

# Trabajo fin de Grado

Modelado 3D del sistema de fondeo de un barco para la fabricación de maquetas y simulación dinámica con el software SIMULANCLA

Autor:

Diego Saya Carro

Tutor:

Daniel Dopico Dopico

Ana Álvarez García

Septiembre, 2016

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica  
Universidad de La Coruña

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



# Introducción

SIMULANCLA es un novedoso software que permite el diseño y simulación del sistema de fondeo de un buque a partir de la dinámica de sistemas multicuerpo



# Introducción

**SIMULANCLA es un novedoso software que permite el diseño y simulación del sistema de fondeo de un buque a partir de la dinámica de sistemas multicuerpo**

## Antecedentes

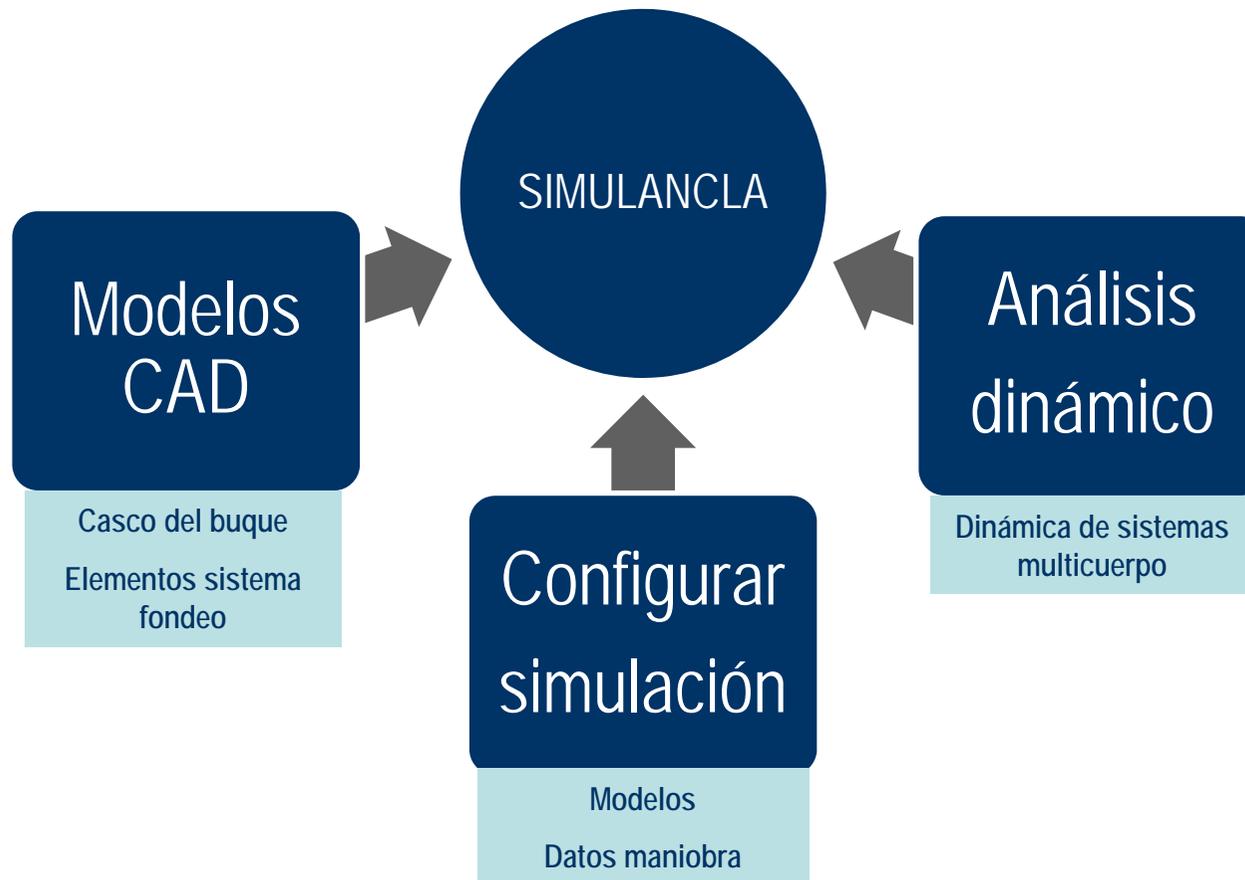
- Fabricación de maquetas:
  - Gran cantidad horas trabajo
  - Alto coste recursos
- Limitaciones:
  - Aproximación general
  - Escasa información

## Objetivo

- Estudio más completo
  - Análisis dinámico
  - Interacción real elementos
- Comparación de modelos
- Facilidad en implementar cambios

# Introducción

## ¿Cómo funciona SIMULANCLA?



# Modelos CAD

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES:

ESLORA TOTAL	LOA = 176.10 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	LPP = 169.93 m
LENGHT OF WL AT 85% OF DEPTH = (11.90 m)	175.57 m
MANGA TRAZADO	B = 29.80 m
PUNTAL TRAZADO	D = 14.00 m
CALADO ESCANTILLONADO	T = 9.90 m

## Modelos CAD del buque

### ■ Desarrollar planos de formas

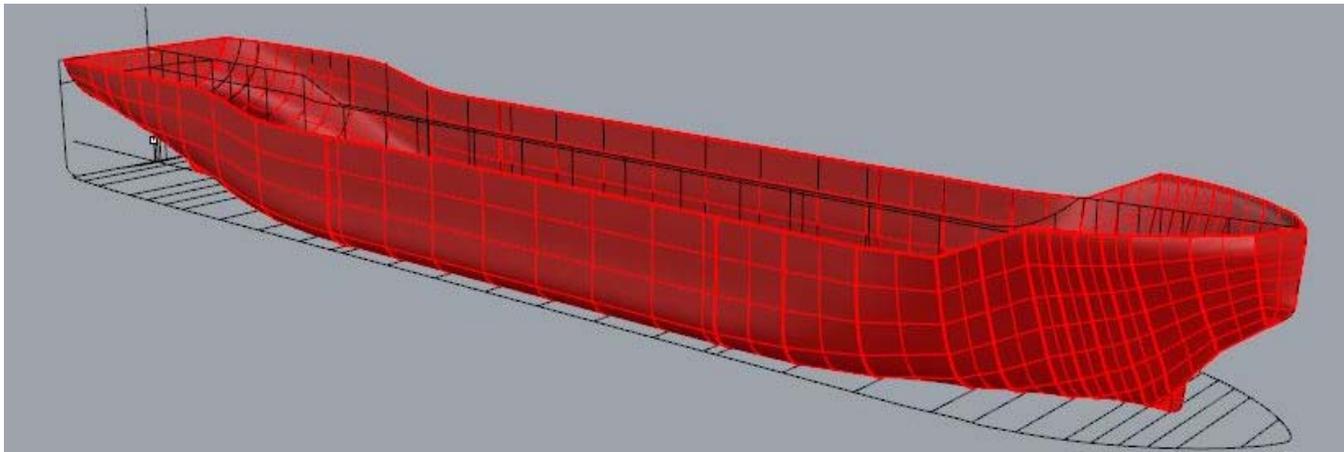
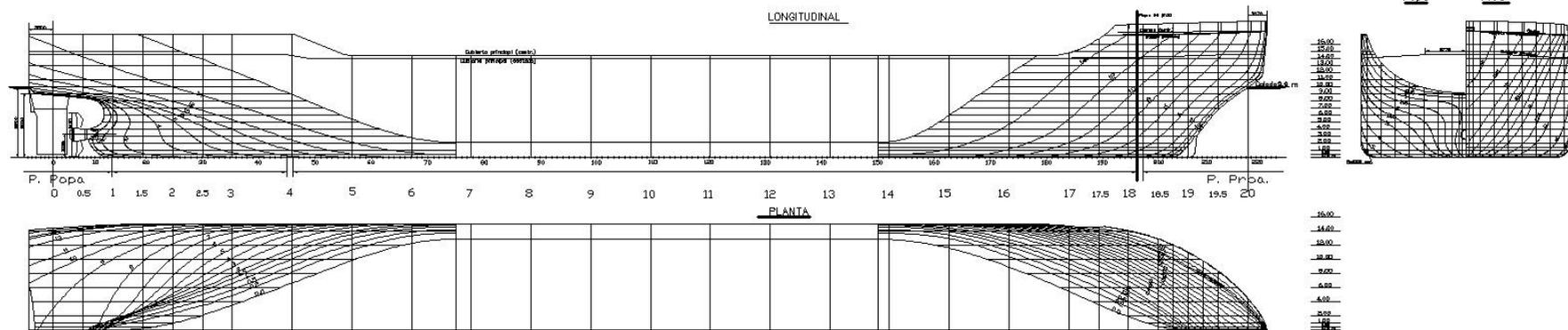
- Generar superficie del casco
- Generar cubierta

### ■ Desarrollar elementos sistema de fondeo

- Escobén
- Cadena
- Ancla

# Modelos CAD

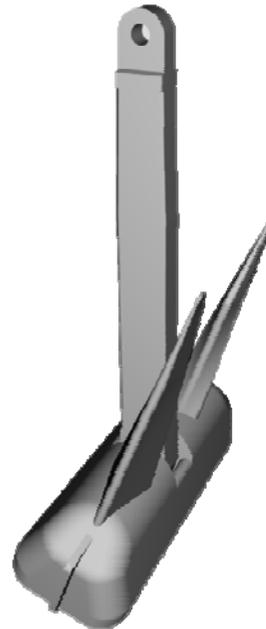
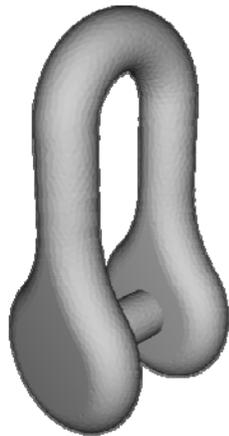
**Plano de formas** es aquel plano fundamental que muestra las formas definitivas del buque. Permite generar las curvas que determinan el casco. Se emplea Autocad, Rhinoceros y Solid Edge para modelar el buque



# Modelos CAD

## Sistema de fondeo

- Escobén
- Eslabones según ISO 1704
- Grillete
- Ancla



# Modelos CAD



# Dinámica de sistemas multicuerpo

- Se hará uso de coordenadas mixtas (naturales y relativas)
- Se emplea para resolver la dinámica en cada instante de tiempo la formulación ALI3-P:
  - Ecuaciones del movimiento.

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

$$\boldsymbol{\lambda}_{i+1}^* = \boldsymbol{\lambda}_i^* + \boldsymbol{\alpha} \mathbf{\Phi}_{i+1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

- Se integra mediante regla trapezoidal

$$\dot{\mathbf{q}}_{n+1} = \frac{2}{\Delta t} \mathbf{q}_{n+1} + \hat{\mathbf{q}}_n$$

$$\ddot{\mathbf{q}}_{n+1} = \frac{4}{\Delta t^2} \mathbf{q}_{n+1} + \hat{\mathbf{q}}_n$$

# Dinámica de sistemas multicuerpo

$$[\mathbf{f}(\mathbf{q})] = \frac{\Delta t^2}{4} (\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \Phi_q^T \alpha \Phi + \Phi_q^T \lambda^* - \mathbf{Q})$$

- Se resuelve con el método de Newton-Raphson

$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right]_i \Delta \mathbf{q}_i = -[\mathbf{f}(\mathbf{q})]_i$$

$$\left[ \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{q})}{\partial \mathbf{q}} \right] \approx \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} (\Phi_q^T \alpha \Phi_q + \mathbf{K})$$

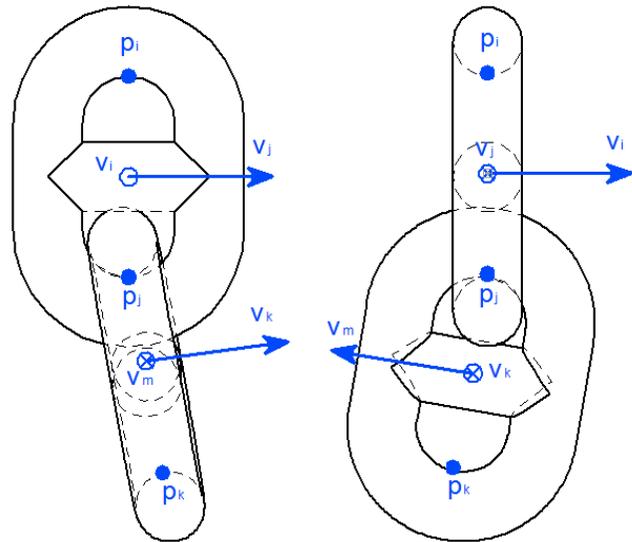
- Proyecciones de velocidades y aceleraciones

$$\left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} (\Phi_q^T \alpha \Phi_q + \mathbf{K}) \right] \dot{\mathbf{q}} = \left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} \mathbf{K} \right] \dot{\mathbf{q}}^* - \frac{\Delta t^2}{4} \Phi_q^T \alpha \Phi_t$$

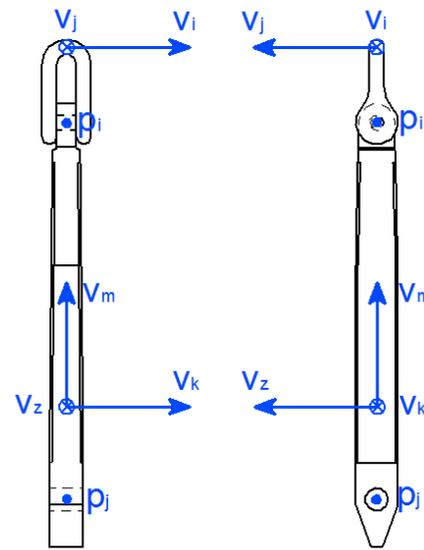
$$\left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} (\Phi_q^T \alpha \Phi_q + \mathbf{K}) \right] \ddot{\mathbf{q}} = \left[ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{4} (\mathbf{K}) \right] \ddot{\mathbf{q}}^* - \frac{\Delta t^2}{4} \Phi_q^T \alpha (\dot{\Phi}_q \dot{\mathbf{q}} + \dot{\Phi}_t)$$

# Dinámica de sistemas multicuerpo

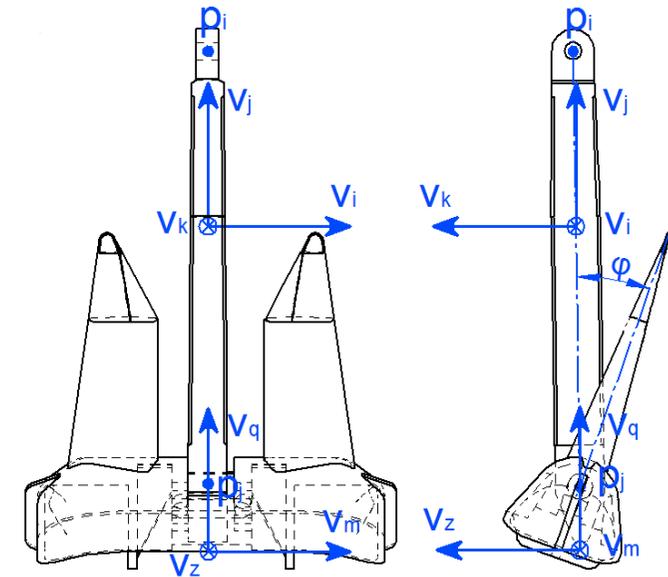
## Modelización elementos de la cadena



Eslabones



Grillete-caña



Caña-ancla

# Configuración simulación

Será necesario aportar los siguientes parámetros:

- Datos de la maniobra
- Datos del buque
- Datos de la caña
- Datos del ancla
- Datos de la cadena
- Datos del grillete
- Datos del molinete



Asistente de SIMULANCLA

**Navantia**

Bienvenido al asistente de configuración de **SIMULANCLA v1.71**

El asistente le guiará por los pasos de configuración de la simulación de la maniobra de anclas.

Presione "Next".

Desarrollado por el Laboratorio de Ingeniería Mecánica (Universidade da Coruña) para Navantia.

< Back   Next >   Cancel

# Configuración simulación

## Datos de la maniobra

- Datos de usuario y maniobra
- Modo de funcionamiento
- Parámetros simulación:
  - Posición de equilibrio
  - Gravedad
  - Coeficiente fricción
  - Densidad general

Asistente de SIMULANCLA

**Defina ficheros de datos de USUARIO y MANIOBRA:**

Ruta fichero usuario/maniobra y ruta ficheros CAD ...

Nombre fichero usuario/maniobra:

Presione para cargar los datos de usuario

**Defina el modo de funcionamiento (SIMULACIÓN/REPRODUCCIÓN):**

Simular

Reproducir

Simular con depuración (\*sólo a petición del LIM)

**Defina los parámetros básicos de la simulación:**

Tiempo final de simulación (s):

Velocidad reproducción v/t.r.:

Iniciar simulación en posición de equilibrio

Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>): x  y  z

Coeficiente de fricción:

Densidad general (kg/m<sup>3</sup>):

< Back   Next >   Cancel

# Configuración simulación

## Datos del buque

- **Ficheros CAD:**
  - Casco colisionable
  - Escobén
  - Casco auxiliar
- **Rotación escobén**
- **Coordenadas:**
  - Punto de tiro tangente al molinete
  - Punto entrada escobén
  - Punto salida escobén

Asistente de SIMULANCLA

**Introduzca los datos del BUQUE:**

Fichero CAD casco:

Fichero CAD reglas/escobe:

Fichero CAD auxiliar (geom. no colision):

Desplazamiento global de las reglas/escoben (m):

X  Y  Z

Rotación de las reglas/escoben alrededor del plano del casco (deg):

Angle°

Coordenadas globales del punto de tiro tangente al molinete (m):

X  Y  Z

Coordenadas locales de entrada de la regala de cubierta (m):

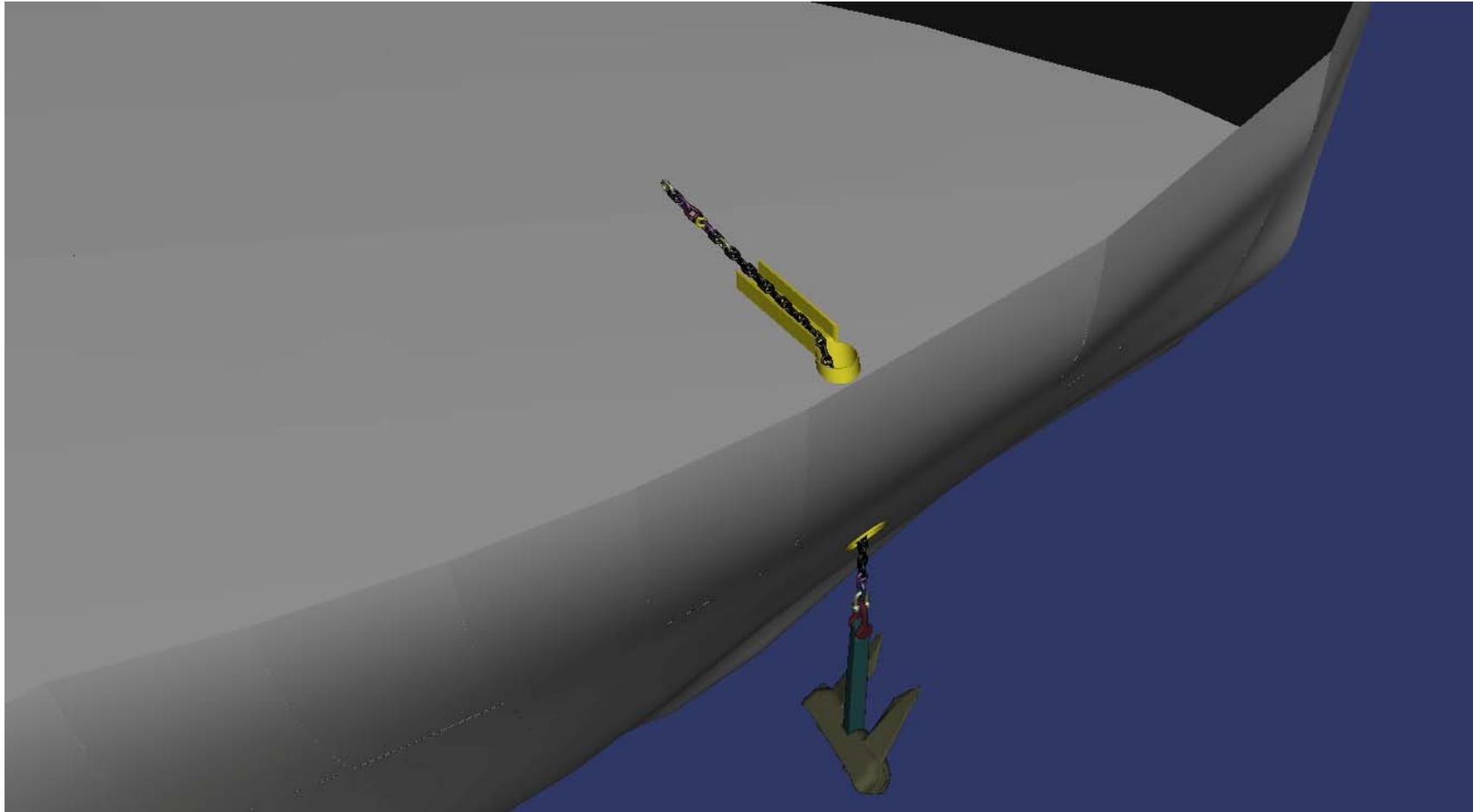
X  Y  Z

Coordenadas locales de salida de la regala de forro (m):

X  Y  Z

< Back Next > Cancel

# Configuración simulación



# Configuración simulación

## Datos de la caña

- Fichero CAD
- Programa calcula:
  - Masa
  - Centro de masas
  - Tensor de inercia
- Coordenadas:
  - Articulación con grillete
  - Articulación con ancla
- Densidad

Asistente de SIMULANCLA

**Introduzca los datos de la CAÑA del ancla:**

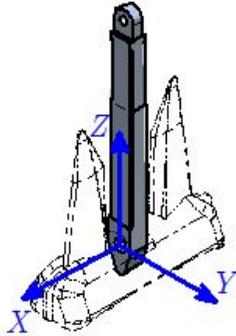
Masa (kg):  
2112,93 Fichero CAD caña: anha\_F105\_MEF.obj 7833,0  Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Centro de masas (m):  
Xcdm 0,000000 Ycdm 0,000000 Zcdm 1,323560

Tensor de inercia en el CDM del sólido (kg·m<sup>2</sup>):  
Ixx 1857,6289700 Iyy 1849,2105700 Izz 30,3644000  
Pxy 0,0000200 Pxz -0,0063400 Pzy 0,0043000

Coordenadas locales de la articulación con el grillete de la cadena (m):  
Xj 0,00000 Yj 0,00000 Zj 3,03400

Coordenadas locales de la articulación con el ancla (m):  
Xj 0,00000 Yj 0,00000 Zj 0,00000



< Back Next > Cancel

# Configuración simulación

## Datos ancla

- Fichero CAD
- Programa calcula:
  - Masa
  - Centro de masas
  - Tensor de inercia
- Coordenadas:
  - Articulación con caña
- Ángulo tope uñas y ancla
- Ángulo inicial uñas y ancla
- Densidad

Asistente de SIMULANCLA

**Introduzca los datos de las uñas del ANCLA:**

Masa (kg):  Fichero CAD ancla:    Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

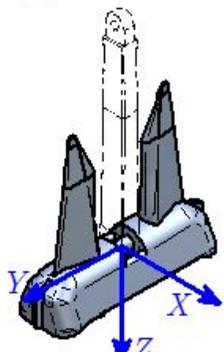
Centro de masas (m):  
Xcdm  Ycdm  Zcdm

Tensor de inercia en el CDM del sólido (kg·m<sup>2</sup>):  
Ixx  Iyy  Izz   
Pxy  Pxz  Pzy

Coordenadas locales de la articulación con la caña (m):  
Xj  Yj  Zj

Ángulo tope entre uñas y caña (deg):

Ángulo inicial entre uñas y caña (deg):



< Back Next > Cancel

# Configuración simulación

## Datos cadena

- Tipo y número de eslabones
- Diámetro de alambre
- Densidad

Asistente de SIMULANCLA

**Introduzca los datos de la CADENA:**

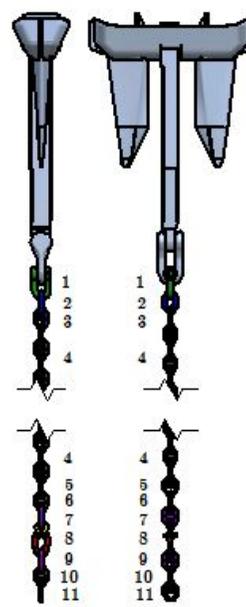
Tipo y número de eslabones:

1	End Shackle	1
2	End Link	1
3	Enlarged Link	1
4	Common Link	30
5	Kenter Link	1
6	Common Link	1
7	Enlarged Link	1
8	Swivel	1
9	Enlarged Link	1
10	Common Link	1
11	Kenter Link	1
12	Common Link	0
13	Common Link	0
14	Common Link	0
15	Common Link	0

Diámetro de la cadena (mm):  
58,000

Ángulo inicial en grados (deg) para los eslabones pivote (swivel link):  
0

7833,0  Densidad (kg/m<sup>3</sup>)



< Back Next > Cancel

# Configuración simulación

## Datos grillete y molinete

### ■ Grillete

- Fichero CAD
- Programa calcula:
  - Masa
  - Tensor de inercia
  - Altura del centro de masas
- Longitud interior del grillete
- Densidad

### ■ Molinete

- Fuerza máxima de tiro
- Velocidad lineal de tiro

Asistente de SIMULANCLA

**Introduzca los datos del GRILLETE de unión del ancla con la cadena:**

Fichero CAD grillete:   Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

7833,0

Tensor de inercia en el CDM del grillete (kg·m<sup>2</sup>):

Ixx  Iyy  Izz

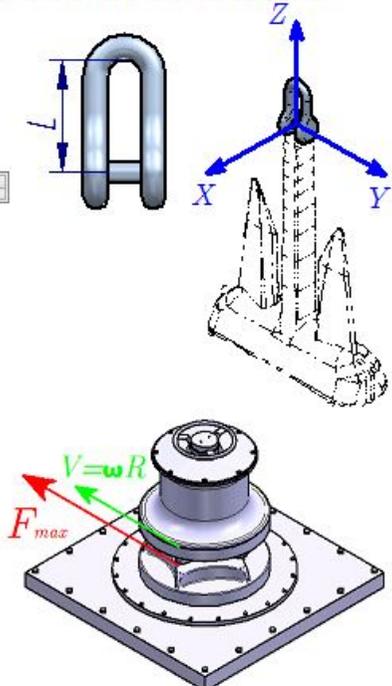
Masa (kg):  Altura del centro de masas (m):  Longitud interior del grillete, L (m):

Zcdm  L

**Introduzca los datos del MOLINETE:**

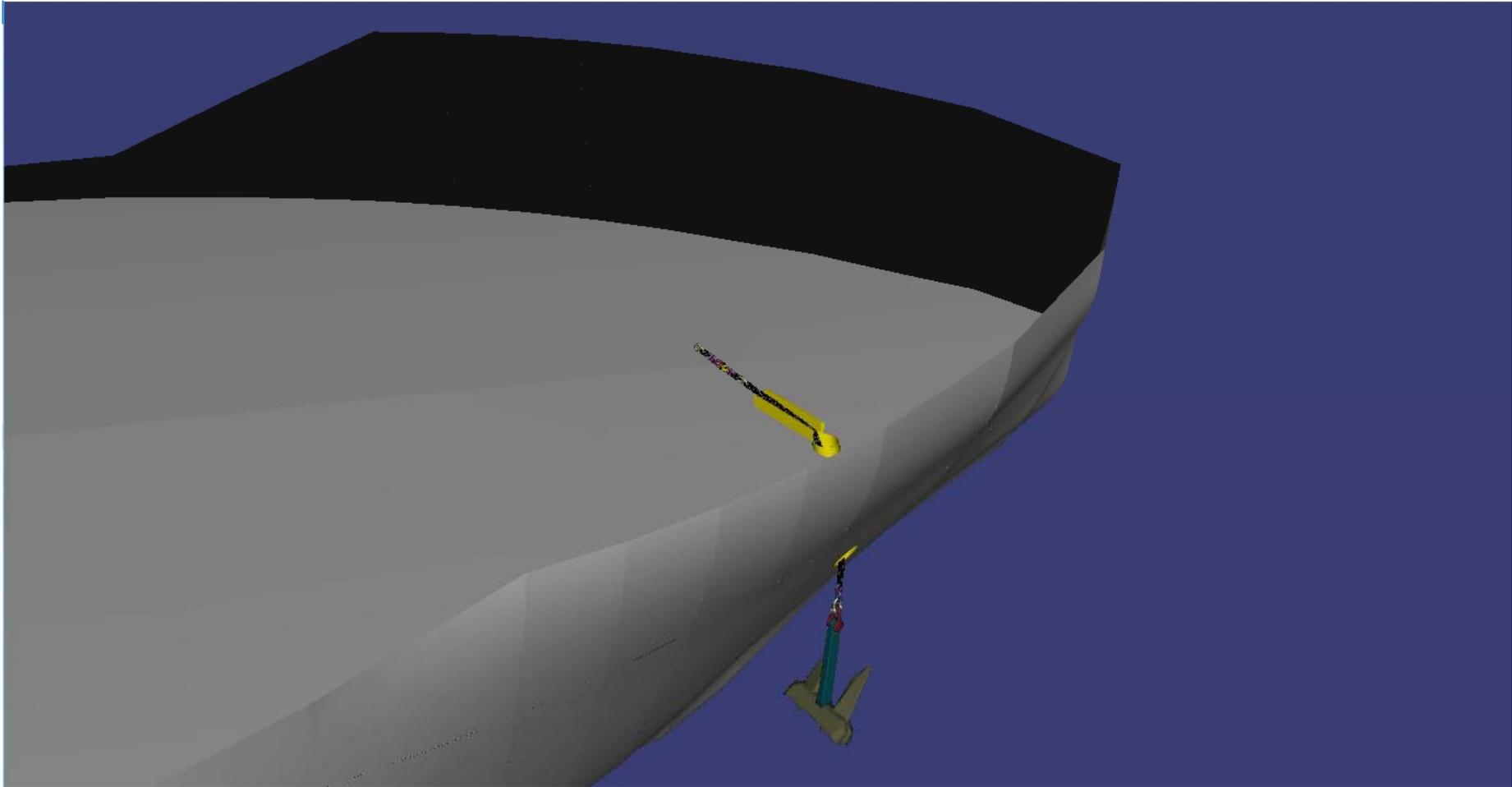
Fuerza máxima de tiro del molinete (N):

Velocidad lineal de tiro del molinete (m/s):



< Back Finish Cancel

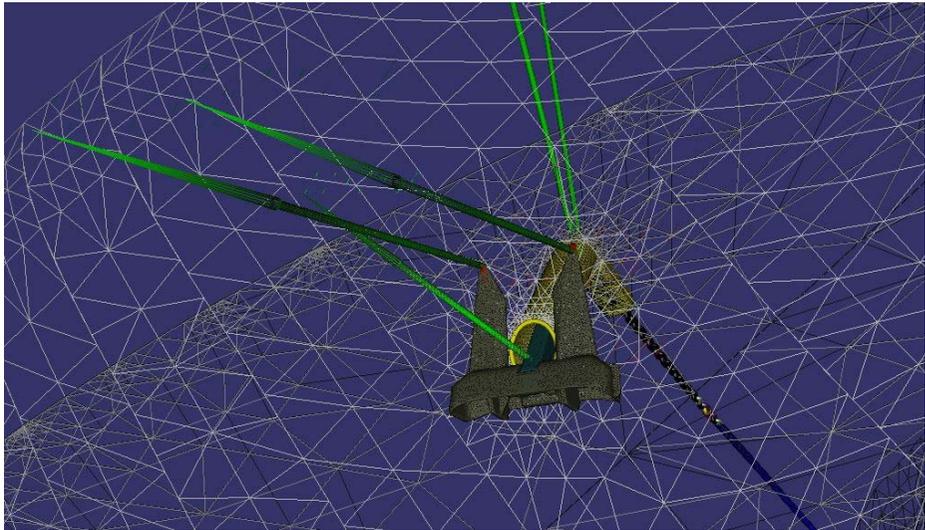
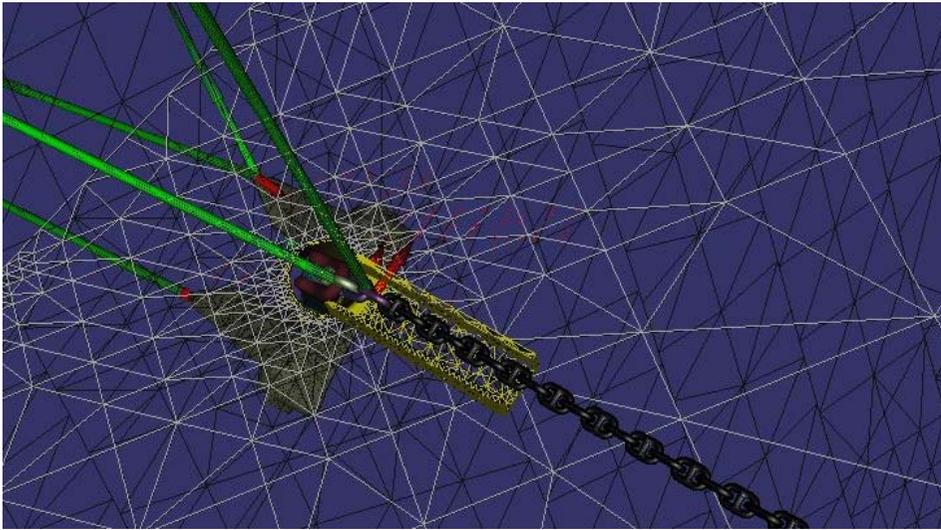
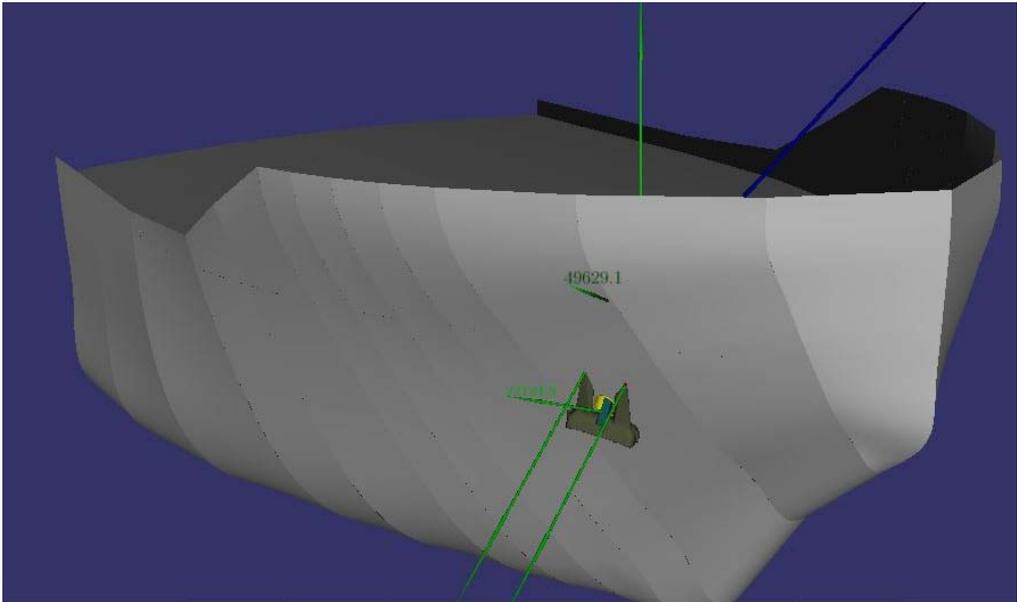
# Simulación



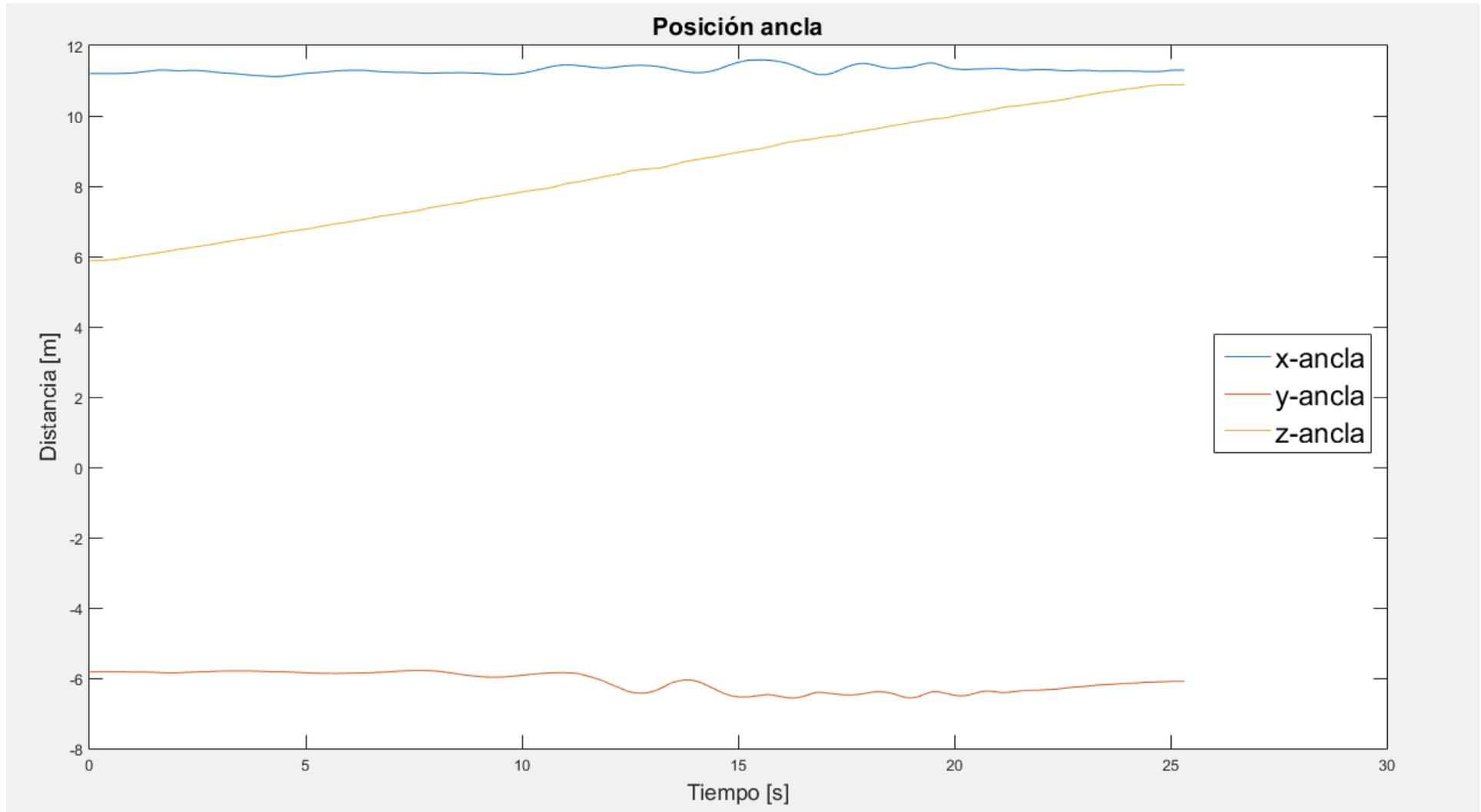
## Resultados

- **Fundamental comprobar:**
  - Ancla correctamente situada en escobén en posición estable
  - Puntos de contacto y fuerzas de la cadena son admisibles
  - El ancla no se atasca y logra estibar
- **Validar simulación mediante:**
  - Posición ancla durante la maniobra
  - Velocidad de tiro
  - Recogida de la cadena
  - Fuerza del molinete

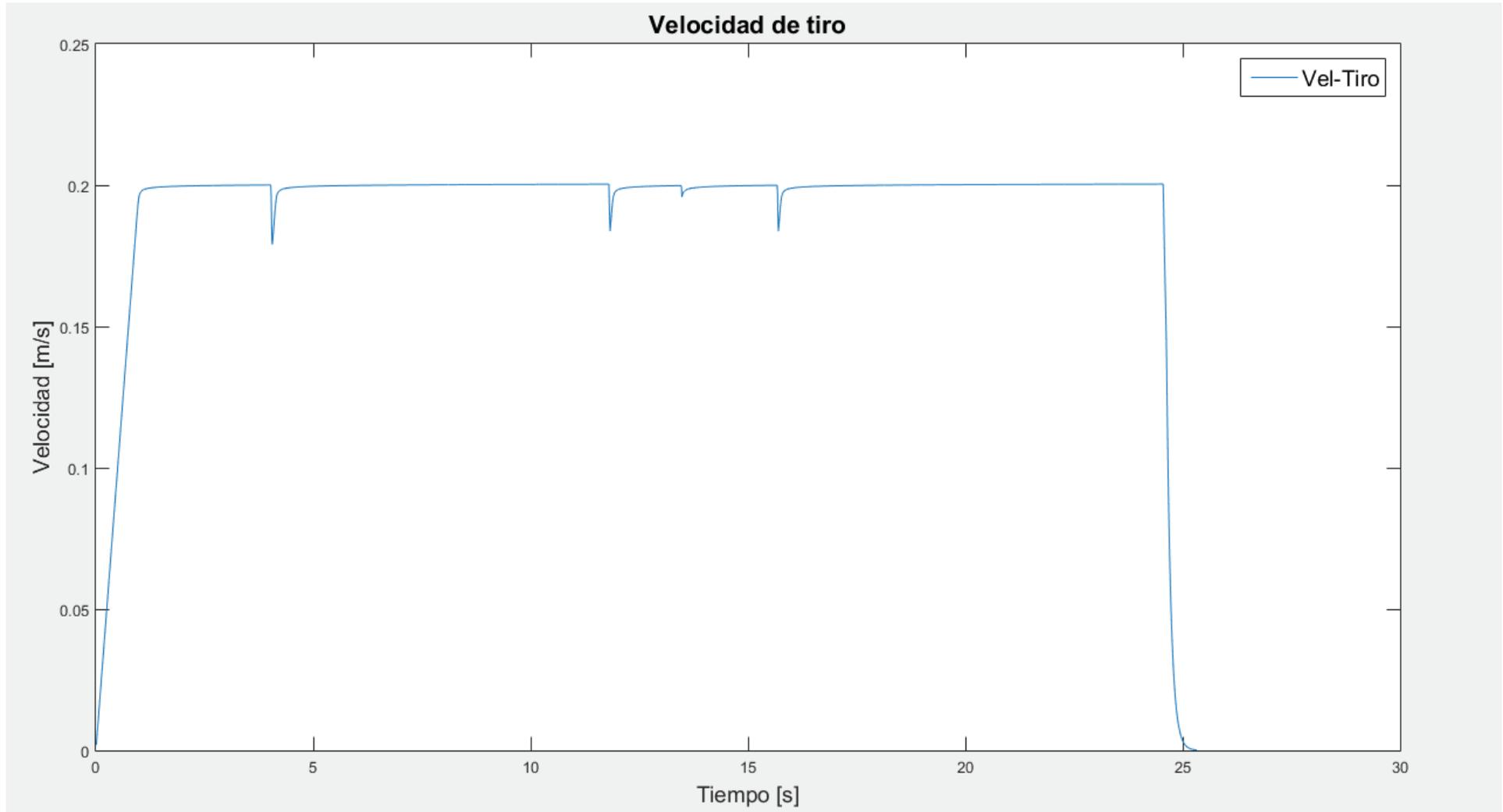
# Simulación



# Simulación

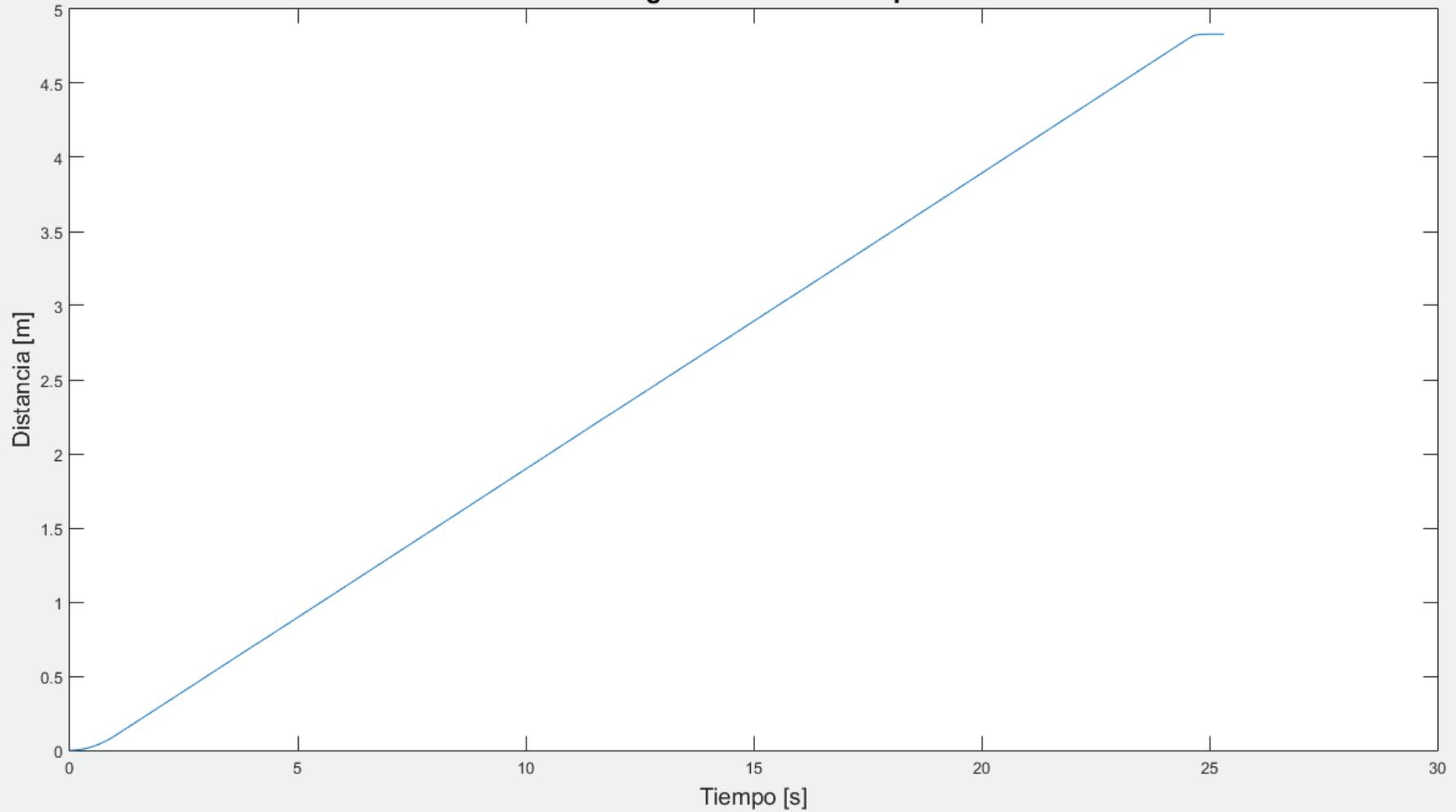


# Simulación

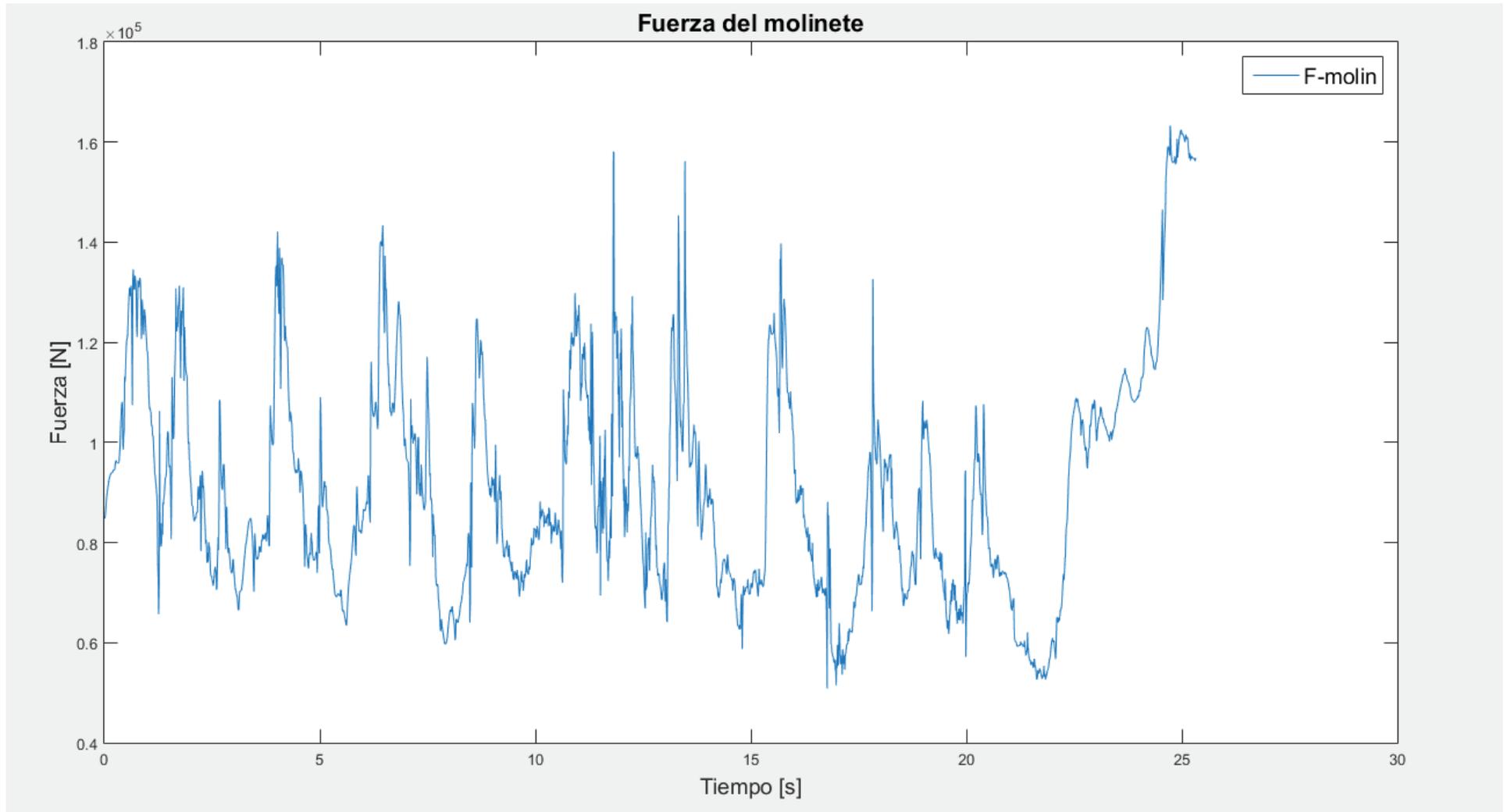


# Simulación

Recogida cadena Vs tiempo



# Simulación



# Modelos a escala

- **Posibilidad de realizar simulaciones a escala**
  - Desarrollo de todo el modelo en escala 1:30
  - Configuración de una nueva simulación
  - Fabricación de maquetas
- **Implementación de actualizaciones y nuevas funcionalidades en el software**
  - Adaptar dinámica sistemas multicuerpo a modelos a escala
  - Compatibilidad con modelos a escala
  - Océano en ventana gráfica
  - Densidad por elementos
  - Mejoras de estabilidad

# Conclusiones

- Generar modelo del buque y elementos sistema de fondeo
- Configurar simulación
- Comprobar maniobra
- Conocer gran cantidad de información del sistema de fondeo
  - Estudio del movimiento mediante la dinámica de sistemas multicuerpo
  - Interacción entre elementos
- Procesar resultados

# Líneas de trabajo futuro

- **Simulación de modelos a escala**
  - Comparación similitudes modelo real y modelo a escala
  - Fabricación de maquetas a partir de dicho modelo
  - Preparación banco de ensayos para pruebas
  - Comparación simulación a escala y maqueta

## Trabajo fin de Grado

Modelado 3D del sistema de fondeo de un barco  
para la fabricación de maquetas y simulación  
dinámica con el Software SIMULANCLA

Diego Saya Carro

LIM



Laboratorio de Ingeniería Mecánica  
Universidad de La Coruña

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

