



Plataforma de simulación dinámica y control de movimiento humano basado en OpenSim y MATLAB

AUTOR: Carlos Alberto Díaz Hernández

DIRECTORES: Juan Suardíaz Muro y Fernando Cerdán Cartagena

Octubre 2013

Contenido

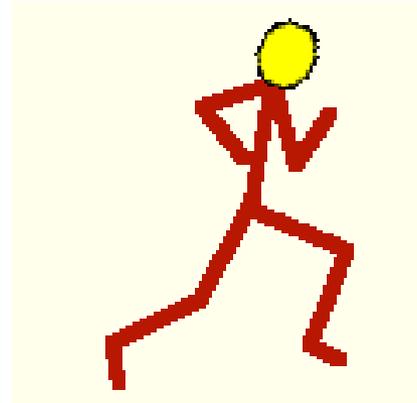
1. Introducción
 - Objetivos
2. Modelado del Sistema Músculo-Esquelético
3. Resultados
4. Conclusiones

INTRODUCCIÓN

Introducción



Sistema músculo-esquelético



Mecanismo de movimiento

Áreas de aplicación:

- Entrenadores personales y de élite
- Instructores de gimnasio,
- Entrenadores-acondicionadores,
- Enfermeros y cirujanos,
- Fisioterapeutas,
- Biomecánicos del deporte, ...

Biomecánica

La **biomecánica** es un área de conocimiento interdisciplinaria que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento y al equilibrio de los seres vivos.

Áreas implicadas:

- Mecánica,
- Anatomía
- Fisiología, etc.

Áreas de aplicación:

- Fisiología
- Patología
- Forense,
- Ergonomía y seguridad laboral
- Seguridad social y defensa,
- deporte

Priorizando los desarrollos

Inicial: Desarrollar una interfaz entre MATLAB/Simulink y SimTK OpenSim para simular modelos músculo-esqueléticos

Final: Desarrollar un modelo de músculo-tendón que permita desarrollar un modelo músculo-esquelético

Objetivos

Objetivo general

Desarrollo de un modelo reducido músculo-esquelético humano en dos dimensiones.

Objetivos específicos

- Desarrollar un modelo músculo-tendón en dos dimensiones,
- Mejorar el modelo desarrollado de acuerdo con los últimos resultados en el ciclo de estiramiento-contracción del músculo, y
- Validar el modelo.

MODELADO DEL SISTEMA MÚSCULO- ESQUELÉTICO

Modelado del sistema músculo-esquelético

Modelo músculo-esquelético contra medición directa

Simulaciones dinámicas del movimiento

- Coordinación neuromuscular,
- Análisis del rendimiento de los atletas y
- Estimar la carga interna del sistema músculo-esquelético.

Las simulaciones permiten identificar fuentes de movimientos patológicos y establecer una base científica para la planificación de tratamiento quirúrgico

Sistema Músculo-Esquelético

Tipo de cálculo	Dim	Seg	DoF	Driven	Control	Refs.
Control óptimo	3D	9	20	32MG		[19]
Control óptimo	3D	9	20	32MG	Modelado como funciones step con duración constante.	[31]
Control óptimo	2D	4	4	6MG	Definido por el instante de máxima activación.	[30]
Control óptimo	3D	10	23	54MG	Interpolación lineal	[27]
Dinámica directa asistida por seguimiento de datos	2D	4	3	9MG	Aproximado por polinomios	
Control óptimo	2D	4	4	8MG	Interpolación lineal	[8]
Control óptimo	2D	4	4	8MG	Control todo/nada	[29]
Control óptimo	2D	4	4	8MG	Control todo/nada	[32]

Estudios previos simulando saltos verticales y teniendo como objetivo la altura máxima.

Dim = dimensiones, SEG = segmentos, y DoF = grados de libertad, MG = Grupo de músculos.

Herramientas de Modelado Biomecánico

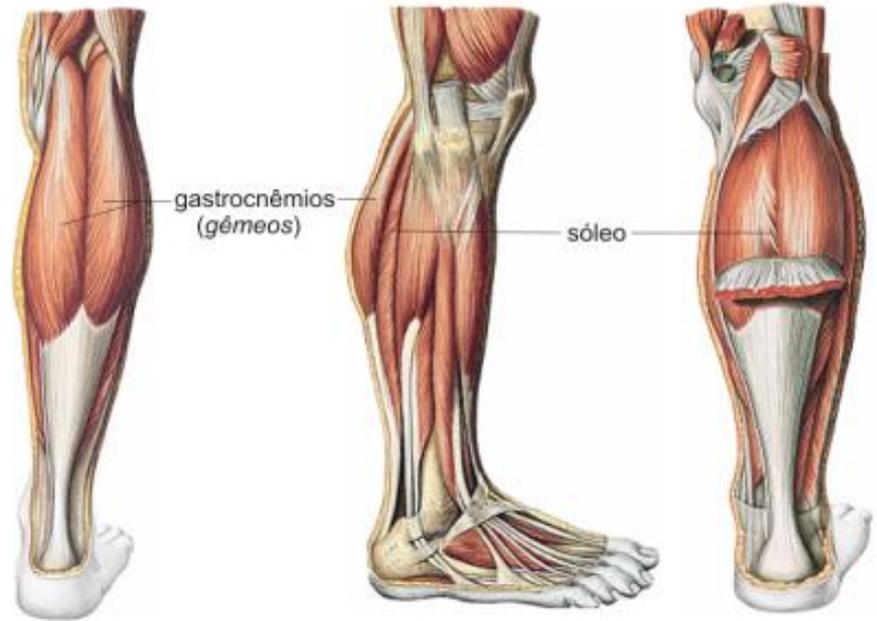


MATLAB/Simulink & VirtualMuscle



El Modelo

- Propósito:
 - El propósito del modelo de la unidad músculo-tendón es incorporarla a un modelo músculo-esquelético.
 - Por lo tanto, la simulación se realiza utilizando un modelo músculo-esquelético que consiste de solamente un grado de libertad, dos segmentos y un músculo, el músculo sóleo.



Modelo músculo-esquelético (MS)

- Suposiciones
 - Modelo 2D
 - El movimiento en el plano transversal fue asumido pequeño e ignorado
 - Segmentos incluidos:
 - Pie y
 - Pantorrilla

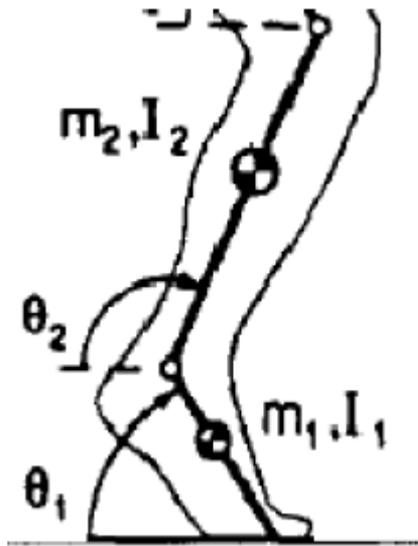


MS: Parámetros del Modelo

- La fuerza isométrica máxima, la longitud óptima de la fibra en la fuerza isométrica máxima y la longitud del tendón en distensión

Parámetro específico	OpenSim
Fuerza isométrica máxima	4000N
Longitud óptima de la fibra	0.08m
Longitud del tendón en reposo	0.22m
% tendón	73.3%

MS: Datos antropométricos



m_i masa

L_i longitud

I_i inercia

$$\theta_{pie} = \frac{180\theta_1}{\pi} - 34$$

$$\theta_{tobillo} = \frac{180\theta_1}{\pi} - 34 + 90 - \frac{180\theta_2}{\pi}$$

	Masa (kg)	Longitud a COG (m)	Longitud (m)	Inercia (m4)
Pie	2.2	0.095	0.175	0.008
Pantorrilla	7.5	0.274	0.435	0.065
Muslo	15.15	0.251	0.400	0.126
HAT	51.22	0.343	0.343	6.814

Datos antropométricos de referencia, masa total del individuo 76 kg.

MS: Brazo de Momento de la unidad Músculo-Tendón

- Función del **ángulo de la articulación**, la contracción y la trayectoria del músculo.

$$r_{MT} = 0.0414 - 2.37 \times 10^{-4} \theta_{Tobillo} - 5.55 \times 10^{-6} \theta_{Tobillo}^2$$

SIMM

MS: Cambio de longitud de la unidad Músculo-Tendón

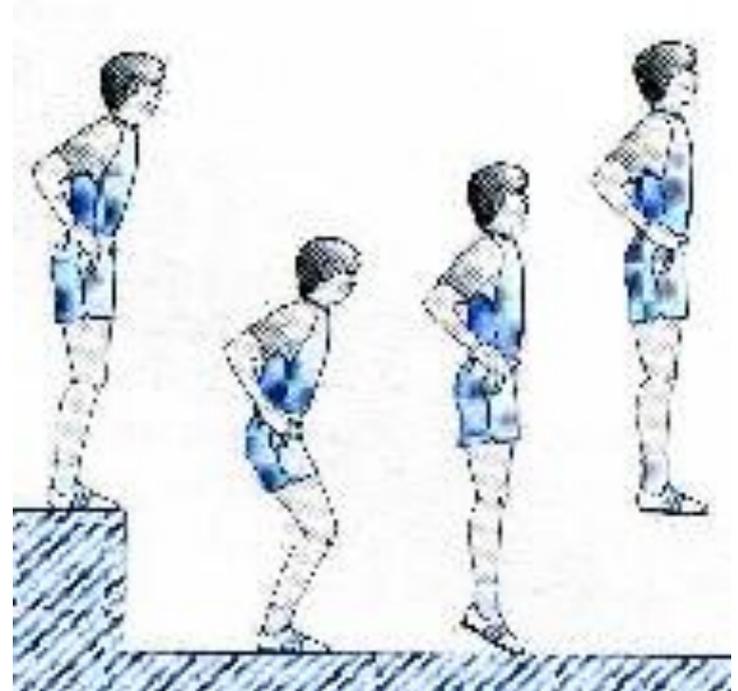
- M. Sóleo:

$$l_{MT} = \sqrt{\left(l_1 \cos(\theta_1) + 0.7l_2 \cos(\pi - \theta_2) - 1.1l_1 \cos\left(\theta_1 - \frac{2\pi}{18}\right) \right)^2 + \left(l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\pi - \theta_2) + 1.1l_1 \sin\left(\theta_1 - \frac{2\pi}{18}\right) \right)^2}$$

Ángulo de las articulaciones y del tobillo

Simulación del Salto de Cascada

- Fases de contacto durante el salto
- Movimiento rápido y con fuerzas grandes
- Fuerza isométrica máxima (sóleo) = 7000N
- Salto de 50 cms
 - Velocidades angulares iniciales:
 - $\theta_{Pie} = -353^\circ/s$
 - $\theta_{Tobillo} = 471^\circ/s$



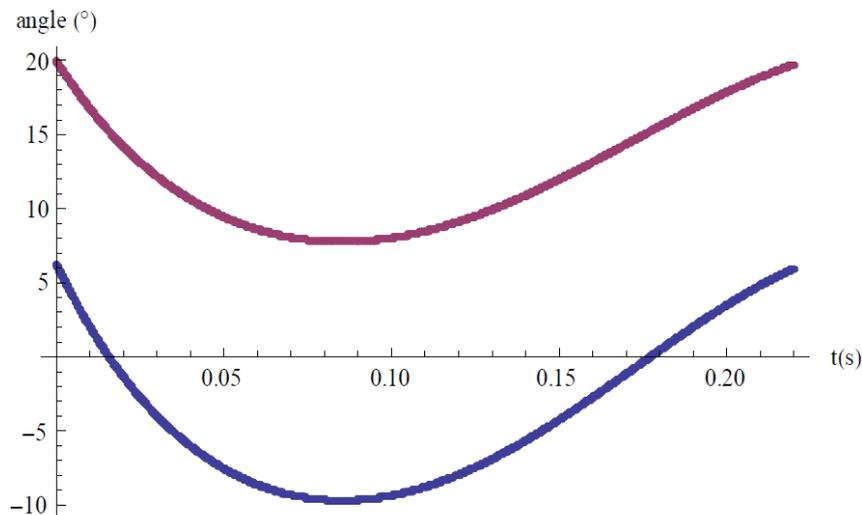
RESULTADOS

Introducción

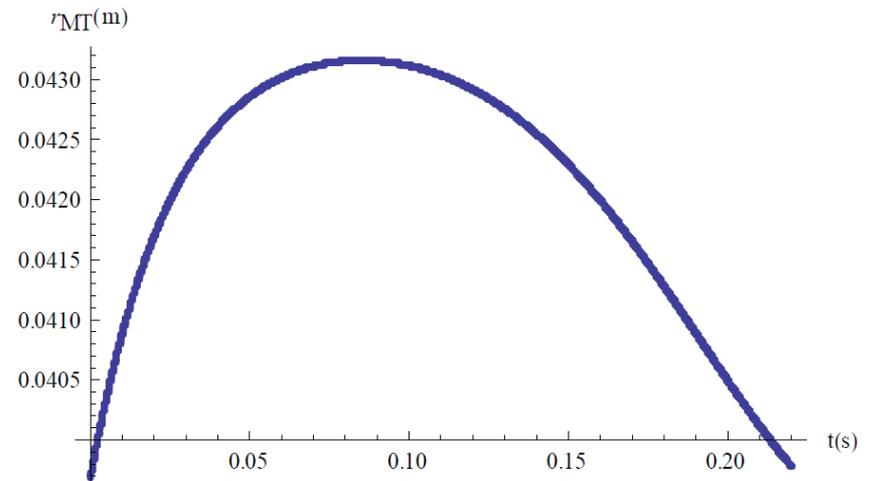
- Modelo Músculo-Esquelético simple
- Propósito: Útil para evaluar la unidad Músculo-Tendón
- Objetivos de los escenarios de simulación:
 - Describir la funcionalidad del modelo implementado,
 - Evaluar el modelo de unidad Músculo-Tendón.

Modelo Músculo-Esquelético

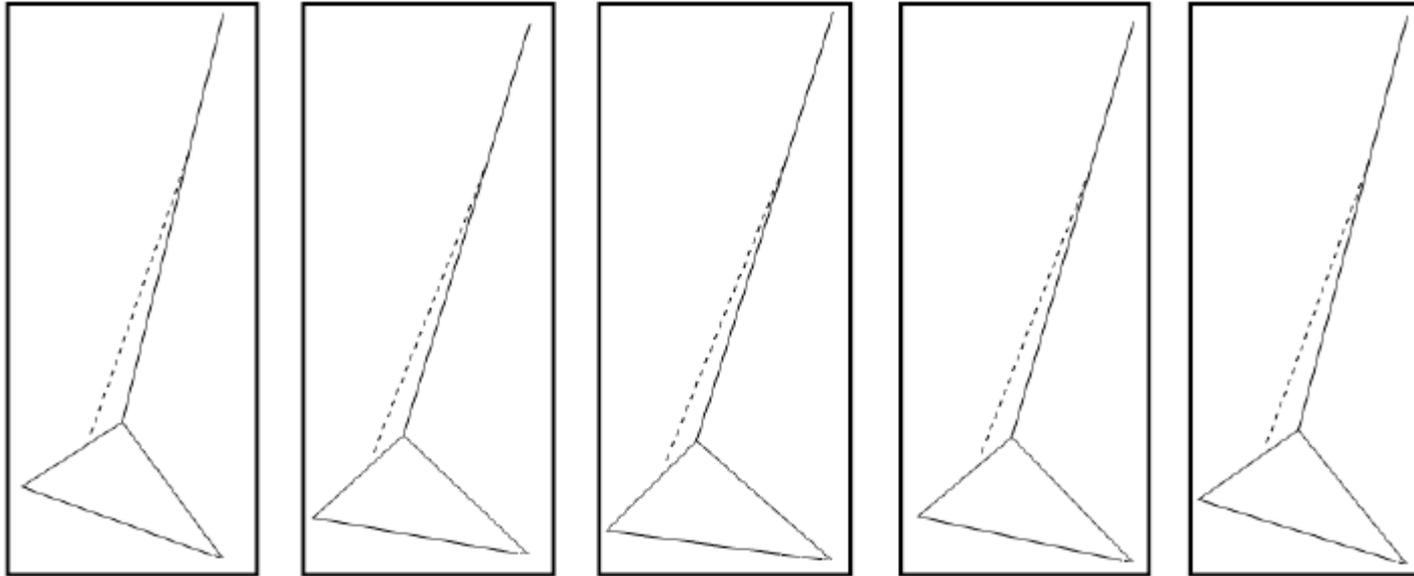
Los ángulos del pie (rojo) y del tobillo (azul)



Brazo de momento de la unidad Músculo-Tendón



Modelo Músculo-Esquelético



Esquemático del salto.

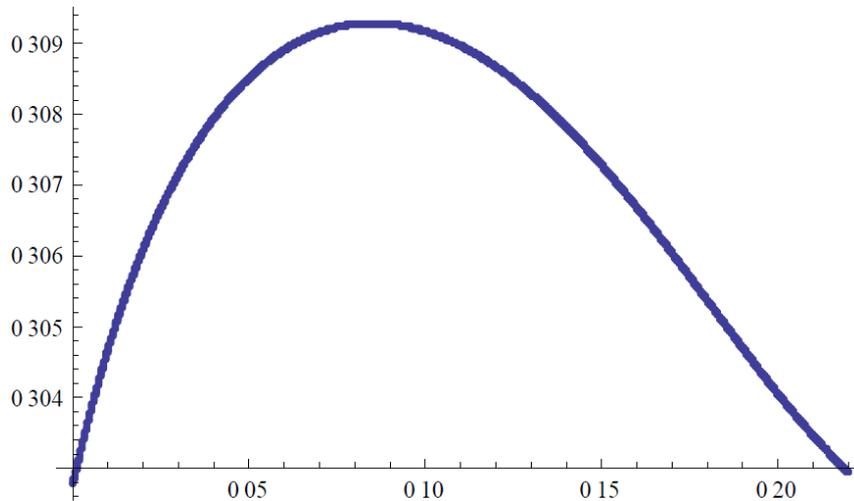
Posición inicial en $\theta_{Pie} = 20.0^\circ$ y $\theta_{Tobillo} = 6.3^\circ$.

Posición más baja $\theta_{Pie} = 7.8^\circ$ y $\theta_{Tobillo} = -9.7^\circ$.

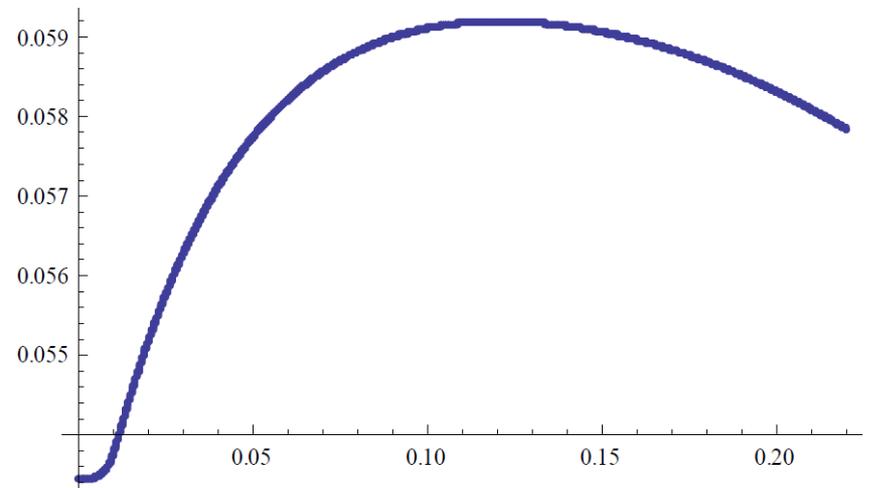
Posición final $\theta_{Pie} = 19.7^\circ$ y $\theta_{Tobillo} = 6.0^\circ$.

Modelo Músculo-Tendón

Longitud de la unidad Músculo-Tendón

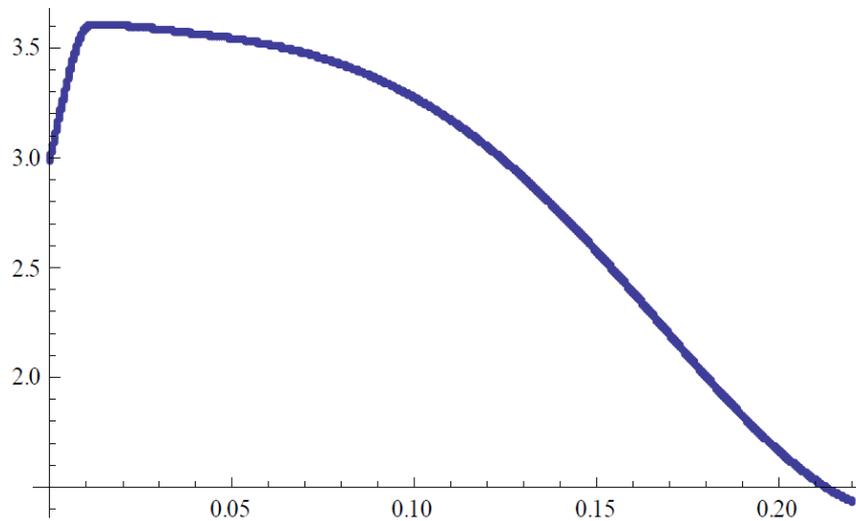


Longitud del elemento contráctil (CE)

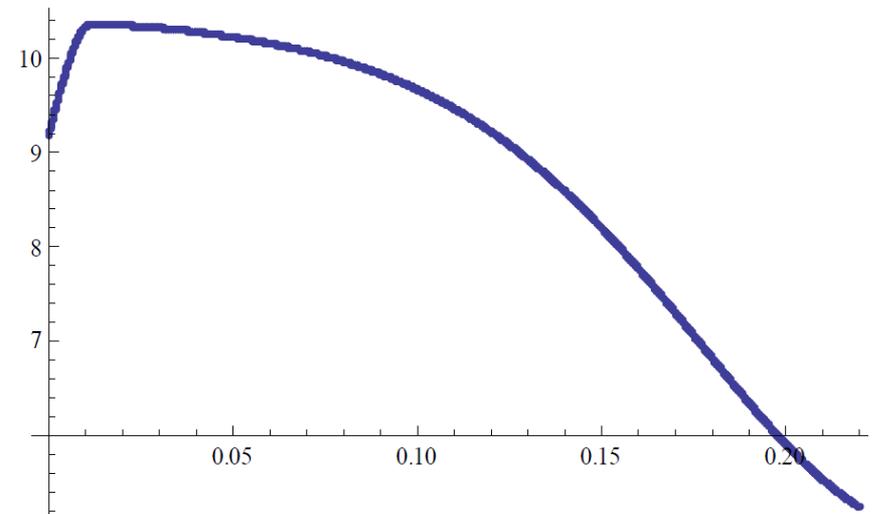


Resultados

Elongación del tendón

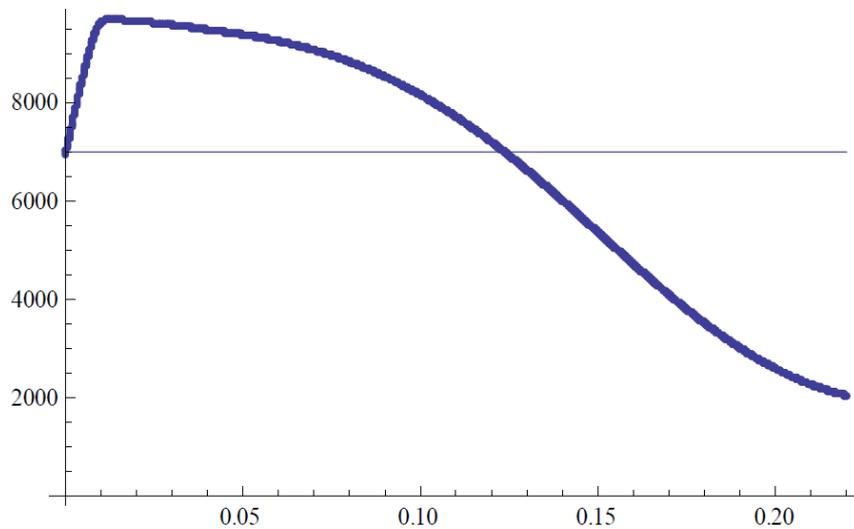


Elongación del elemento elástico serial (SE)

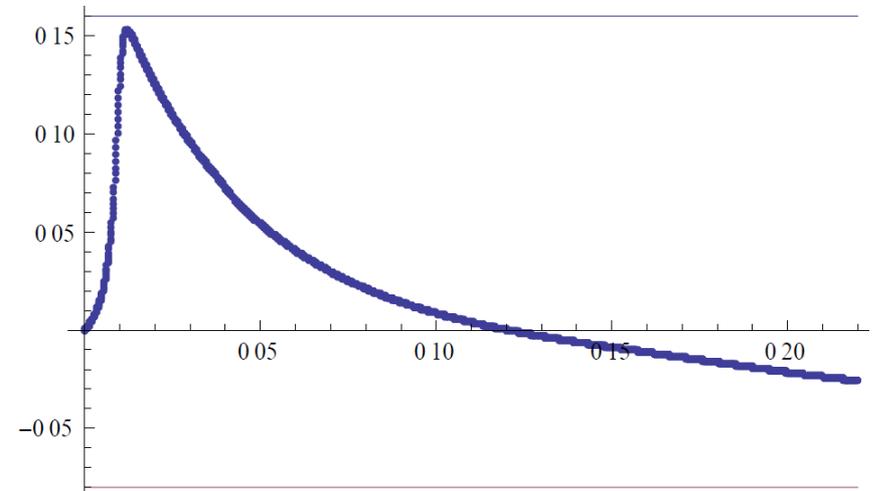


Resultados

Fuerza en la unidad músculo-tendón



Velocidad en la unidad de elemento contráctil (CE)



CONCLUSIONES

Conclusiones

- Modelo de unidad músculo-tendón
 - Fuerza-velocidad y fuerza-longitud,
 - Elasticidad de los puentes cruzados,
- Modelo genérico basado en parámetros
- Restricciones:
 - Actividad variable del músculo
 - Ángulos pinales