RESULTADOS

Resultados: *deslizamiento* (1)



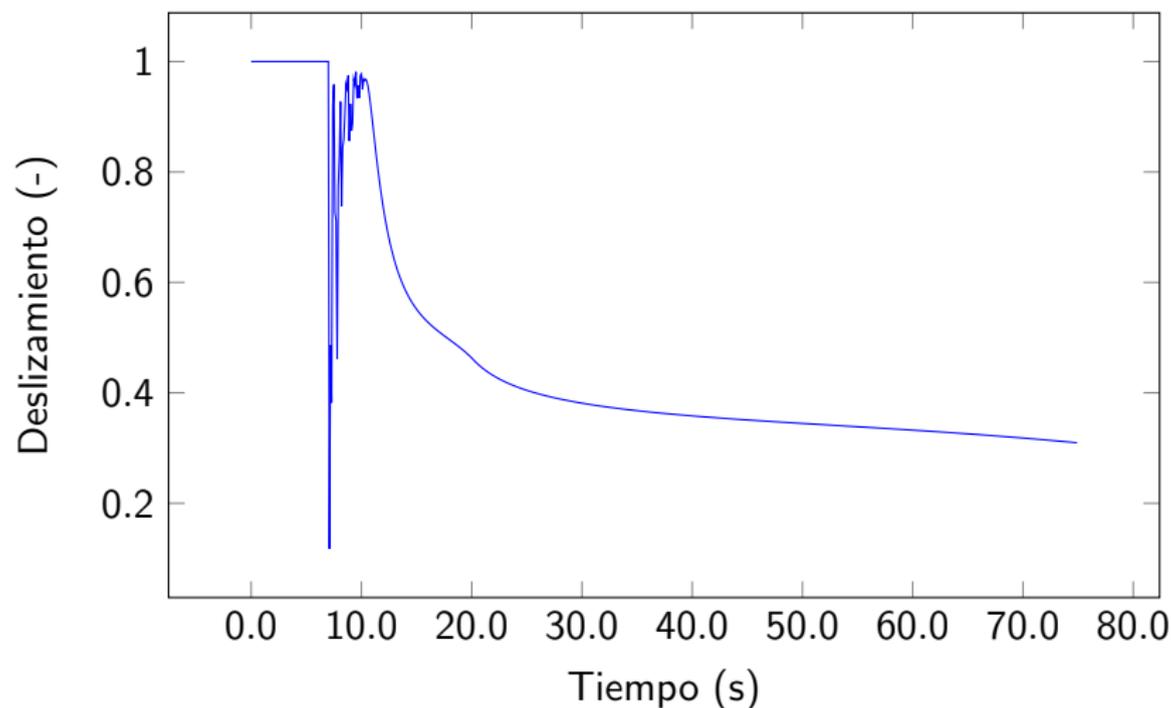
Deslizamiento en terreno indeformable

Resultados: *deslizamiento* (2)



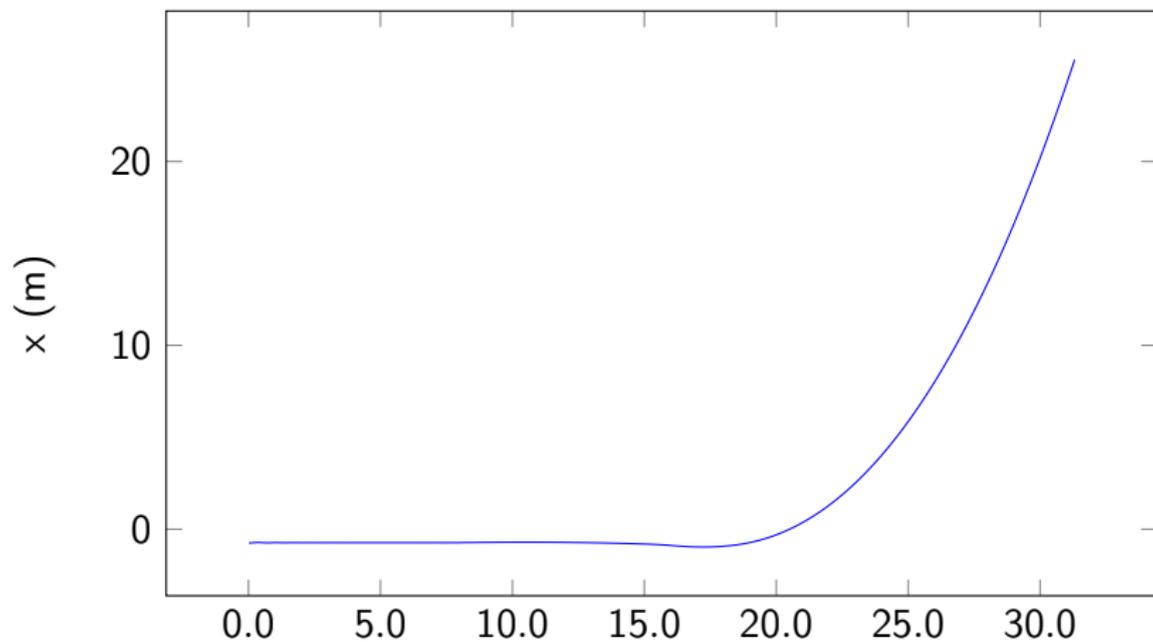
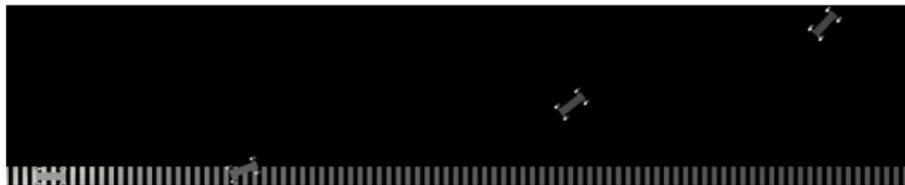
Deslizamiento en terreno deformable (tierra arenosa)

Resultados: *deslizamiento* (3)

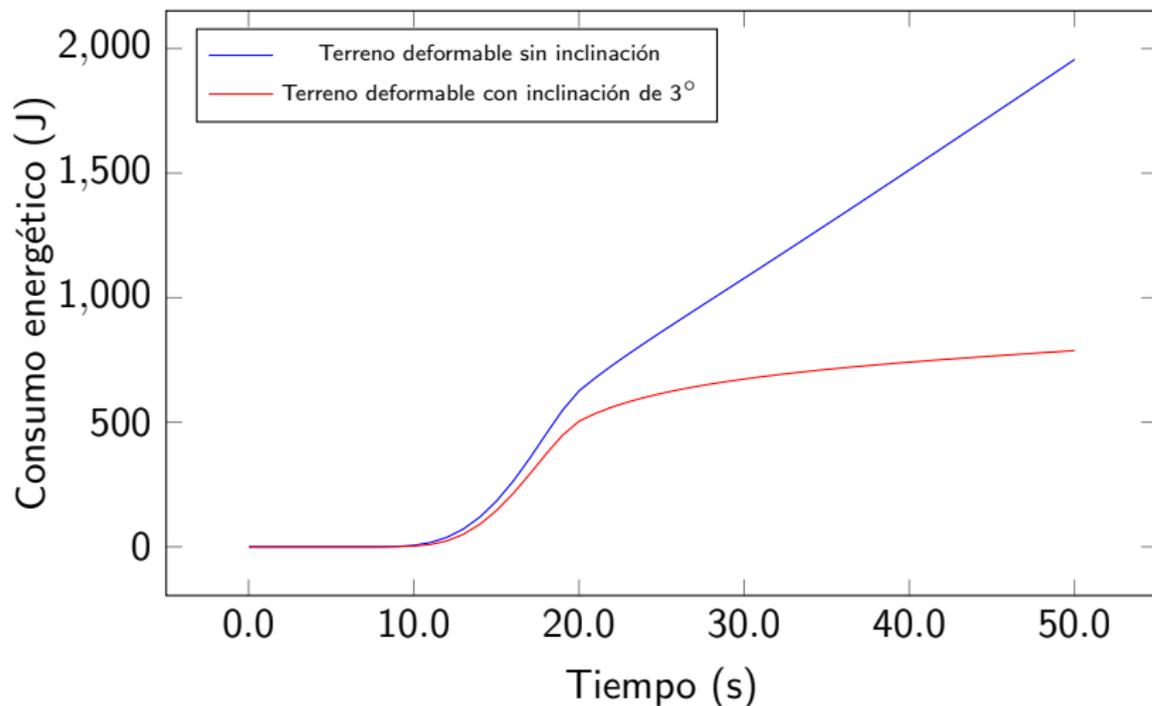


Deslizamiento en terreno deformable con inclinación de 3° (tierra arenosa)

Resultados: *fuerza lateral*



Resultados: *consumo energético* (1)



Consumo energético en terrenos deformables

- Caracterización y creación de un **modelo completo de vehículo**.
- Definición del modelo de vehículo en la **librería BioLim**.
- Simulación en **terreno indeformable**.
- Implementación de un **modelo de terreno deformable**.
- Implementación de un modelo de terreno deformable con **pendiente de subida**.
- Implementación de la **dirección del vehículo**.
- Evaluación del **consumo energético**.
- Simulaciones en **tiempo real** → Posibilidad de ser empleado de forma **interactiva** o como componente de sistemas más complejos.

- Incorporar la modelización cinemática de la dirección → Sustitución del control del ángulo de deriva por la *condición de Ackermann*.
- Aumentar los casos de deslizamiento → *frenada y remolque*.
- Añadir un control de velocidad → Programación de un *acelerador* (control interactivo).

¡Muchas gracias por su atención!

¿Preguntas?