

Trabajo fin de Máster

Validación del software SIMULANCLA mediante la fabricación y simulación de un prototipo del sistema de fondeo

- **Autor:**

- Marta Frade Manso

- **Tutor:**

- Daniel Dopico Dopico

- Emilio Sanjurjo Maroño

Junio 2018

1. Índice

- Introducción.
- Desarrollo modelos, sistema medición, control y simulación.
- Resultados experimentales y conclusiones.

1. Introducción

Antecedentes:

- Diseño del sistema de fondeo basado en maquetas de madera a escala 1:50.
- Gran coste de mano de obra y poca fiabilidad.
- SIMULANCLA permite simular con gran detalle, fiabilidad y ahorro.

Motivación:

- El programa no está validado y se necesita validación para uso comercial.

Objetivo inicial:

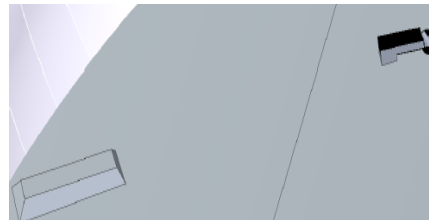
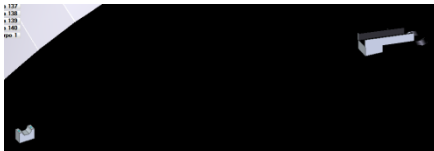
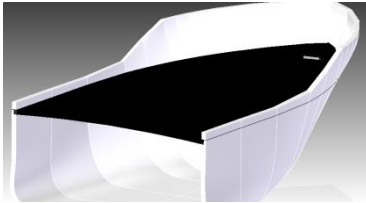
- Validación del software SIMULANCLA.

Objetivo logrado:

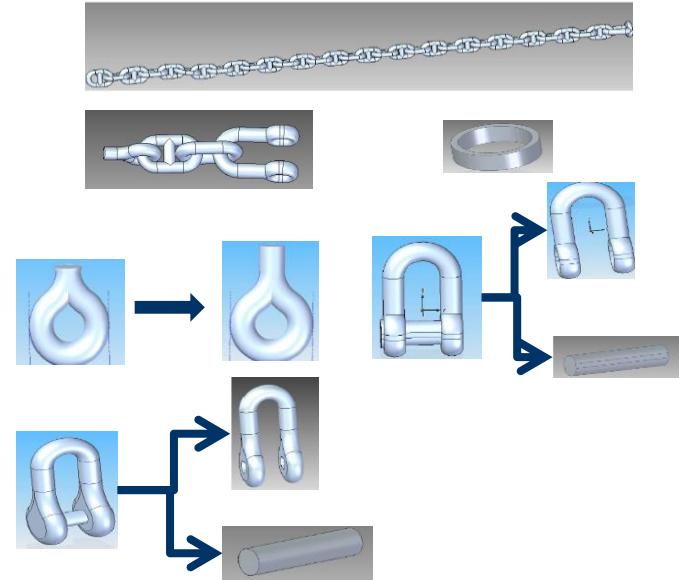
- Fabricación e instrumentación de la maqueta que permitirá la posterior validación del software SIMULANCLA.

2. Diseño de los modelos – Fase inicial

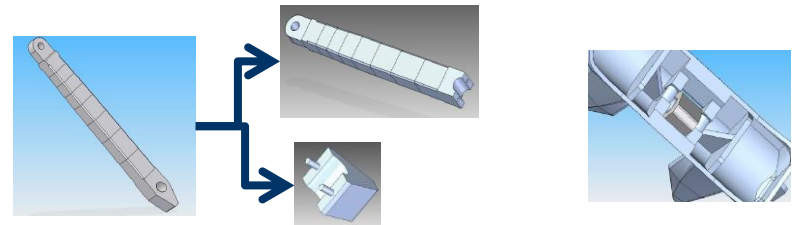
- Se parte de modelos proporcionados de un buque real. Rehacer y prepararlos para su fabricación.
- Partes del modelo que se crean:
 - Casco: proa.
 - Bancada motor.
 - Cadena.
 - Ancla.
 - Soporte experimental (caja de madera).



▪ Cadena



▪ Ancla

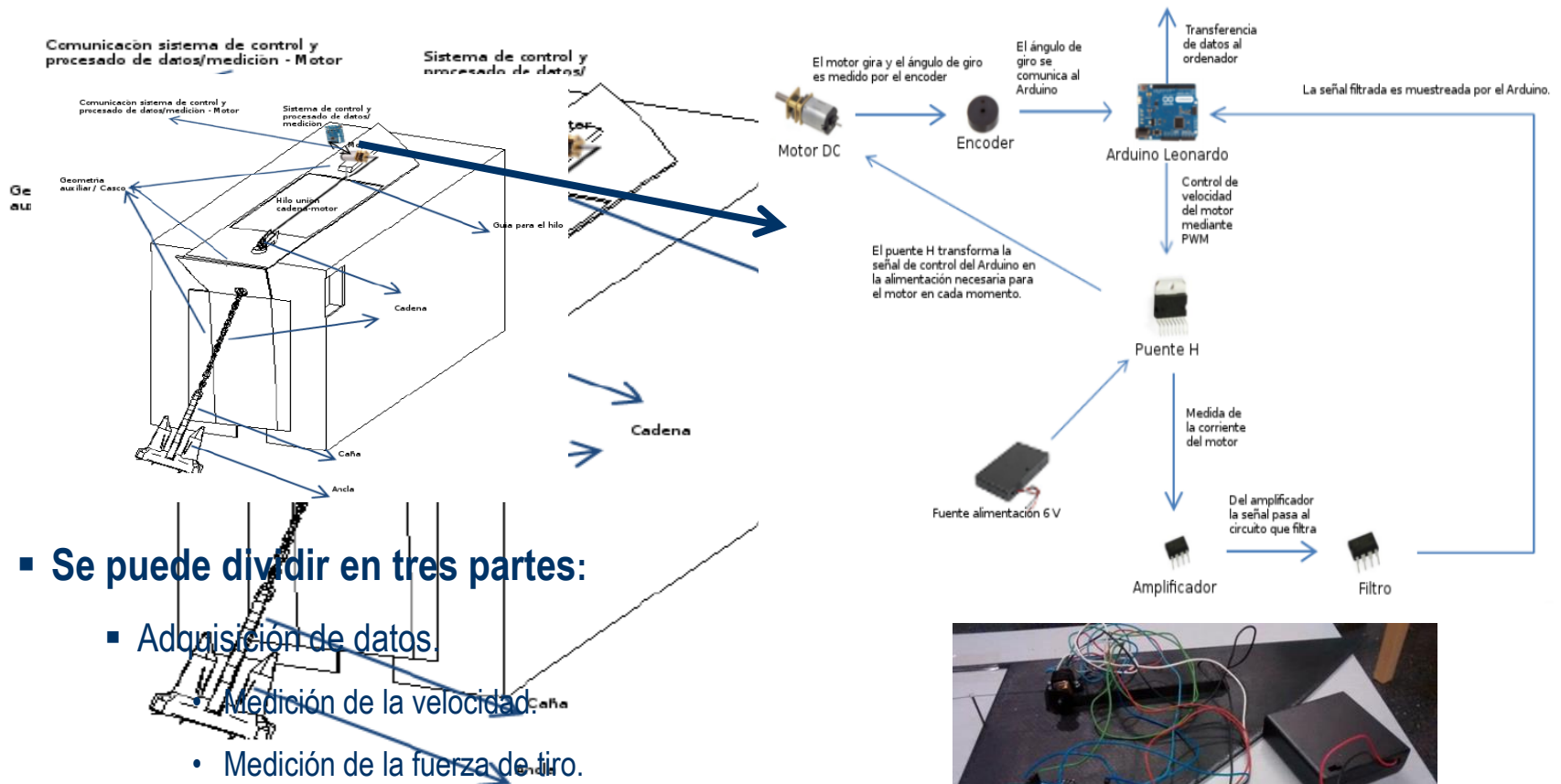


2. Diseño de los modelos – Cambios

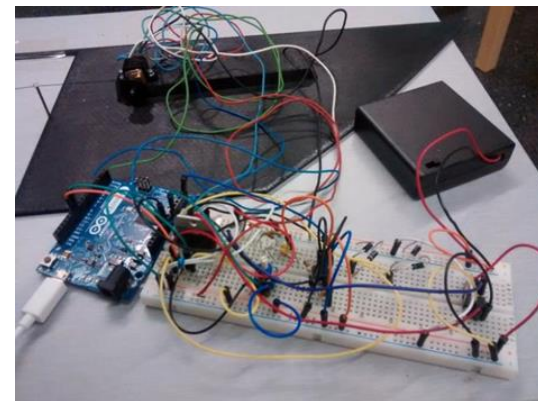
- Modelos finales



3. Sistema medición y control



- Se puede dividir en tres partes:
 - Adquisición de datos.
 - Medición de la velocidad.
 - Medición de la fuerza de tiro.
 - Actuación.
 - Algoritmo de control.



3. Sistema medición y control –Adquisición de datos

■ Medición de la fuerza de tiro

- Sistema bastante rígido → variaciones bastante rápidas de la fuerza → frecuencia de muestreo también ha de ser alta.
- Para calcular frecuencia máxima muestreo se hacen diversas medidas con el Arduino con el programa usado en experimento.
- Se toma el valor máximo de la diferencia entre los tiempos sucesivos de las medidas.
- Frecuencia máxima muestreo → 1400 Hz → Frecuencia más alta contenida en la señal 700 Hz.
- Para asegurar esto se diseña filtro con frecuencia corte 700 Hz.

3. Sistema medición y control - Amplificador

▪ Medición de la fuerza de tiro

- Resistencia en serie con el motor baja para no limitar potencia → valor bajo de tensión.
- Resolución Arduino 10 bits (1024 valores) → Necesario amplificar.
- Resistencia en serie con el motor.
 - Bajo para no quitar potencia.
 - No muy bajo para no tener que amplificar tanto.
 - Potencia < 0,25 W.

- Peor caso $I = 0,36 \text{ A}$. $\longrightarrow P = \frac{1}{4} W$
- Con las anteriores consideraciones valor final 1Ω . $\longrightarrow \begin{aligned} I &= \\ P &= I^2 \cdot R = 0,360^2 \cdot 1 = 0,1296 W < 0,25 W \\ R &= \frac{V}{I} \end{aligned}$
- Amplificación aproximada de 10 veces.
- Amplificador de instrumentación.

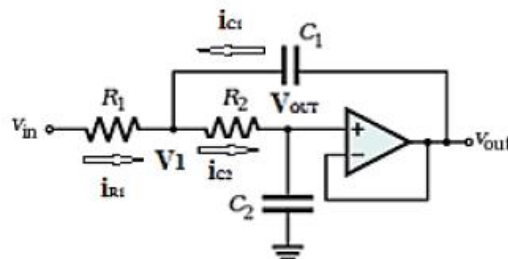
$$R_G = 100 \text{ k}\Omega / (G - 1) \longrightarrow R_G = \frac{100}{10 - 1} = \frac{100}{9} = 11,11 \text{ k}\Omega \longrightarrow G = 1 + \frac{100}{R_G} = 1 + \frac{100}{10} = 11 \longrightarrow V = 0,360 \cdot 11 = 3,96 \text{ V}$$

- Menor que 5 voltios y aprovecha casi la totalidad del rango de medida del microcontrolador sin llegar en ningún caso a saturar.

3. Sistema medición y control - Filtro

Medición de la fuerza de tiro

- Filtro Sallen-Key Butterworth → respuesta prácticamente plana desde 0 hasta la frecuencia de corte y desciende bruscamente para frecuencias por encima de las de corte.



$$H(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\alpha s + \omega_0^2}$$

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$$

$$2\alpha = 2\xi\omega_0 = \frac{\omega_0}{Q}$$

$$G = \frac{1}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_1 C_1} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2 (R_1 + R_2)}$$

$$R_1 = m \cdot R$$

$$R_2 = R$$

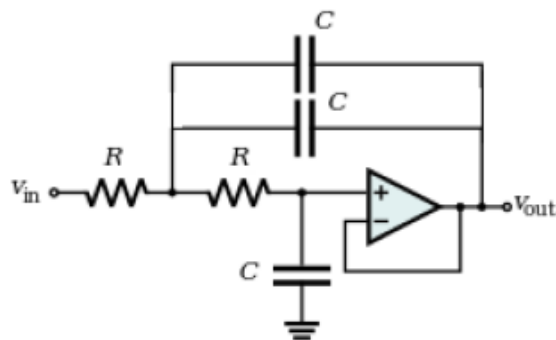
$$C_1 = n \cdot C$$

$$C_2 = C$$

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C \sqrt{mn}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{mn}}{m+1}$$

$$\Rightarrow R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 700 \cdot 330 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{2}} = 487,18 \, \Omega$$



- $R = 488 \, \Omega$

- $C = 330 \, \text{nF}$

3. Sistema medición y control – Calibración experim.

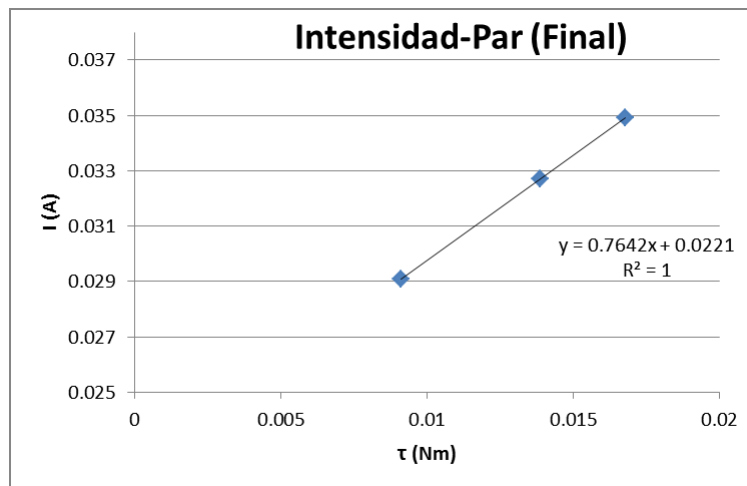
- Medición de la fuerza de tiro

- Relación intensidad – par $\Rightarrow \tau = k_t I$

- Tres pesos:

- 65 g
 - 101 g
 - 123 g

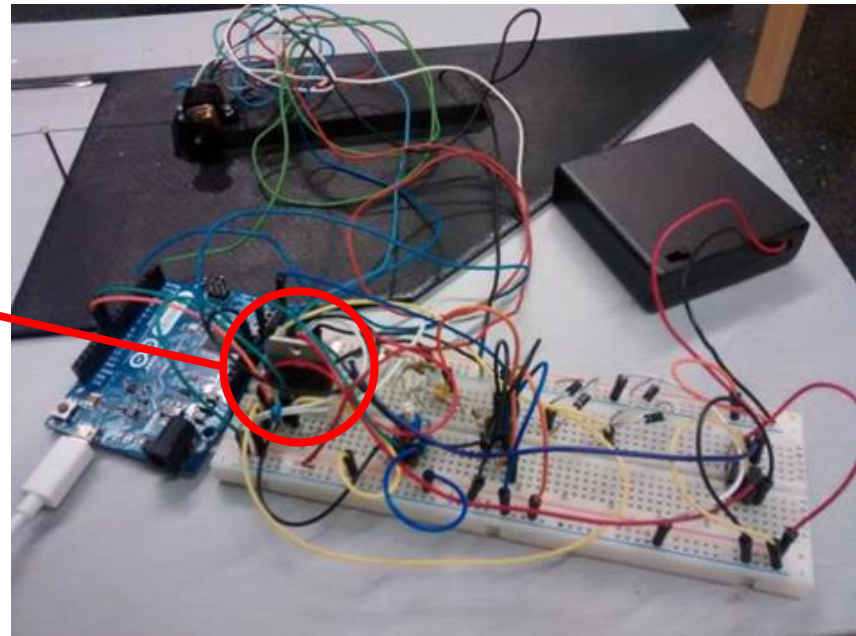
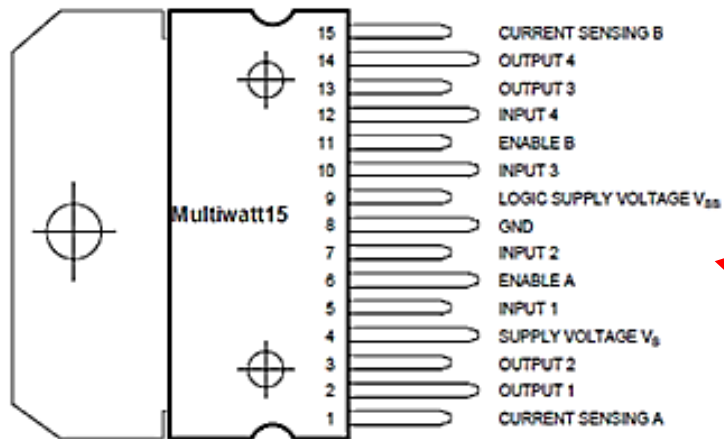
- Velocidad 1 rad/s



$$\Rightarrow \tau = \frac{I - 0.0221}{0.7642}$$

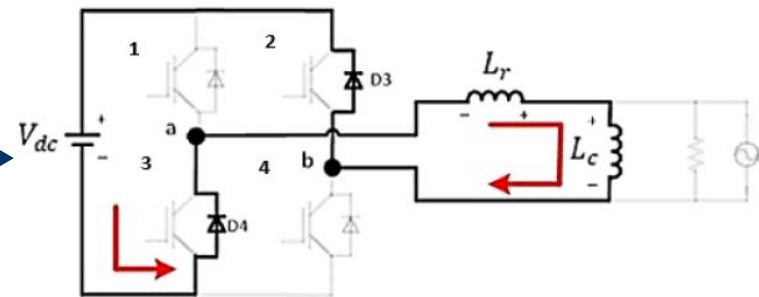
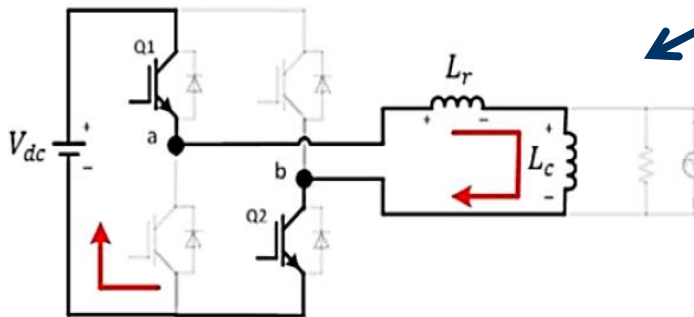
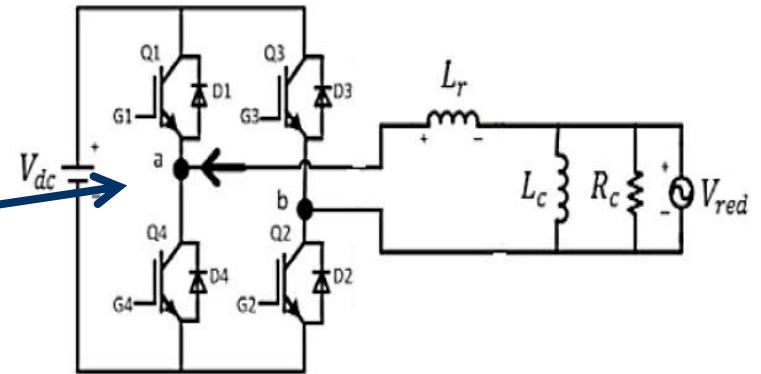
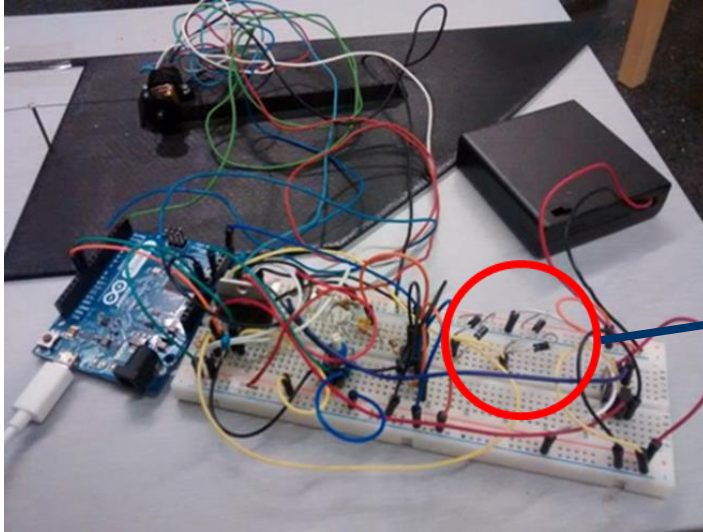
3. Sistema medición y control – Actuación

- Empleo puente H → permite aislar la parte de potencia de la de control.



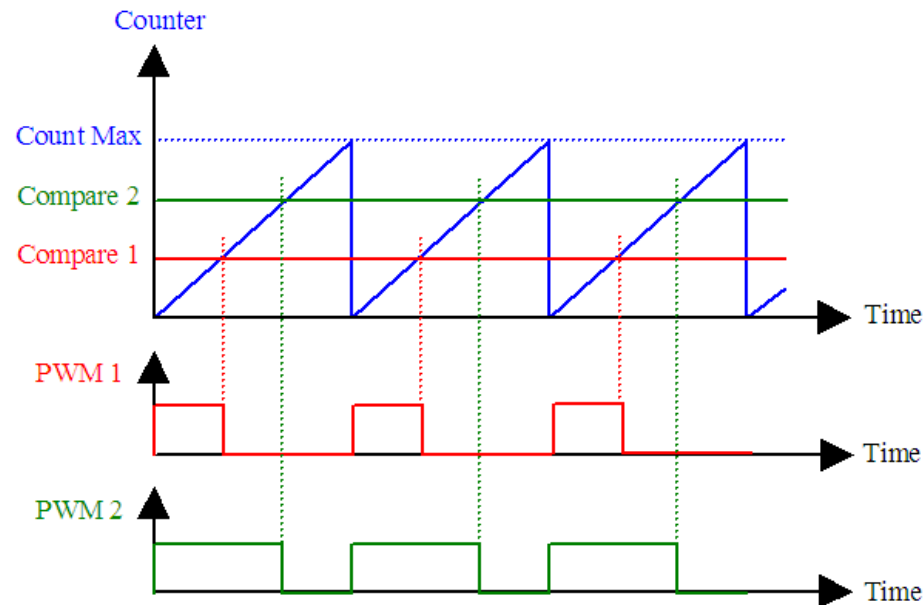
3. Sistema medición y control – Actuación II

■ Diodos



3. Sistema medición y control – Algoritmo control

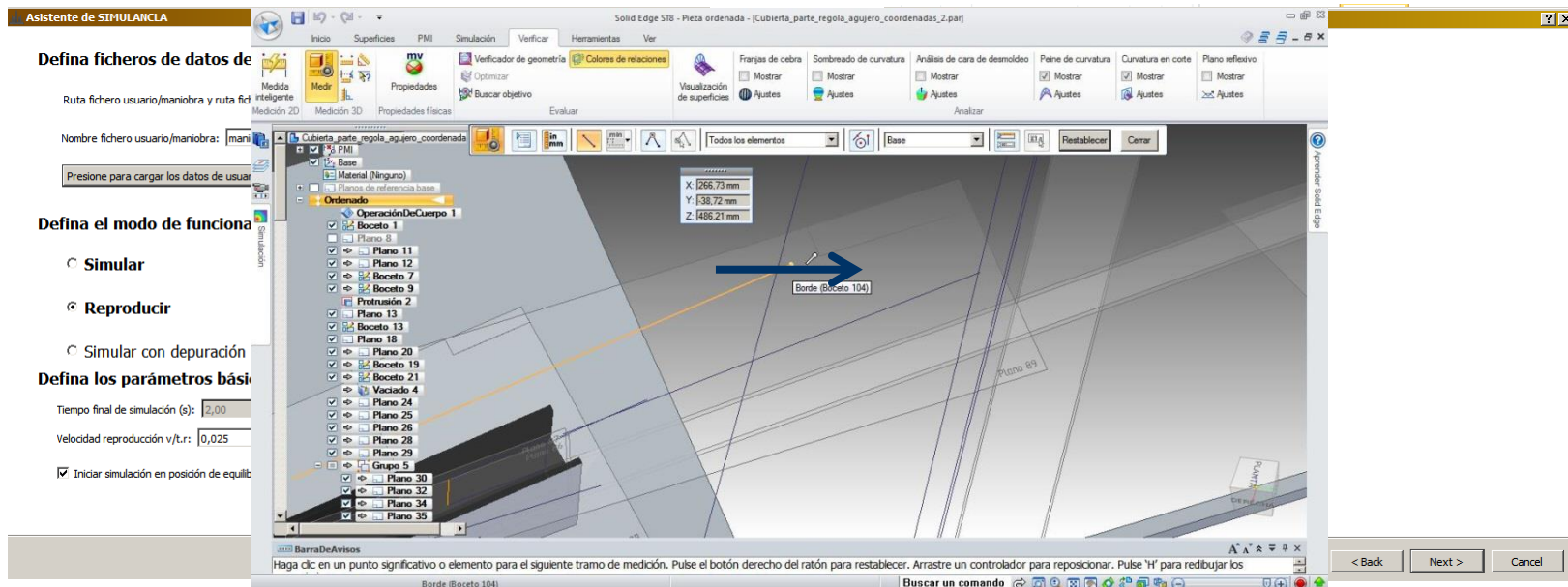
- Algoritmo de control → Arduino → Control del experimento.
- Control mediante PWM (pulse-width modulation).
- Emula una señal analógica a partir de una señal digital.
- Ventaja adicional: transistores en saturación o en corte → menos disipación energía.



- Velocidad giro → Arduino → PWM motor → Velocidad giro deseada.
- Los datos enviados por el Arduino se recuperan en el PC con un script de Matlab para su posterior tratamiento.

4. Simulación del modelo

- **SIMULANCLA:** Dos fases:
 - **Primera fase:** definir paso a paso cada uno de los aspectos del sistema a simular.
 - **Segunda fase:** visualización de la representación gráfica tridimensional del proceso de maniobra.
- Para la primera fase → preparación de los modelos + definición parámetros



4. Simulación del modelo II

Asistente de SIMULANCLA

Introduzca los datos de la CAÑA del ancla:

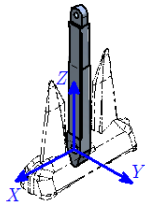
Masa (kg): Fichero CAD caña: ☐ Densidad (kg/m³)

Centro de masas (m):
Xcdm: Ycdm: Zcdm:

Tensor de inercia en el CDM del sólido (kg·m²):
Ixx: Iyy: Izz:
Pxy: Pxz: Pyz:

Coordenadas locales de la articulación con el grillete de la cadena (m):
Xj: Yj: Zj:

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



< Back Next > Cancel

Asistente de SIMULANCLA

Introduzca los datos de las uñas del ANCLA:

Masa (kg): Fichero CAD ancla: ☐ Densidad (kg/m³)

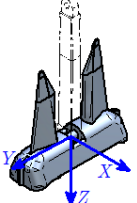
Centro de masas (m):
Xcdm: Ycdm: Zcdm:

Tensor de inercia en el CDM del sólido (kg·m²):
Ixx: Iyy: Izz:
Pxy: Pxz: Pyz:

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

Asistente de SIMULANCLA

Introduzca los datos de la CADENA:

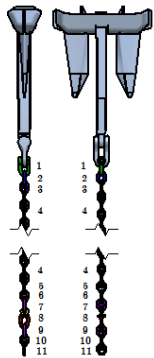
Tipo y número de eslabones:

1	End Shackle	0
2	End Link	1
3	Enlarged Link	1
4	Swivel	1
5	Common Link	25
6	Kenter Link	1
7	Common Link	1
8	Enlarged Link	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):

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

☐ Densidad (kg/m³)



< Back Next > Cancel

Asistente de SIMULANCLA

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

Fichero CAD grillete: ☐ Densidad (kg/m³)

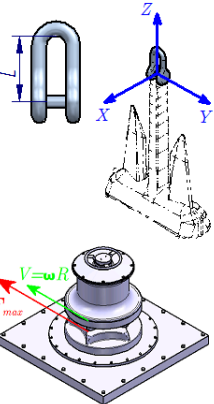
Tensor de inercia en el CDM del grillete (kg·m²):
Ixx: Iyy: Izz:

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

Introduzca los datos del MOLINETE:

Fuerza máxima de tiro del molinete (N):

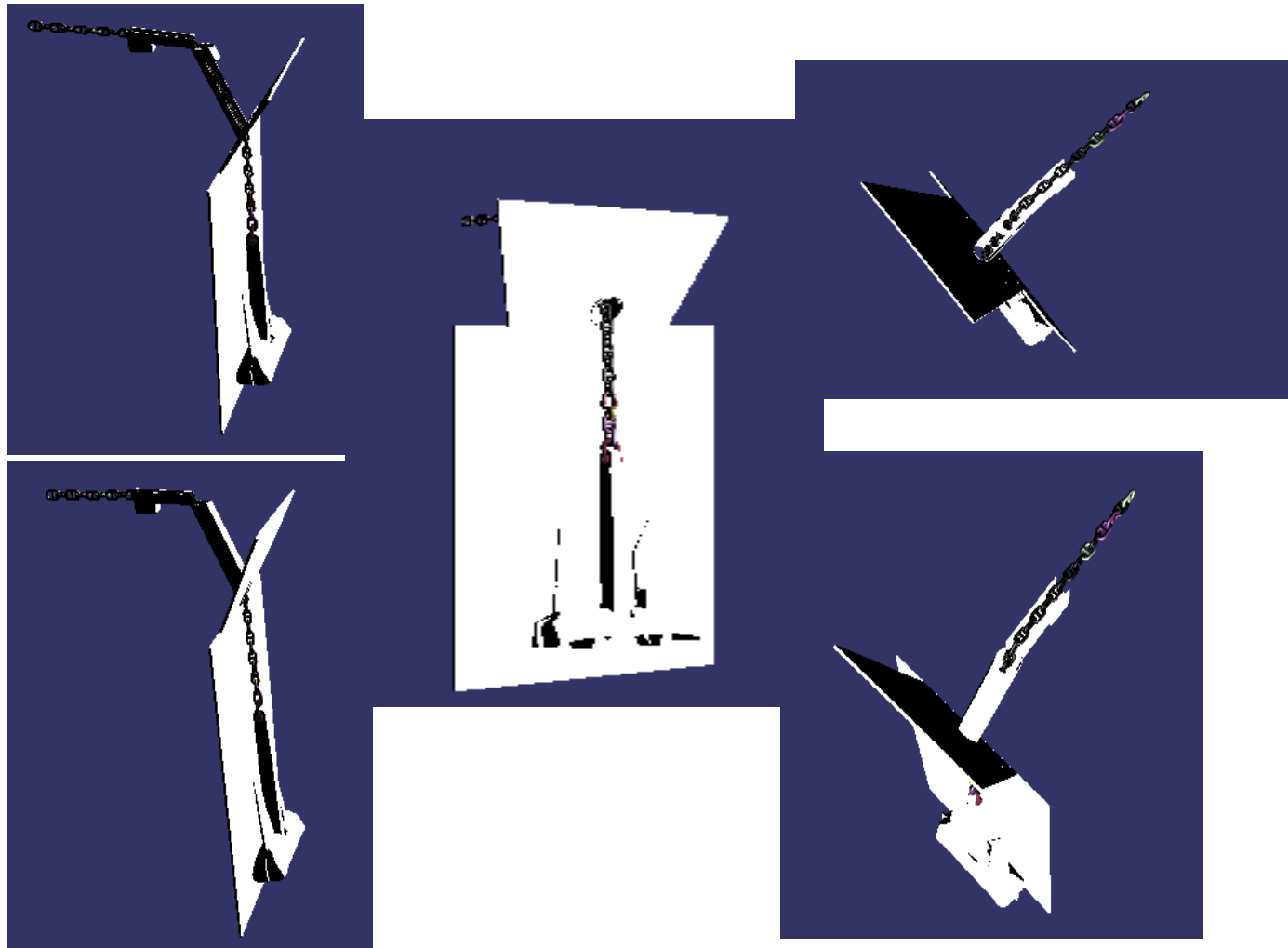
Velocidad lineal de tiro del molinete (m/s):



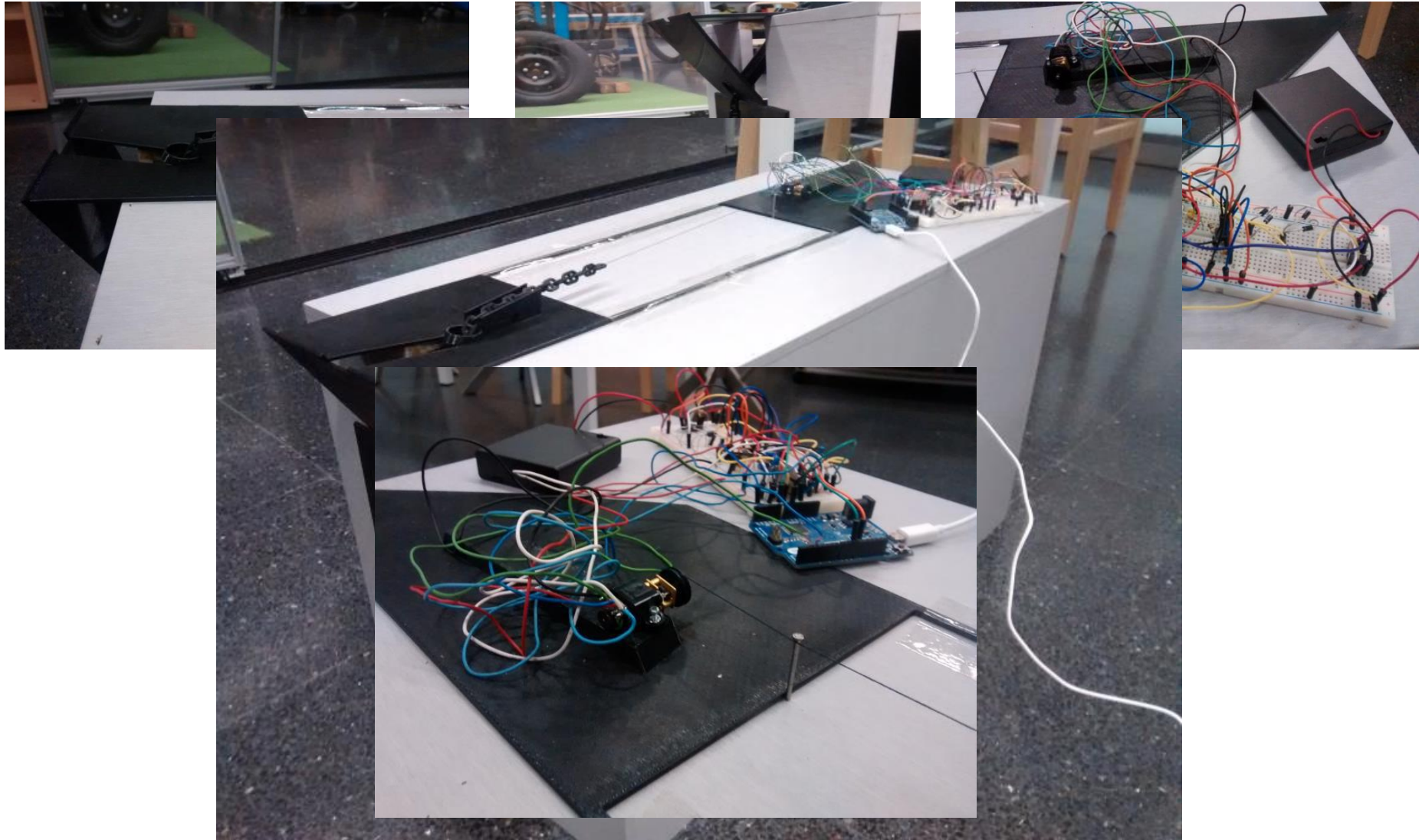
< Back Finish Cancel

4. Simulación del modelo III

- Segunda fase. Dos simulaciones



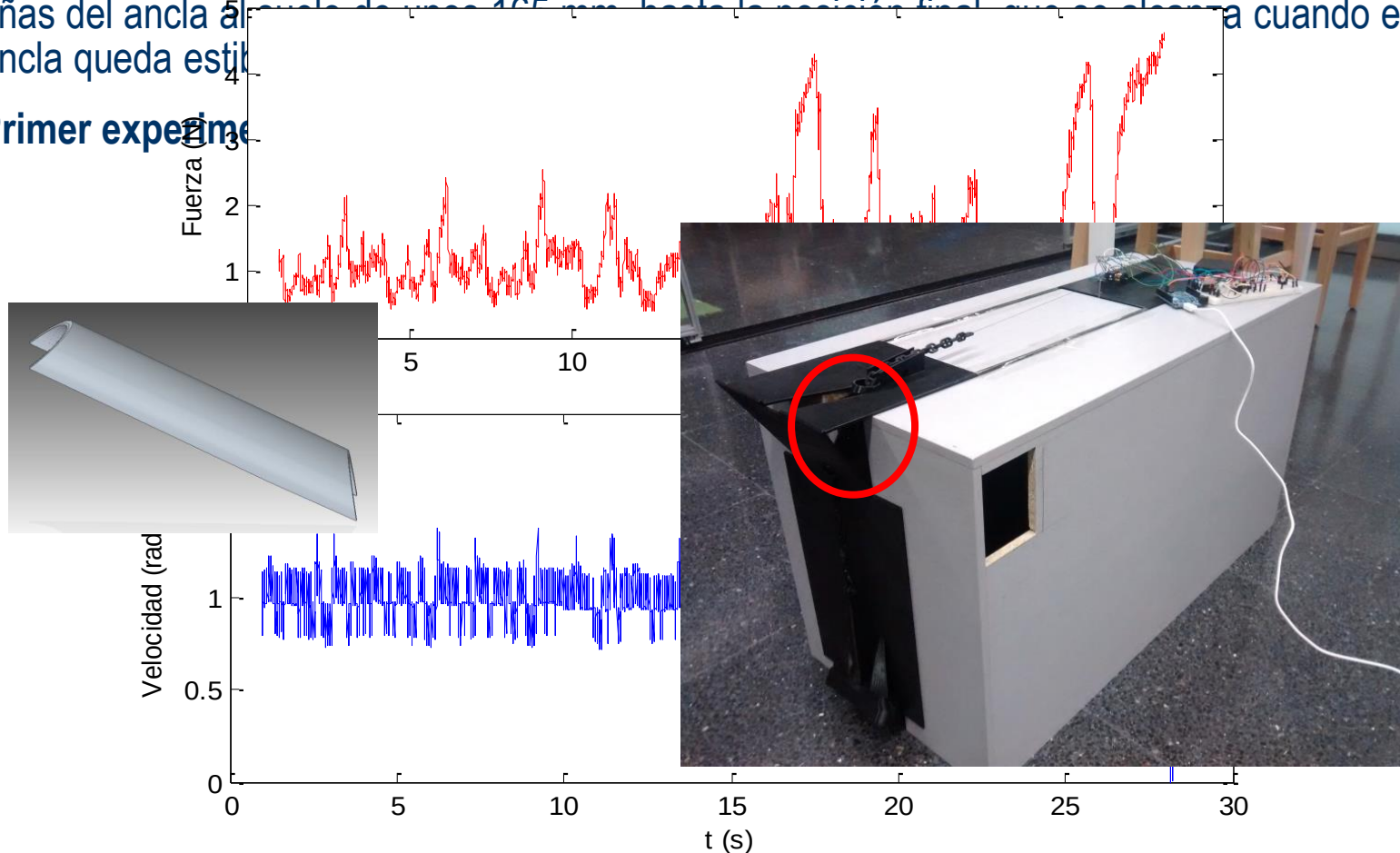
4. Ensayo del modelo



5. Resultados experimentales – Primer experimento

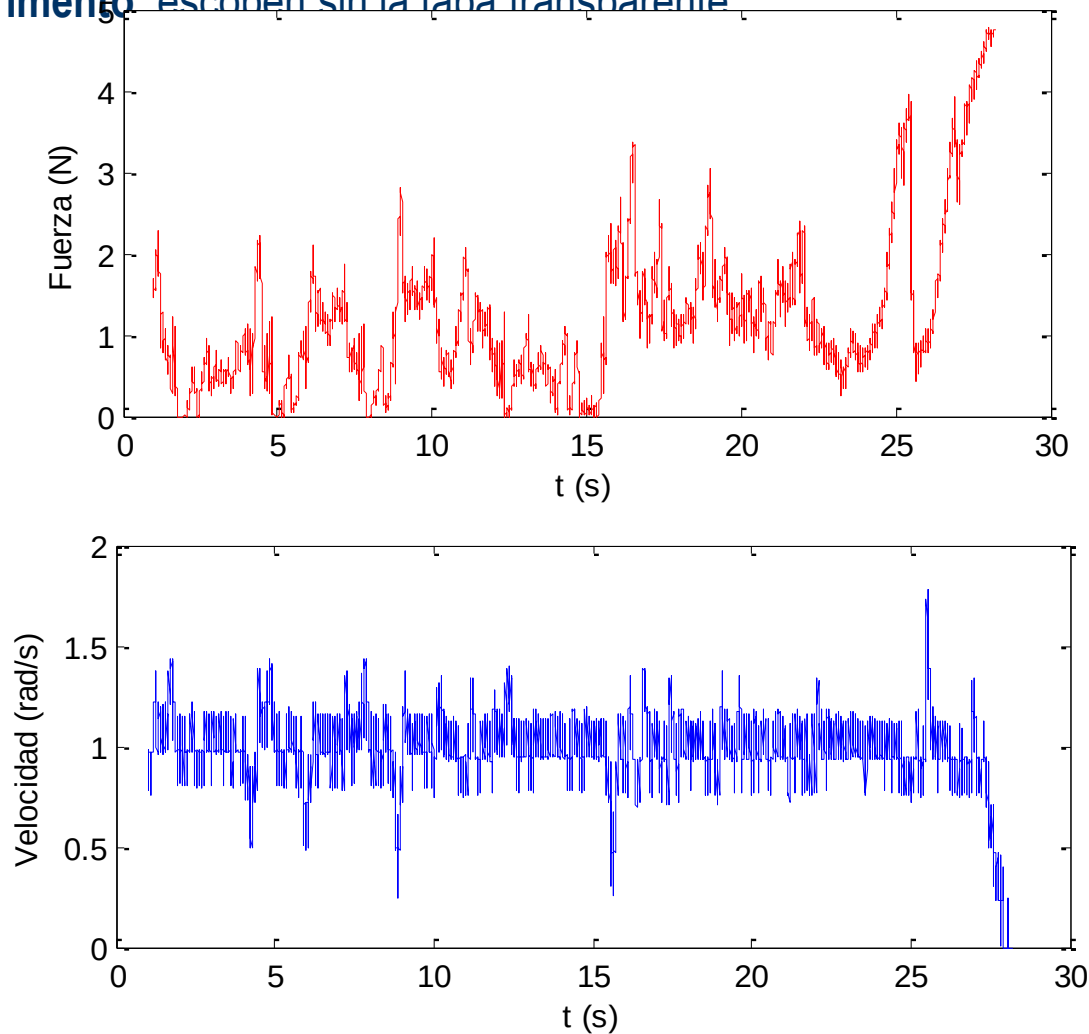
- Dos experimentos, desde posición inicial, que se sitúa a una distancia de la punta de las uñas del ancla al punto de sujeción de 165 mm hasta la posición final que se alcanza cuando el ancla queda estirada.

- Primer experimento

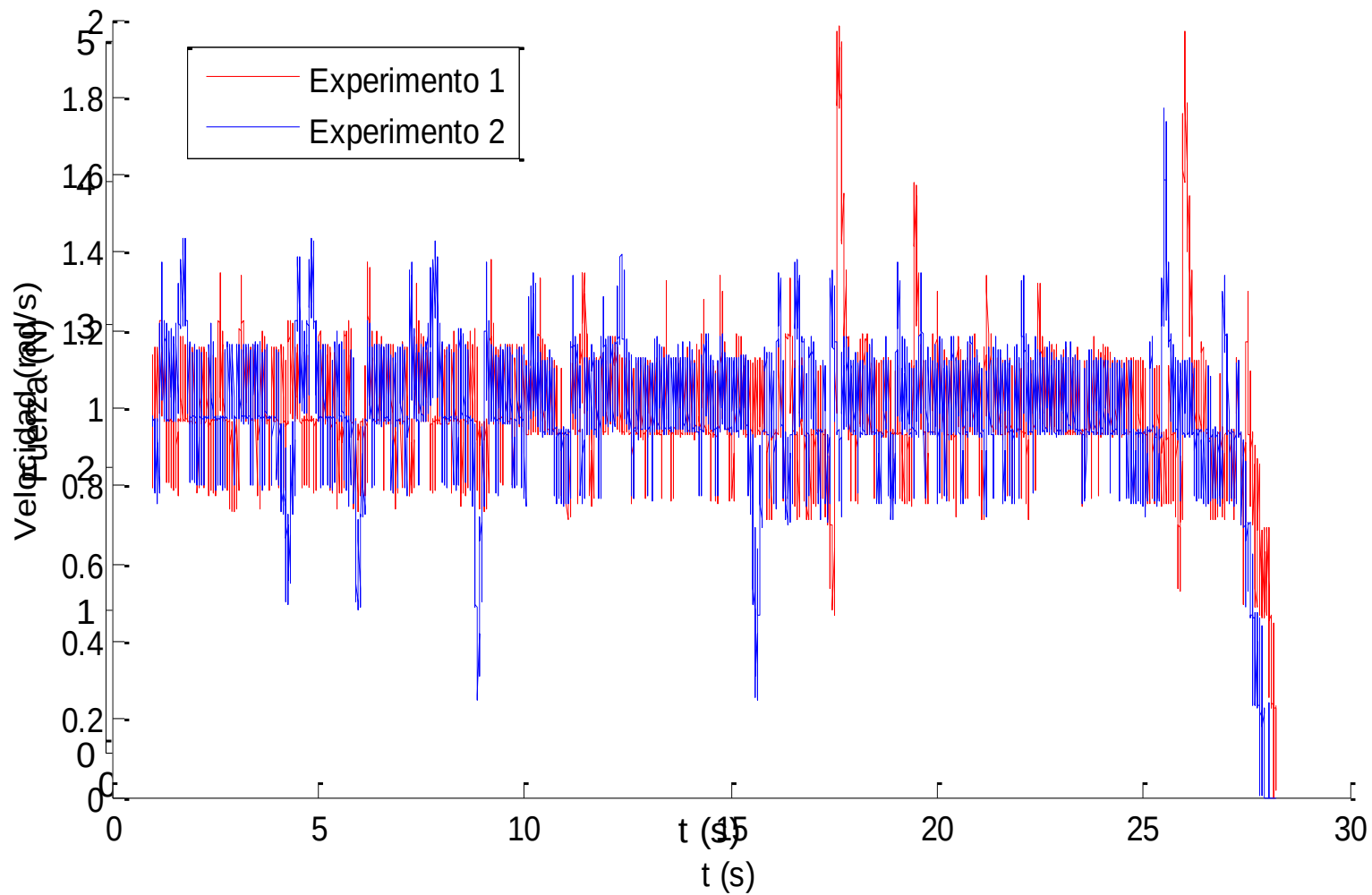


5. Resultados experimentales – Segundo experimento

- Segundo experimento: escohén sin la tana transparente



5. Resultados experimentales – Comparativa



6. Conclusiones

- Los modelos de CAD fueron adaptados y modificados para permitir su impresión 3D.
- Se diseñó el sistema de control y medida.
 - Se preparó el sistema para medir y controlar la velocidad.
 - Se preparó el sistema para medir la fuerza de tiro.
 - Se diseñó el sistema de amplificación y filtrado.
 - Se programó el Arduino para permitir el control del experimento.
 - Se programó un script en Matlab que permite la adquisición de los datos enviados por el Arduino.
- Se diseñó el sistema de tiro para ejecutar la maniobra de fondeo.
- Se preparó la simulación de la maqueta. Por falta de tiempo, como se indicó en la introducción, y diversos errores encontrados con el programa sólo se consiguió la obtención de la posición inicial.
- Se llevaron a cabo los experimentos con la maqueta y se obtuvieron las gráficas que muestran los resultados.
- Todo ello creó un sistema que podrá ser utilizado para la posterior validación del software SIMULANCLA.

Gracias por su atención