

# DISEÑO DE UNA PRÓTESIS CANINA PARA MARCHA MEDIANTE CAPTURA DE MOVIMIENTO Y SIMULACIÓN NUMÉRICA

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  
Escola Politécnica de Enxeñaría de Ferrol  
Universidade da Coruña  
2223\_GETI\_1

Autora:  
Noemi Picos Pérez  
Tutores:  
Alberto Luaces Fernández  
Florian Michaud

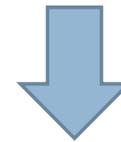
# ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. ALCANCE**
- 3. REQUISITOS DE DISEÑO**
- 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES**
- 5. RESULTADOS FINALES**
- 6. TRABAJOS FUTUROS**

# 1. INTRODUCCIÓN - PROBLEMÁTICA



- Accidentes.
- Enfermedades.
- Condiciones degenerativas.
- Problemas congénitos.
- Extremidades delanteras o traseras.
- Diferencia de tamaños.



**Necesidad de un tratamiento personalizado.**

# 1. INTRODUCCIÓN - SOLUCIONES

## INCONVENIENTES PRÓTESIS GENÉRICAS

- Elevado coste.
- Grado de personalización limitado.



## BENEFICIOS PRÓTESIS IMPRESAS EN 3D

- Accesibilidad económica.
- Adaptación personalizada.

## 2. ALCANCE

- Diseño y fabricación de la prótesis mediante impresión 3D.
- Mejora de la movilidad del animal.
- Adaptación personalizada.
- Ligereza y resistencia.
- Facilidad de reparación y reproducción.
- Accesibilidad económica.



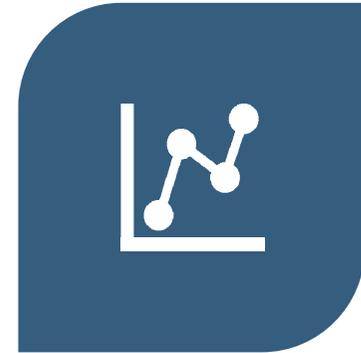
# 3. REQUISITOS DE DISEÑO



**RECOPIACIÓN DE  
DATOS  
EXPERIMENTALES**



**TRATAMIENTO DE  
DATOS**



**ANÁLISIS DE LA  
INFORMACIÓN**

# RECOPIACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

## REGLAMENTACION PARA EXPERIMENTACIÓN CON ANIMALES

- Campus universitarios.
- Comité de ética.
- Consentimiento de los propietarios.



Valencia, a 31 de julio de 2024

El Comité de Ética en Experimentación Animal de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, reunido el día 31 de julio de 2024, basándose en la legislación vigente,

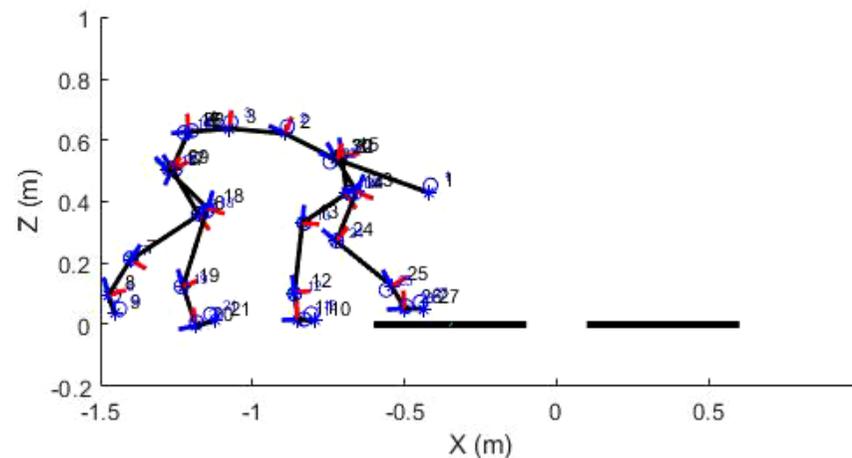
### ACUERDA

Informar **FAVORABLEMENTE** el procedimiento registrado con el código CEEAUCV2405, presentado por D. Florian Guy Bernard Michaud y titulado "Análisis de marcha en perros (*Canis lupus familiaris*) para el diseño de prótesis impresas en 3D".

# RECOPIACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

## CAPTURA DE MOVIMIENTO

Técnica empleada para registrar movimientos de personas, animales u objetos con el fin de digitalizarlos para que los datos obtenidos puedan ser empleados en análisis biomecánicos, animación u otros fines.

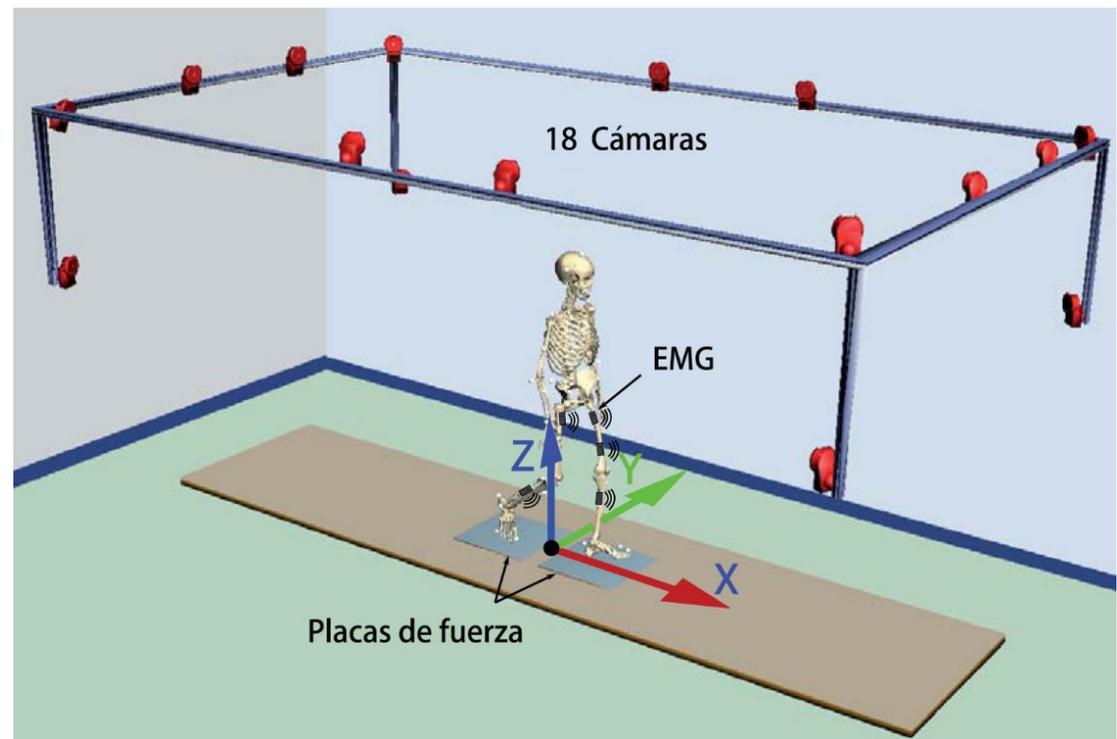


# RECOPIACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

## MATERIAL

### MATERIA L

- 18 cámaras infrarrojas (OptiTrack Flex3).
- 27 marcadores reflectantes.
- 2 placas de fuerza.

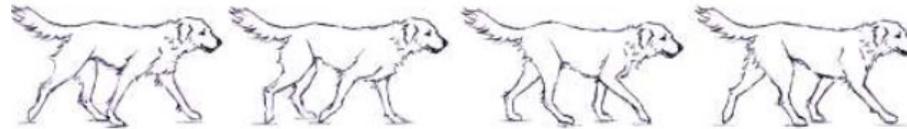


Sistema de captura óptico pasivo

# RECOPILOCIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

## ANÁLISIS DE LA MARCHA

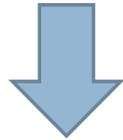
Captura de un ciclo de marcha completo del perro lesionado y del perro sano.



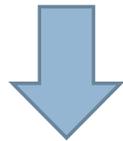
# TRATAMIENTO DE DATOS

## RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO - DEFINICIÓN DE SÓLIDOS RÍGIDOS

Reconstrucción trayectorias de los marcadores.

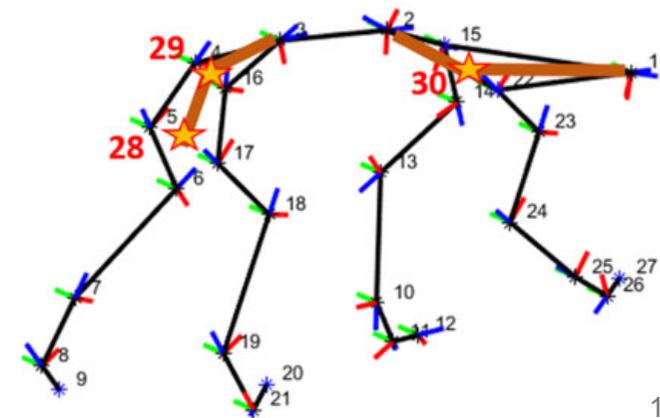
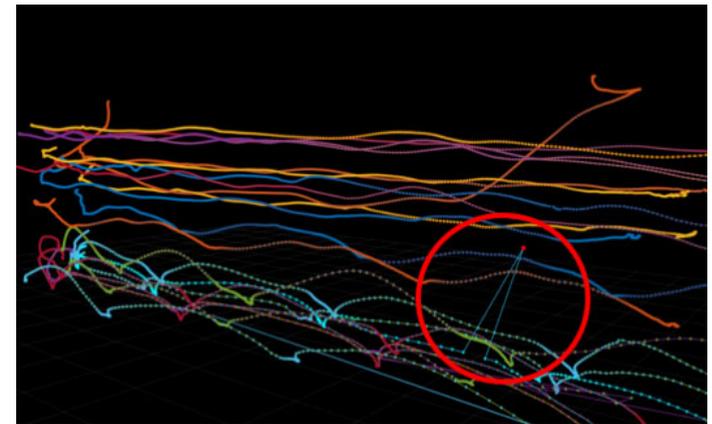


Identificación manual de los marcadores.



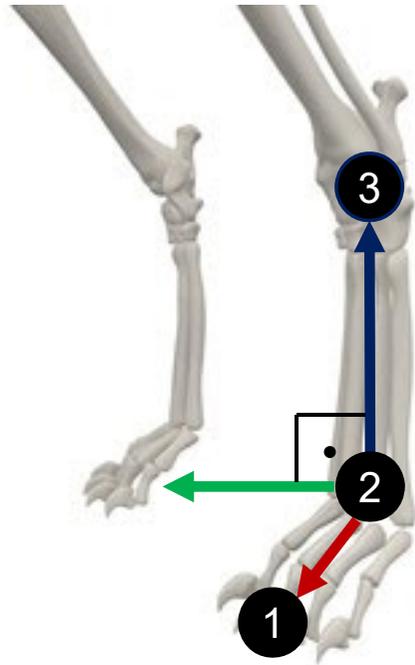
Reconstrucción del modelo:

- 23 sólidos rígidos.
- 27 marcadores.
- 3 puntos adicionales.

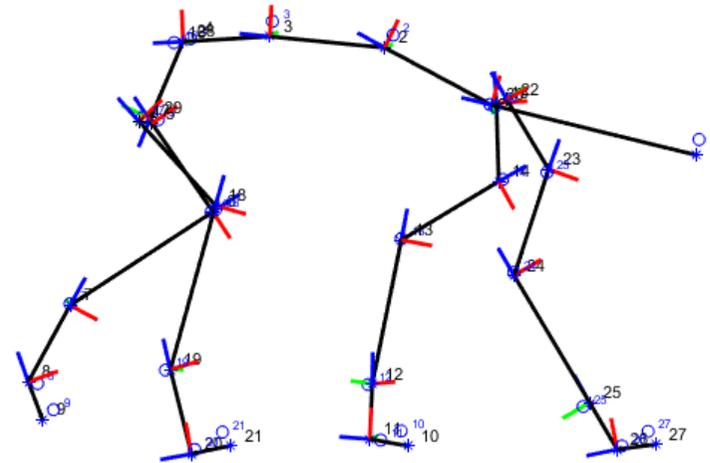


# TRATAMIENTO DE DATOS

## RECONSTRUCCIÓN DEL MODELO – ORIENTACIÓN DE SÓLIDOS RÍGIDOS



Los desplazamientos y matrices de rotación en 3D de cada solido se calcularon a partir de 3 puntos (marcadores o puntos adicionales)



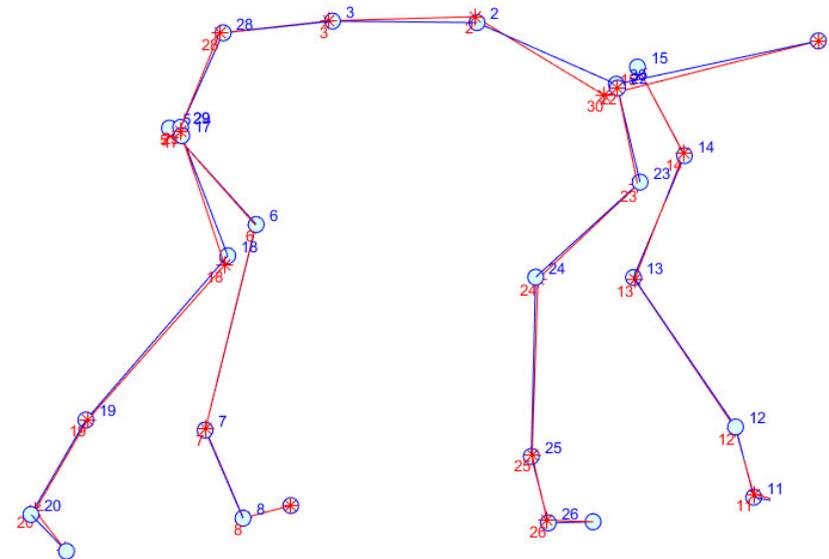
# TRATAMIENTO DE DATOS

## CORRECCIÓN DEL MODELO

- Puntos externos a los centros de las articulaciones.
- Cálculo de consistencia cinemática:  
Modelo con dimensiones constantes.



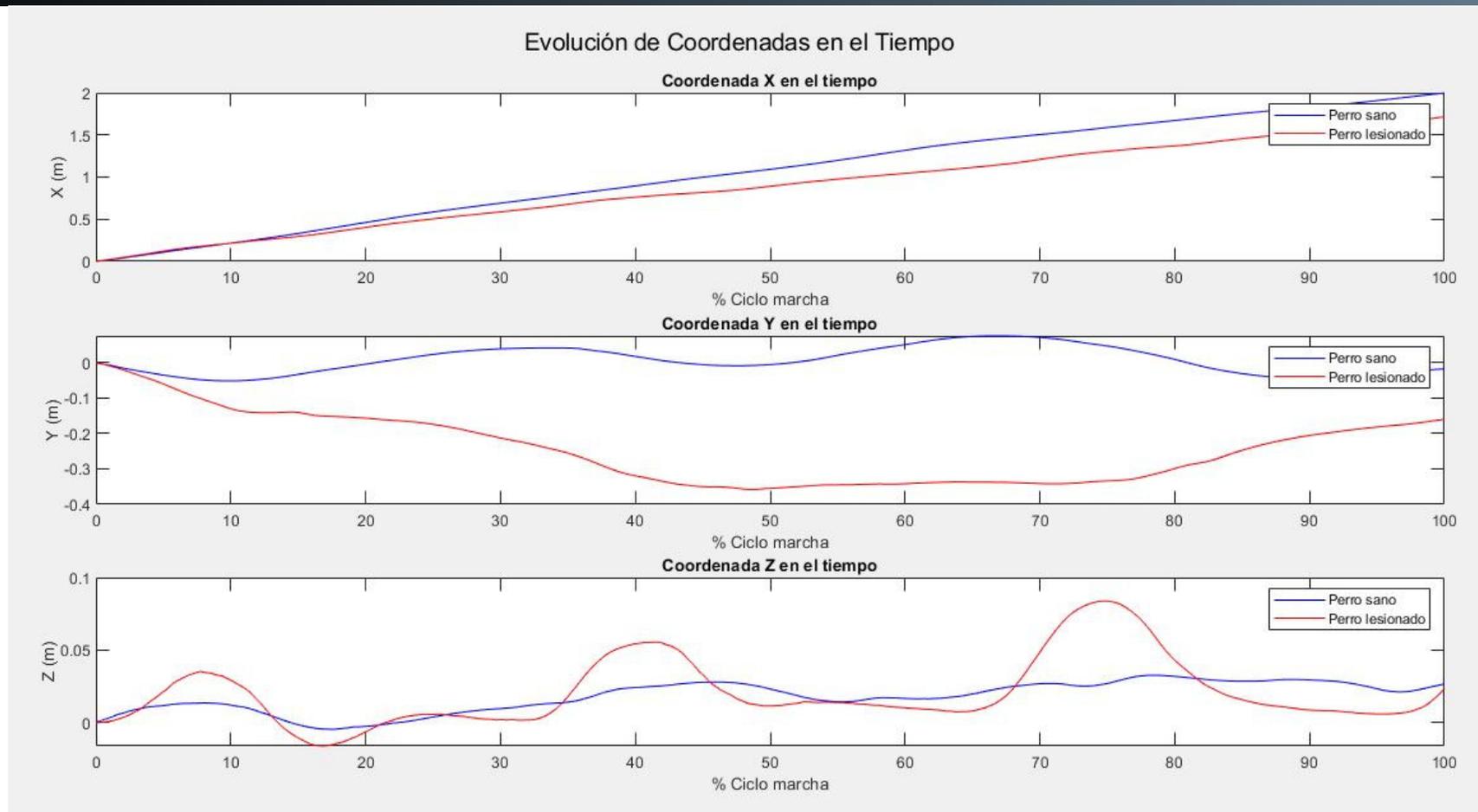
Optimización de las longitudes de los sólidos.



■ Puntos exteriores.  
■ Puntos centro articulaciones.

# ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

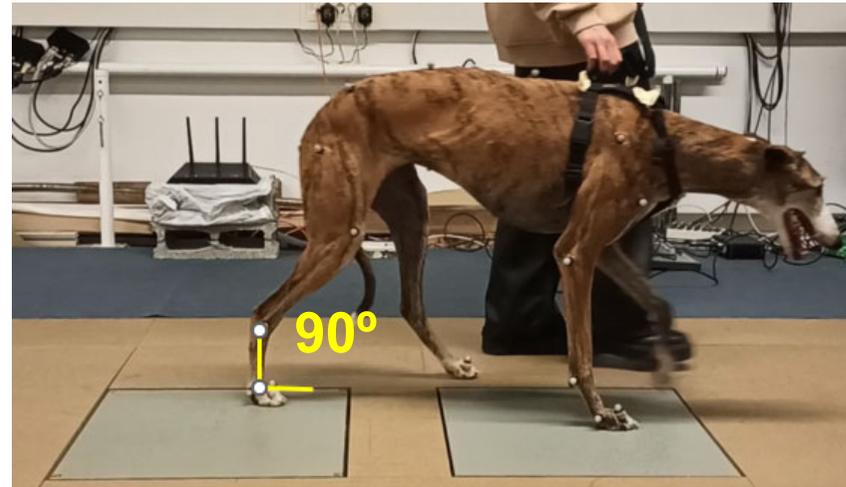
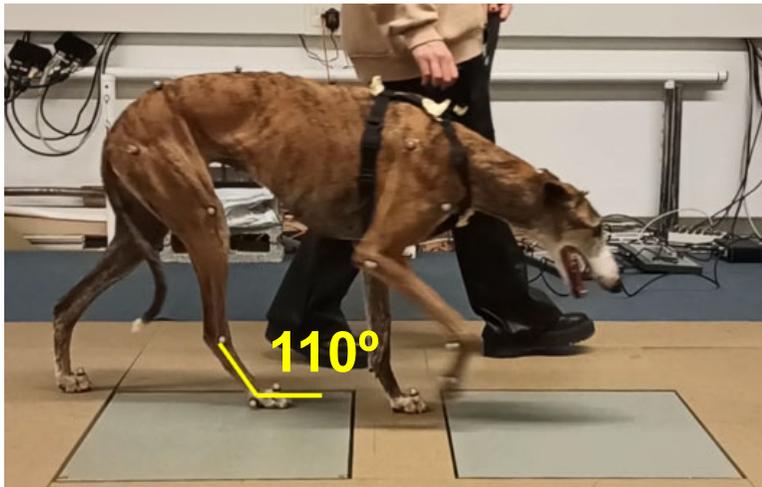
## COMPARATIVA DE LA MARCHA DEL PERRO LESIONADO CON EL PERRO SANO



# ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

## ÁNGULO DEL PIE

Ángulo relativo entre metatarso y falange.

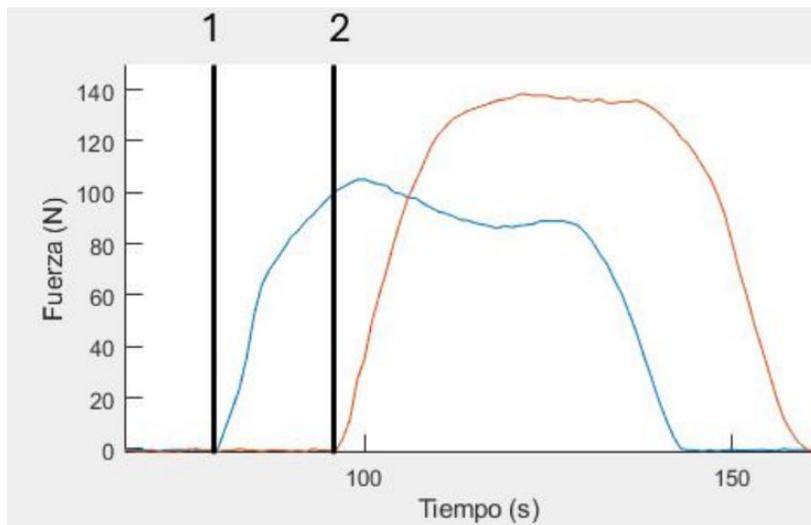


Variación ángulo entre 110° y 90° en la fase de apoyo (carga).

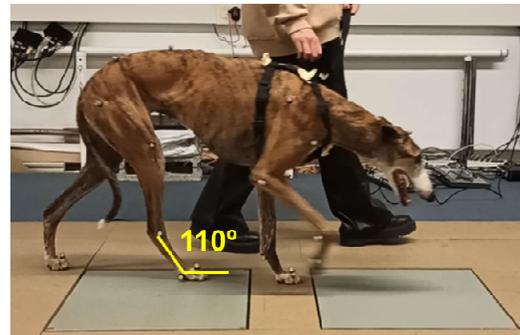
# ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

## VALOR RESULTANTE DE LA FUERZA

Valor obtenido directamente de las placas de fuerza.



Instante 1

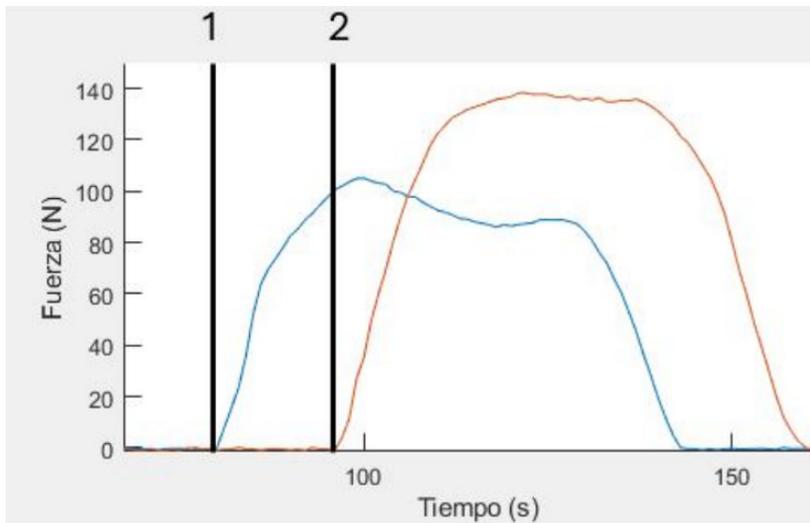


Instante 2



Variación de la fuerza de 100N en el pie de la pata trasera en la fase de apoyo.

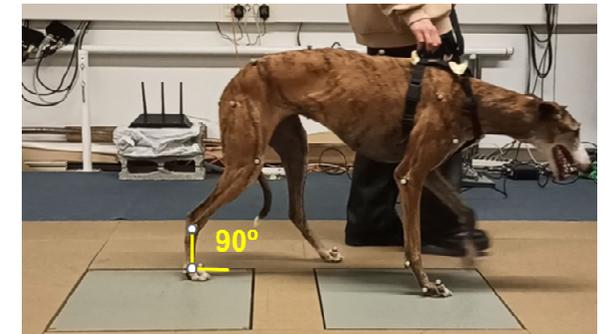
# 3. REQUISITOS DE DISEÑO



Instante 1



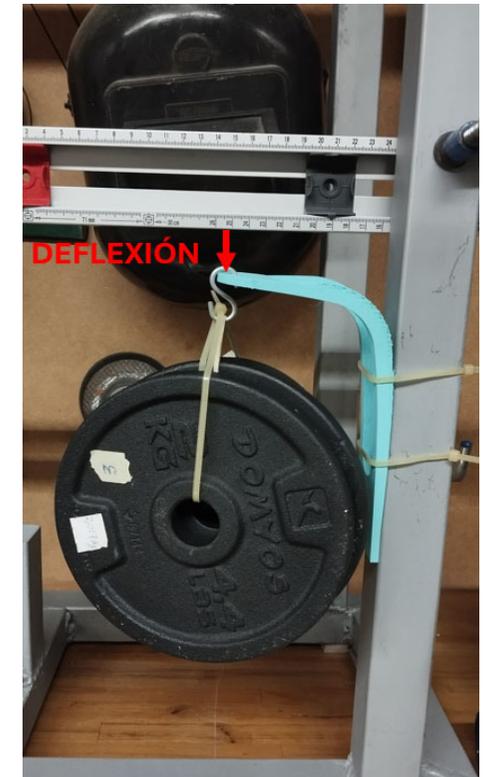
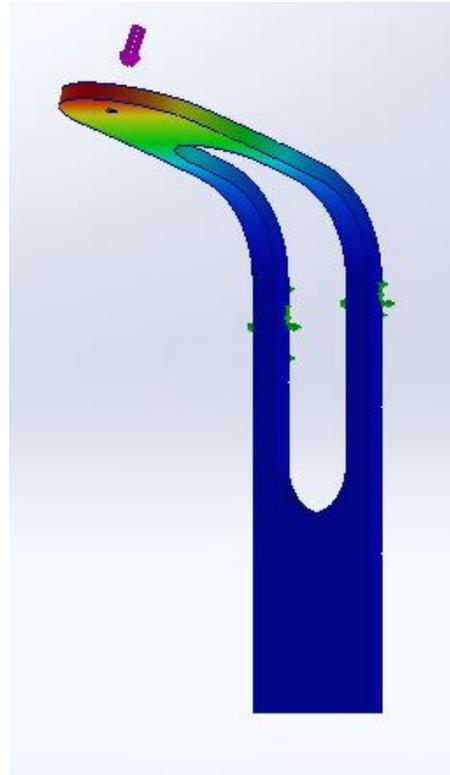
Instante 2



- Variación del ángulo del pie entre 110° y 90°.
- Variación de la fuerza de 100N en la fase de apoyo (carga).

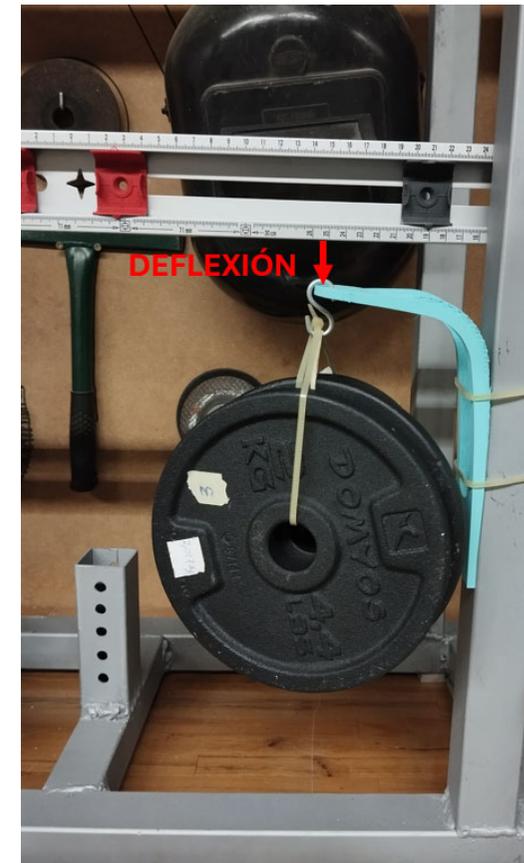
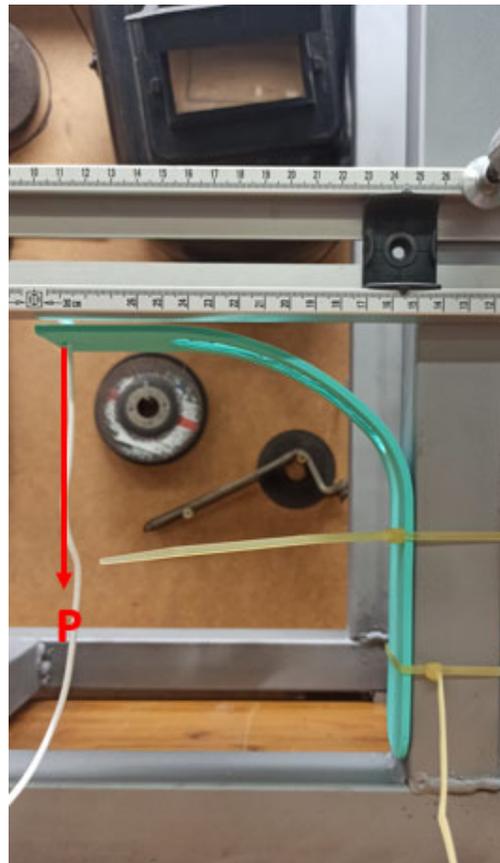
# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

- Validación por simulación numérica.
- Validación por pruebas experimentales.



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

- Soporte
- Bridas
- Nivel
- Abrazaderas
- Ganchos
- Cuerda
- Pesos
- Prototipos



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

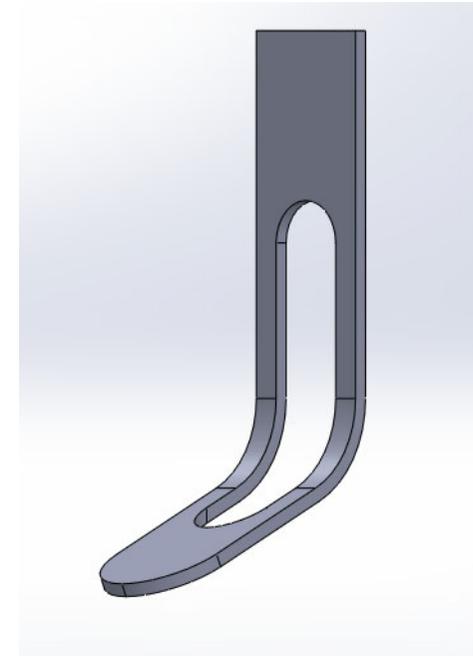
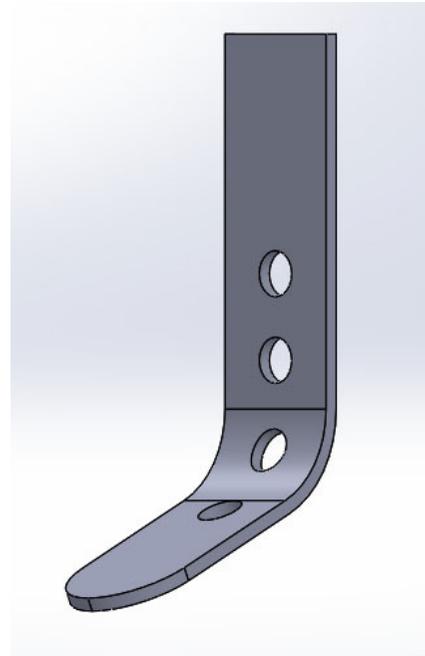
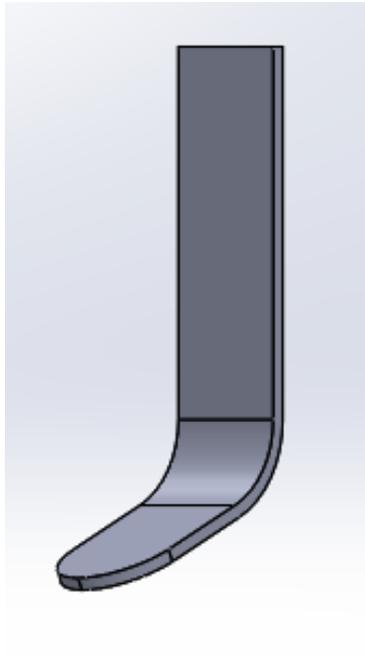
## SOLUCIONES CON PLA

- ✗ Poca flexibilidad.
- ✗ Riesgo de rotura abrupta.



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

## SOLUCIONES CON PLA



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

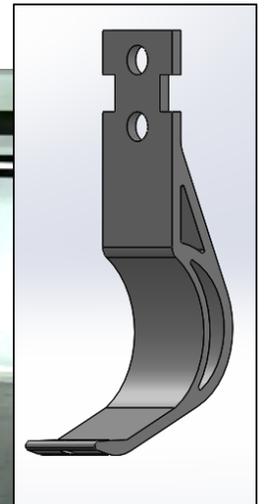
## SOLUCIONES CON TPE

✓ Material más flexible que el PLA.

✓ Económico y ligero.

✗ Problemas de impresión debidos al material.

- Ensayo de piezas impresas parcialmente.
- Material descartado por la dificultad de impresión.



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

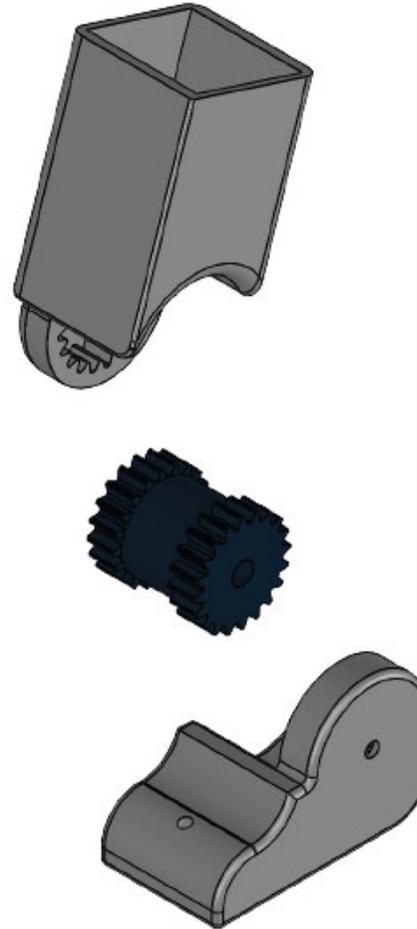
## SOLUCIONES CON TPU

- ✓ Material más flexible que el PLA.
- ✓ Económico y ligero.
- ✓ Facilidad de impresión.

✗ Demasiado flexible.

Nuevo diseño ensamblaje de 3 piezas:

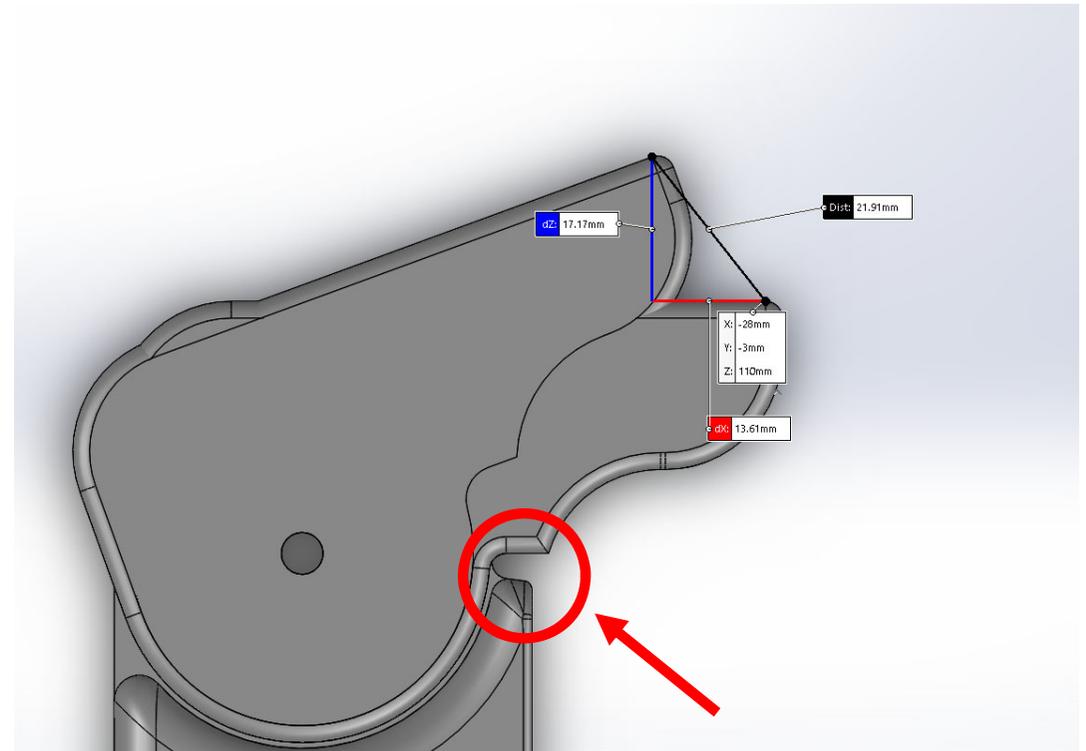
- Metatarso PLA
- Falange PLA
- Articulación = junta elástica TPU



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

## SOLUCIONES CON TPU

- Medida de la deflexión sufrida al pasar de la posición de reposo,  $110^\circ$ , a la posición de máxima carga
- Valor ángulo deflexión buscado:  $90^\circ$ .
- Simulación y medición desplazamiento vertical
- En caso de sobrecarga, el diseño cuenta con un tope mecánico a un ángulo de  $80^\circ$ .

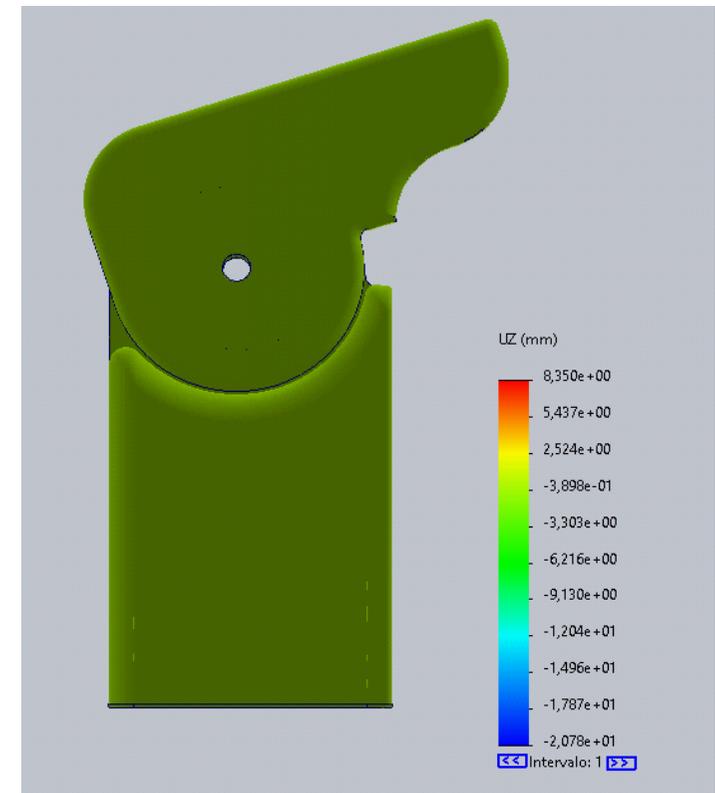
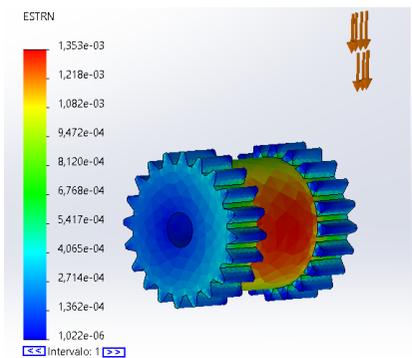


# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

## SOLUCIONES CON TPU

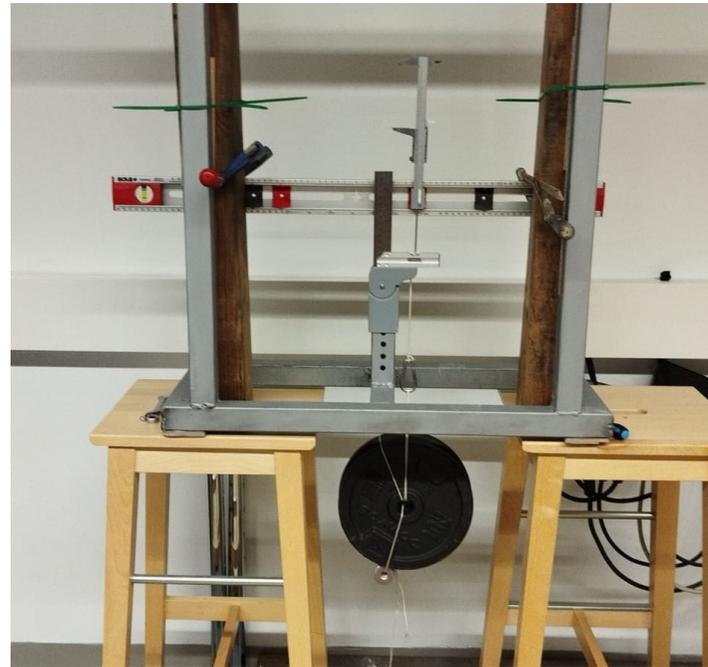
Determinación del espesor de la sección cilíndrica de la junta elástica.

- Simulación de carga estática lineal (deformaciones grandes).
- Simulación por ordenador más compleja (ensamblaje).
- Caracterización del material imprecisa.



# 4. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

## ENSAYOS CON TPU



**Aproximación de la solución final con pruebas experimentales.**

# 5. RESULTADOS FINALES

- Prótesis impresa en 3D con PLA y TPU.
- Réplica del ángulo del pie producido en el proceso de la marcha y soportar las cargas resultantes.



# 6. TRABAJOS FUTUROS



**EVALUACIÓN DE LA  
FUNCIONALIDAD DE LA  
PRÓTESIS EN EL  
ANIMAL**



**INVESTIGACIÓN DE  
MATERIALES MÁS  
CONFORTABLES Y  
ANTIDESLIZANTES**



**OPTIMIZACIÓN DEL  
PROCESO DE  
RECOPIACIÓN DE  
DATOS**



**MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**