

Trabajo Fin de Grado

Modelización y simulación de la reductora de propulsión de un buque mediante técnicas de dinámica multicuerpo con contacto y fricción

Autor:

Juan Manuel Sixto
Sánchez

Tutor:

Daniel Dopico Dopico

Febrero 2020

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidade da Coruña

<http://lim.ii.udc.es>



I. Definición de objetivos y estado del arte

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidade da Coruña

<http://lim.ii.udc.es>



Introducción

Motivación

- Modelar una caja reductora de engranajes helicoidales de un buque a partir de las bibliotecas de dinámica multicuerpo creadas por el LIM y simularla mediante técnicas de dinámica de sistemas multicuerpo.
- Estudiar las fuerzas en el contacto y las relaciones cinemáticas de la reductora.
- Interés de Navantia en este tipo de modelos para calcular magnitudes que ahora no son capaces de obtener.

Objetivos

- Crear una metodología para el modelado, cálculo y simulación de sistemas de engranajes, englobando:
 - Modelado de los elementos del sistema a partir de los planos y datos proporcionados por Navantia.
 - Simulación del sistema en condiciones reales de funcionamiento mediante técnicas de dinámica multicuerpo con contacto.
 - Estudio y cálculo de las relaciones cinemáticas.
 - Estudio y cálculo de las fuerzas de contacto.

Antecedentes

- Problema básico en el diseño: conseguir una distribución uniforme de las fuerzas en la cara de los dientes.
 - Fuerza aplicada en un área pequeña: Picadura
 - Fuerzas con diferente dirección: Martilleo
- Problemas que se corrigen con engranajes helicoidales.
- Navantia utiliza el software KISSsoft para el cálculo.

II. Metodología

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidade da Coruña

<http://lim.ii.udc.es>

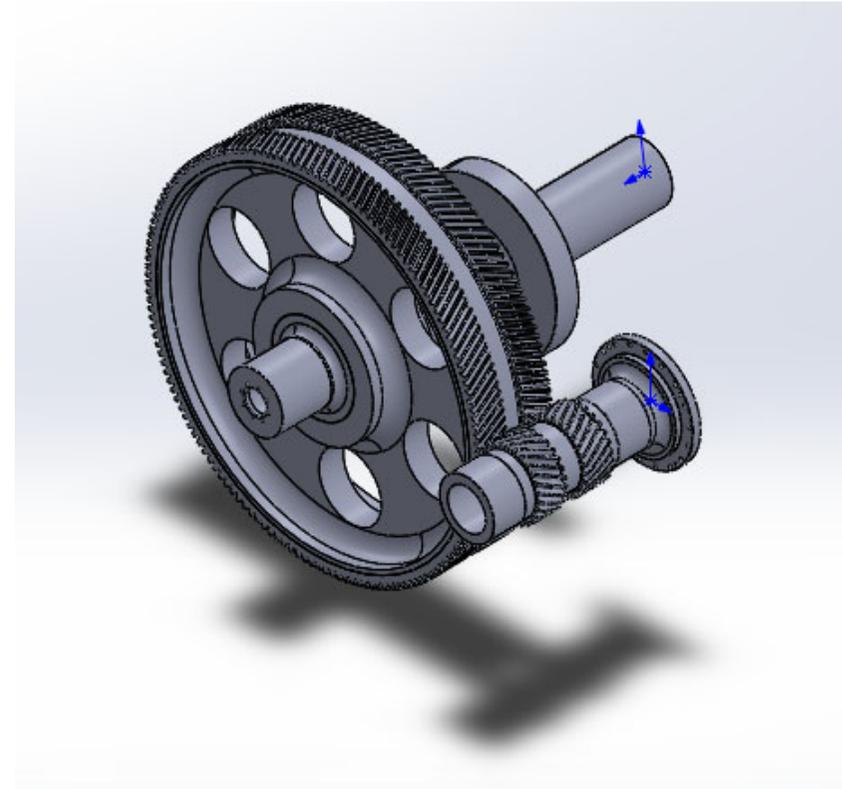


Descripción del sistema

- Caja reductora de un buque proporcionada por Navantia.
- Propulsión mediante un motor Diésel de 4 tiempos de medias o altas revoluciones.
- Reductora de una etapa.
- Engranajes dobles helicoidales (también llamados “de espina de pescado”) tallados en los ejes del buque.
- Sistema típico en navíos convencionales.

Parámetros

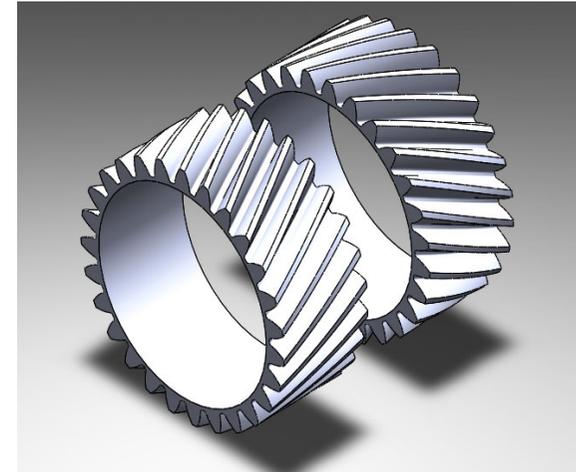
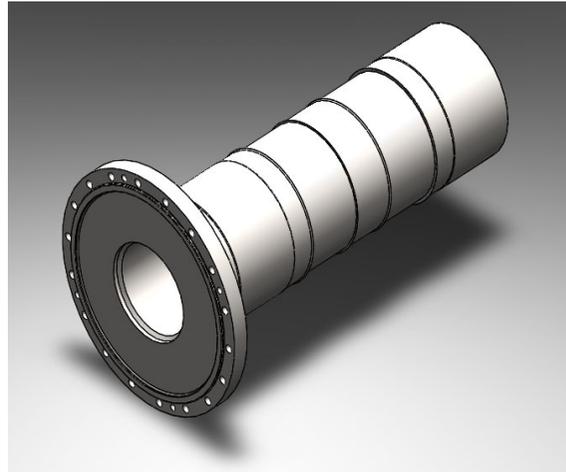
- Dientes: 27 y 151.
- Modulo 10 mm.
- Ángulo de presión 20° .
- Ángulo de hélice $27,12^\circ$.
- Relación de transmisión 0,1788.
- Ancho de diente 135 mm.
- Distancia entre ejes 1000 mm.



Modelo multicuerpo del sistema

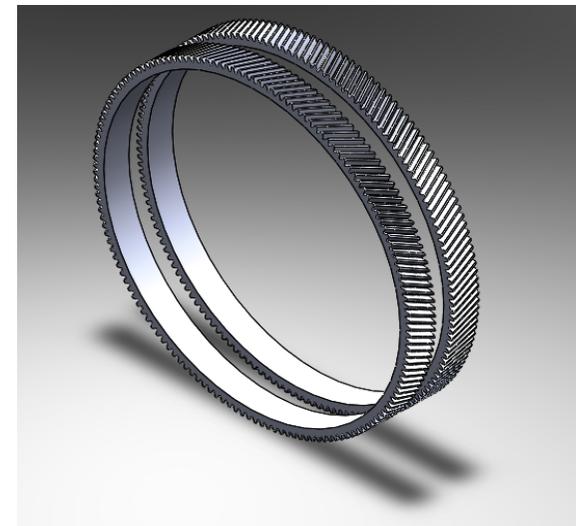
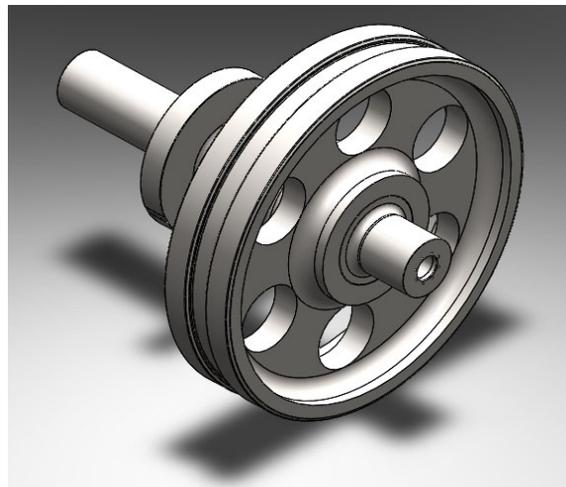
- **2 sólidos en el modelo:**

- Piñón.
- Rueda.



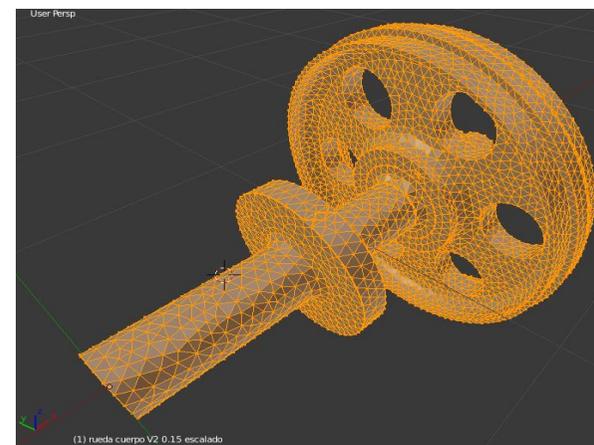
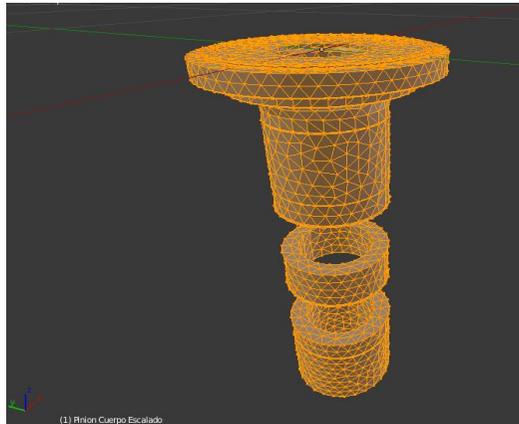
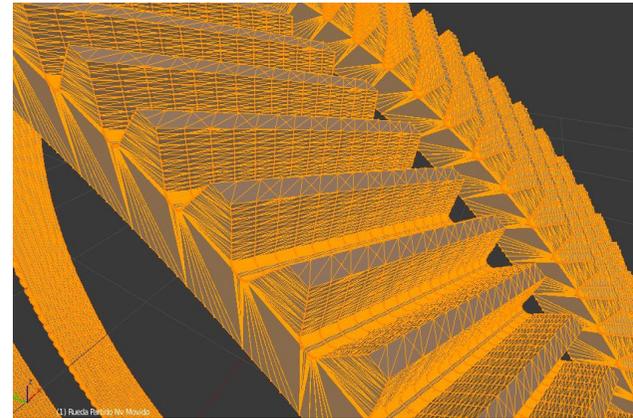
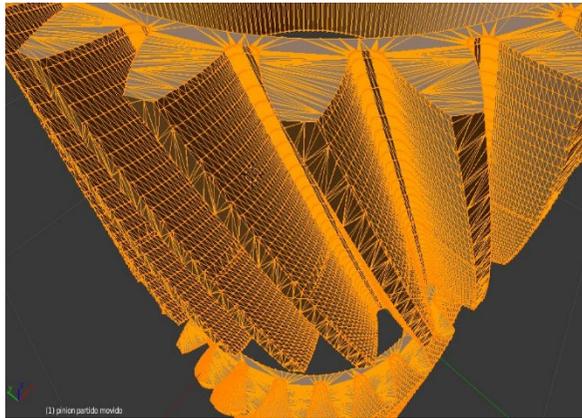
- **4 archivos CAD 3D:**

- Eje piñón + dentado piñón.
- Eje rueda + dentado rueda.

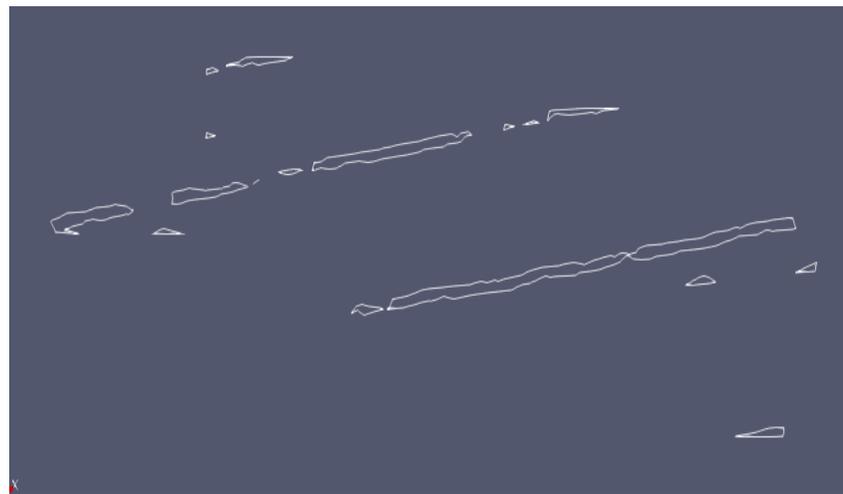
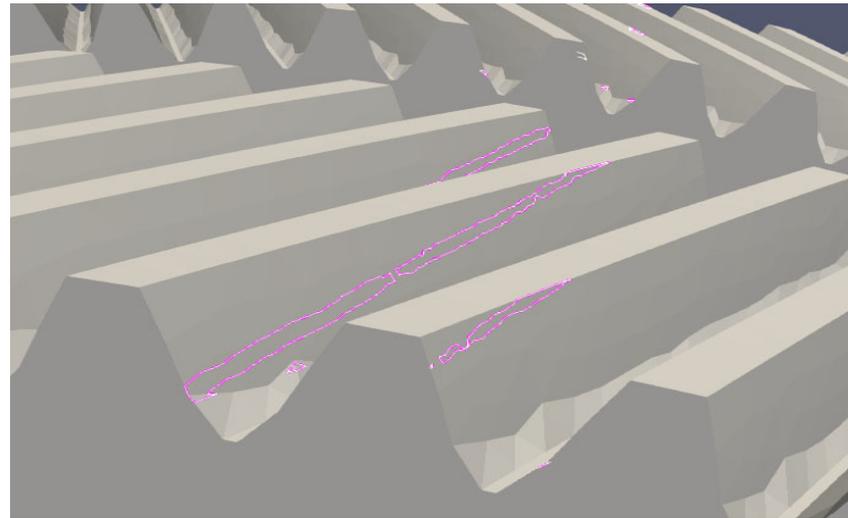
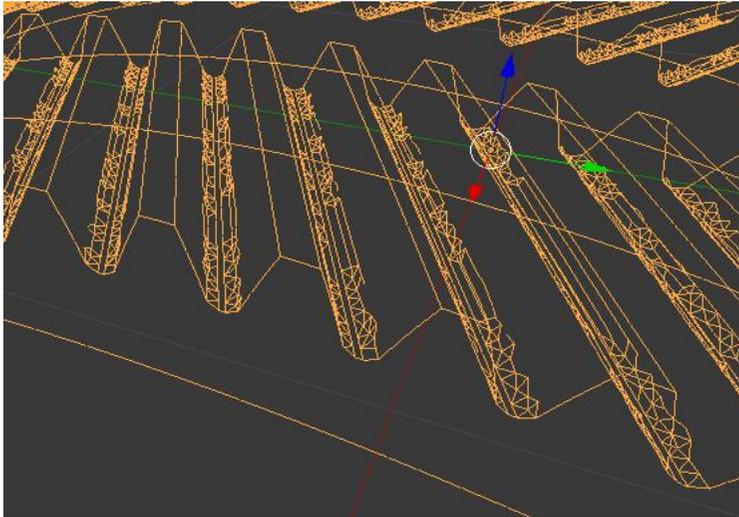


Modelo multicuerpo del sistema

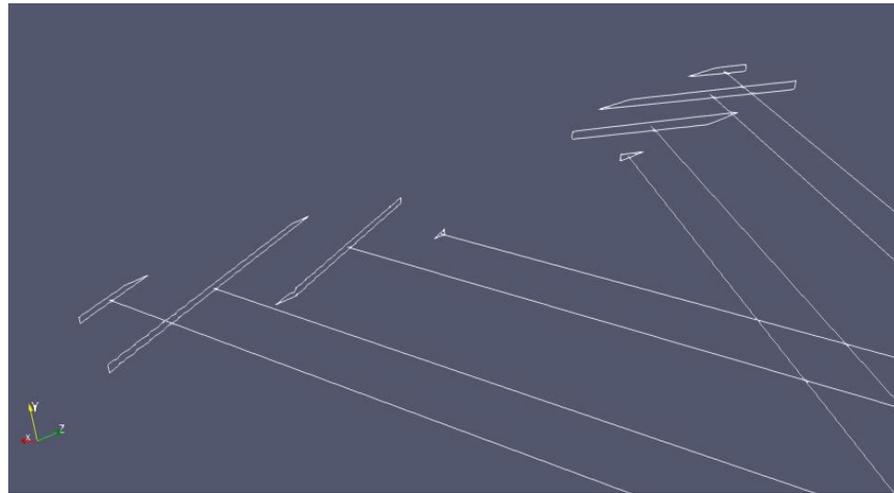
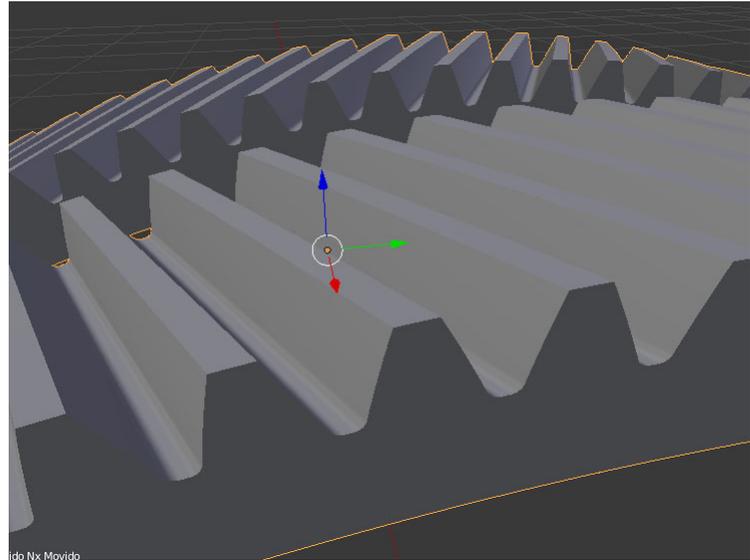
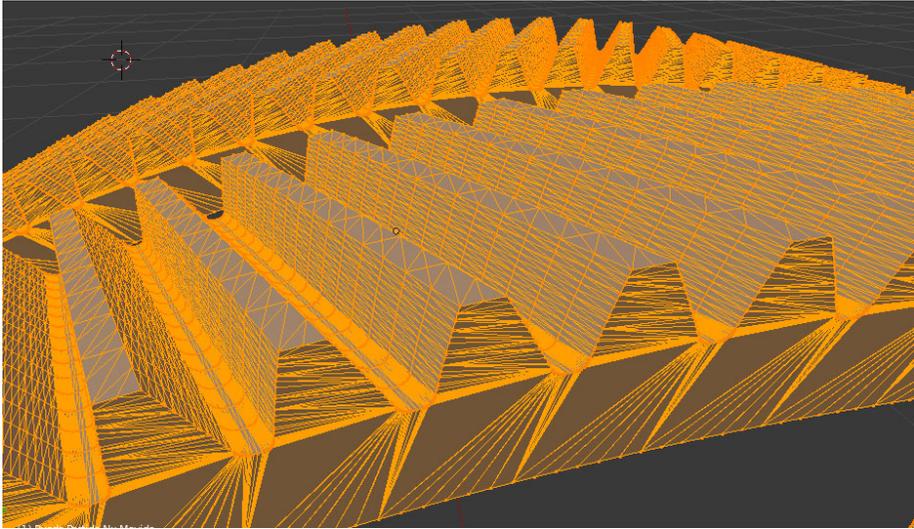
- Los archivos 3D se exportan a un formato de malla de triángulo mediante el software de CAD 3D (SolidWorks y Siemens NX):
 - Triángulos grandes donde no se realiza el cálculo de colisiones.
 - Triángulos pequeños donde se realiza el cálculo.



Modelo multicuerpo del sistema

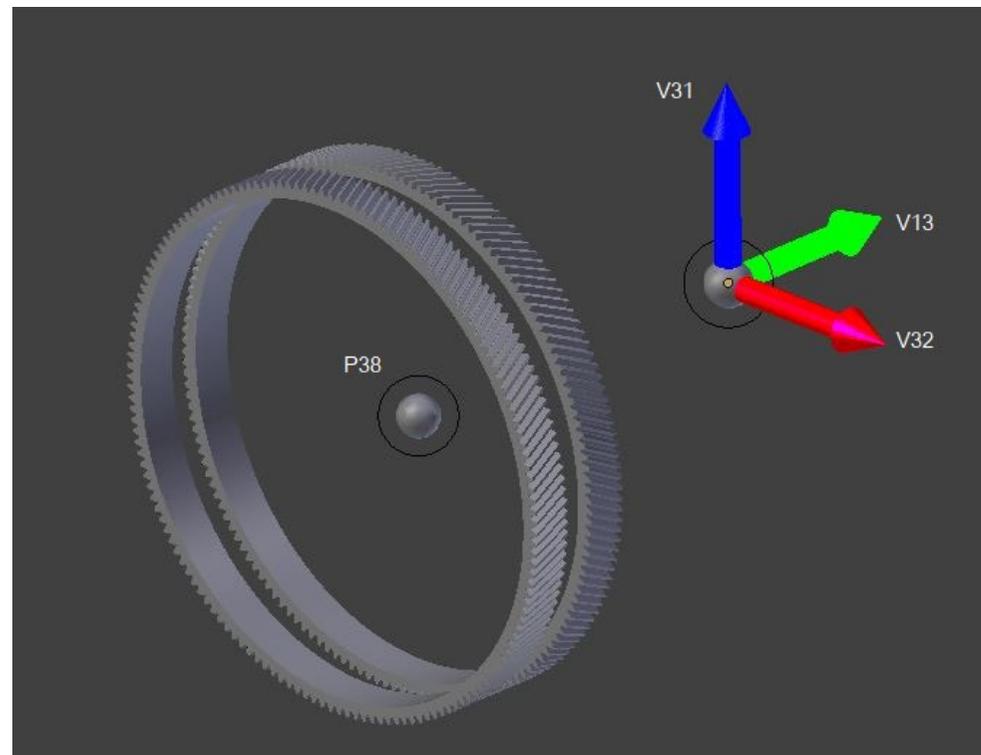
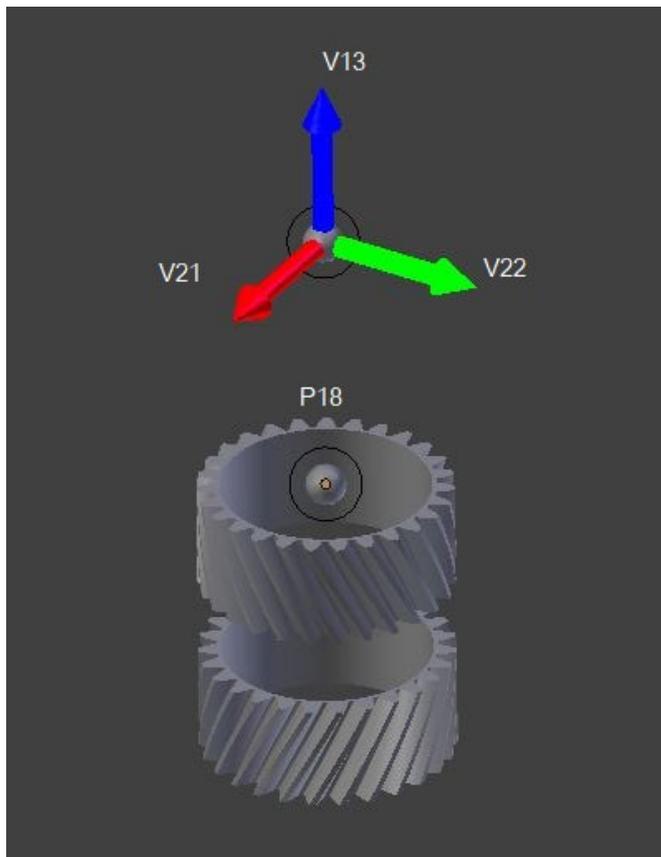


Modelo multicuerpo del sistema

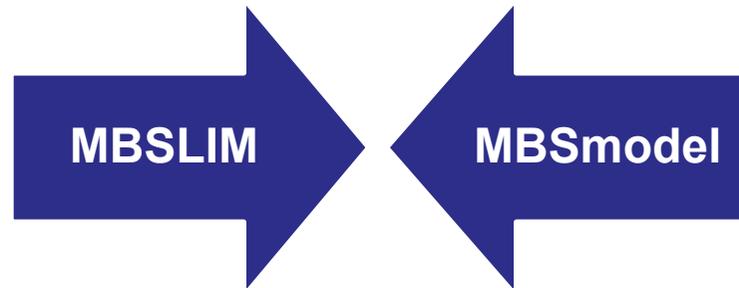


Modelo multicuerpo del sistema

- **Modelado del sistema en coordenadas mixtas:**
 - Coordenadas naturales: puntos y vectores.
 - Variables adicionales (ángulos): coinciden con los gdl del sistema.



Simulación



- Bibliotecas creadas por el Laboratorio de Ingeniería Mecánica (LIM).
- **MBSLIM**: biblioteca de funciones escrita en Fortran 2003 para la dinámica de sistemas multicuerpo.
 - Permite plantear y resolver las ecuaciones del movimiento del sistema.
 - Es flexible a la hora de definir el mecanismo y resolver su dinámica, admitiendo diferentes formulaciones y diferentes integradores para su planteamiento y resolución.
- **MBSmodel**: biblioteca de funciones escrita en C++.
 - Renderizado 3D.
 - Detección de colisiones entre sólidos 3D.

Simulación

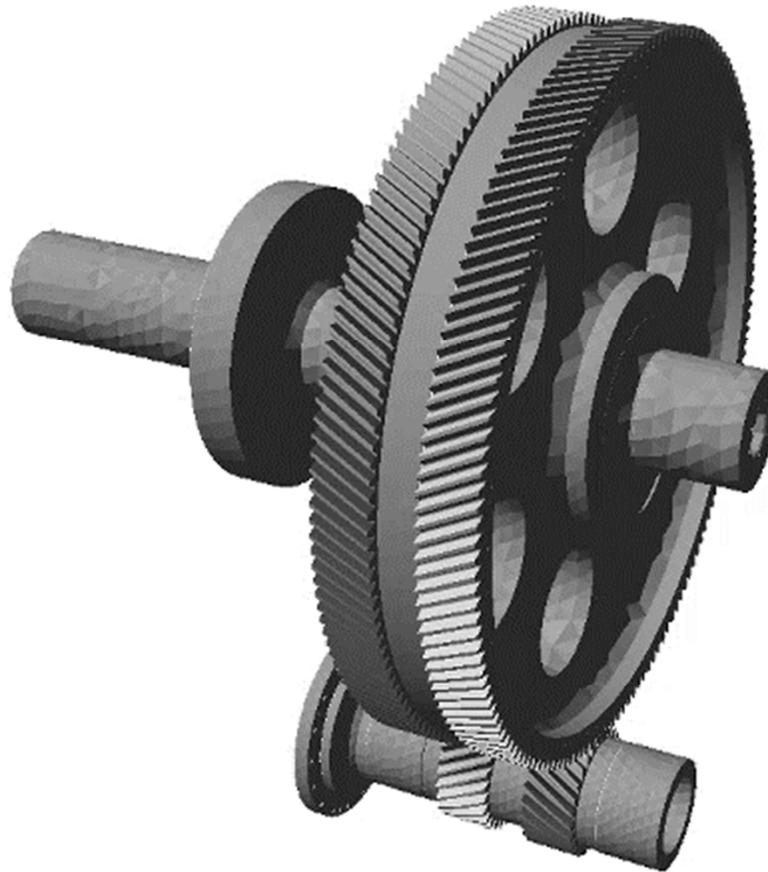
- **Formulación y resolución de la dinámica del sistema**
 - Formulación del problema en matriz R^1 .
 - Paso de tiempo variable, se utiliza un paso mínimo de 10^{-5} s.
 - Regla trapezoidal implícita como integrador numérico.
- **Condiciones de simulación**
 - Se ha modelado un motor diésel de 4 tiempos, no reversible, turboalimentado, con intercooler, con inyección directa de combustible de 8 cilindros.
 - Se ha hecho un modelo de carga correspondiente a la resistencia hidrodinámica al giro de la hélice.

¹ García de Jalón, J. & Bayo, E. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems: the real challenge. Springer-Verlag, 1994.

III. Resultados y discusión

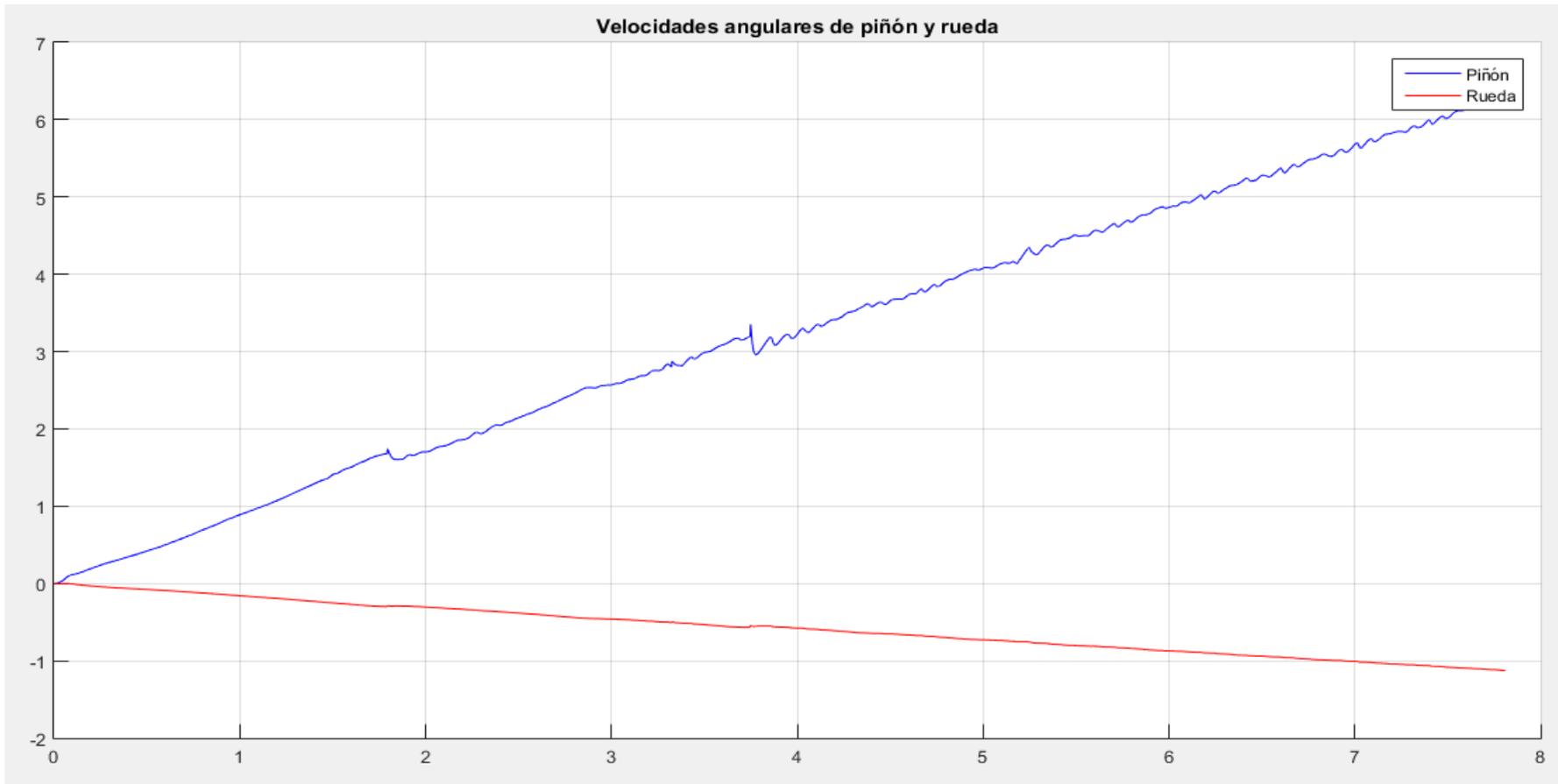


Simulación



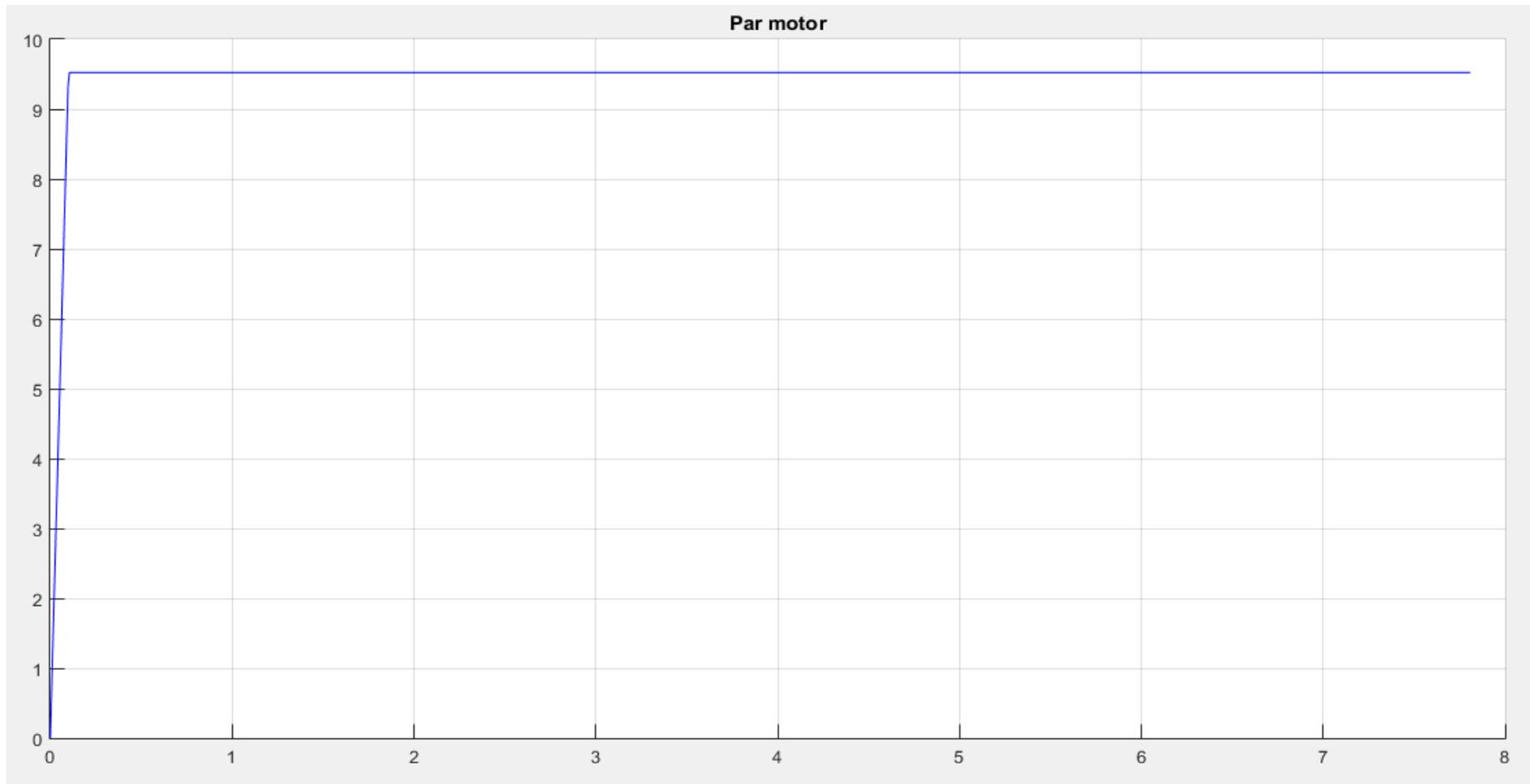
Resultados

- Velocidades angulares de ambos engranajes



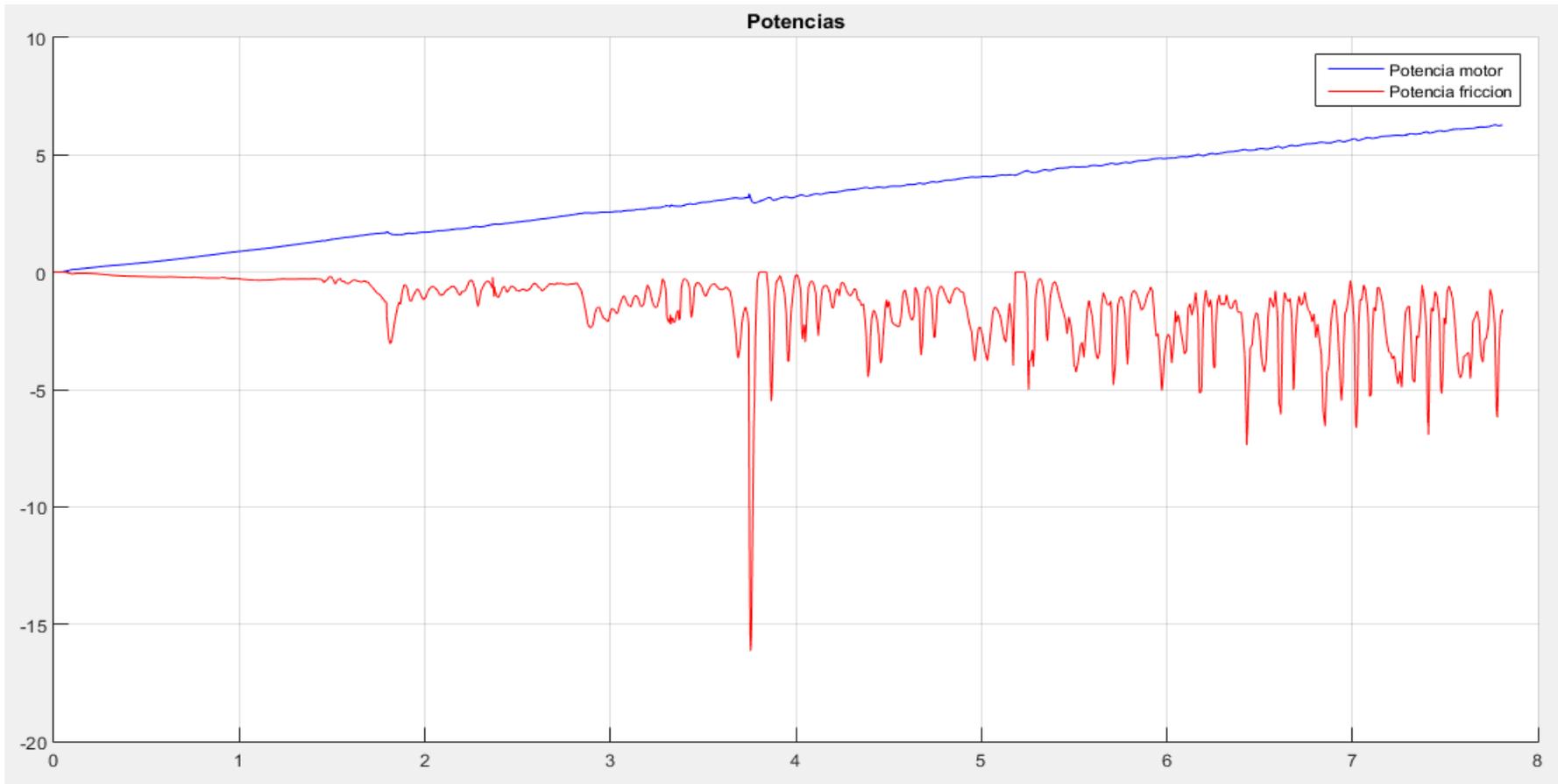
Resultados

- Par motor en el eje del piñón



Resultados

- **Potencia del motor y potencia disipada por fricción**



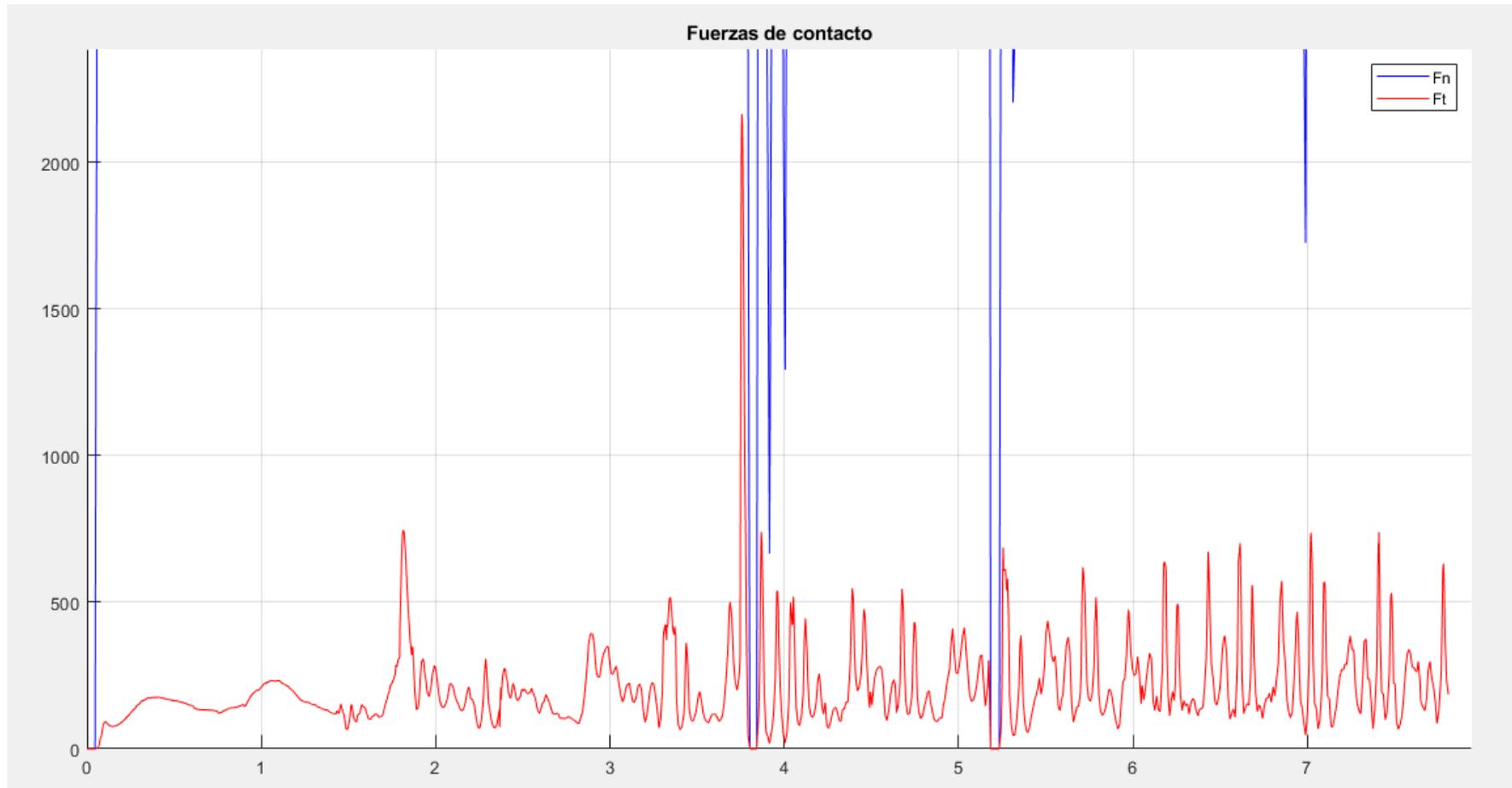
Resultados

- Fuerzas de contacto y fuerzas de fricción



Resultados

- Fuerzas de contacto y fuerzas de fricción



IV. Conclusiones

Conclusiones

- Con la ayuda de los planos y de los datos proporcionados por Navantia se ha obtenido un modelo en 3D de los ejes del piñón y de la rueda.
- Se ha creado un modelo multicuerpo de la reductora de engranajes helicoidales, el cual incluye la dinámica directa, renderizado 3D y detección de colisiones entre los engranajes helicoidales dobles de la reductora.
- Se ha demostrado que el programa KISSsoft es una herramienta eficaz para crear un modelo 3D del perfil de dientes de un sistema de engranajes helicoidales.
- También se han obtenido las relaciones cinemáticas y las fuerzas normales y de fricción.
- Gracias a esta información, se puede detectar el comportamiento de los dientes a niveles que otros modelos convencionales no son capaces de llegar y considerar transitorios y efectos en otros elementos en el diseño y cálculo de este tipo de transmisiones.

Muchas gracias

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica
Universidade da Coruña

<http://lim.ii.udc.es>

