

Índice general

1. Motivación y objetivos	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos de la tesis	6
1.3. Contribución de la tesis	7
1.4. Estructura del documento	7
2. Estado del arte	9
2.1. Introducción	10
2.2. Modelado del sistema Músculo-Esquelético	12
2.2.1. Disecciones del miembro inferior	17
2.2.2. Software de modelado	21
2.3. Uso de los modelos Músculo-Esqueléticos en rehabilitación	24
2.4. Robots de rehabilitación	28
2.4.1. Robots paralelos para rehabilitación	30
2.4.2. Modelos ME para el control de Robots	31
3. Modelo Músculo-esquelético del miembro inferior	35
3.1. Introducción	36
3.2. Justificación de la movilidad del modelo propuesto	37
3.3. Modelado	38
3.3.1. Sistemas de referencia de los segmentos	40
3.3.2. Parámetros de Denavit-Hartenberg	41
3.3.3. Definición de las articulaciones	43

3.4. Cinemática	46
3.4.1. Parámetros inerciales y escalado de los segmentos	53
3.4.2. Escalado de los músculos	54
3.4.3. Enrollamiento de los músculos	55
3.4.4. Coeficiente patelar	60
3.5. Dinámica Inversa	64
3.5.1. Cálculo de los jacobianos	67
3.5.2. Cálculo de los factores musculares	67
3.5.3. Cálculo de las fuerzas musculares	69
4. Implementación en tiempo real del Modelo ME	75
4.1. Introducción	76
4.2. Grado de libertad funcional	77
4.3. Cálculo de los coeficientes musculares	80
4.4. Cálculo de las fuerzas musculares en tiempo real	81
4.5. Estructura programa	83
4.5.1. Escalado y definición de las articulaciones	83
4.5.2. Cálculo del GDLF y los coeficientes musculares	85
4.5.3. Cálculo de las fuerzas musculares en tiempo real	86
5. Proceso de validación del modelo	87
5.1. Introducción	88
5.2. Comparación con “Gold Standard”	91
5.2.1. Modelo en AnyBody	92
5.2.2. Comparación cinemática y dinámica de las articulaciones	92
5.2.3. Comparación de las fuerzas muscular	94
5.2.4. Conclusiones comparación “Gold Standard”	97
5.3. “Grand Challenge”	98
5.3.1. Comparación electromiografía	100
5.3.2. Comparación medidas “eTibia”	101
5.3.3. Conclusiones comparación datos empíricos	102

5.4.	Materiales y métodos	103
5.5.	Análisis de solidez	108
5.5.1.	Grado de libertad funcional	108
5.5.2.	Posición de los marcadores	110
5.5.3.	Parámetros inerciales	114
5.5.4.	Conclusiones del análisis de solidez	115
5.6.	Envolvente de fuerzas	116
5.6.1.	Cálculo de la envolvente de fuerzas	117
5.6.2.	Calibración de la envolvente de fuerzas	120
5.6.3.	Estimación de la activación	122
5.6.4.	Validación de la envolvente de fuerzas	123
5.7.	Cálculo de la fuerza externa	123
5.7.1.	Validación del cálculo de la fuerza externa	126
5.8.	Conclusiones	128
6.	Resultados	131
6.1.	Introducción	132
6.2.	Prueba de funcionamiento	133
6.3.	Envolvente de fuerzas	139
6.4.	Seguimiento de la fuerza muscular	141
6.5.	Resumen de los resultados	143
7.	Conclusiones y futuros trabajos	145
	Referencias	157
A.	Ángulos de giro de la cadera y el tobillo	171
A.1.	Cálculo de los ángulos girado en las articulaciones	172
A.1.1.	Cálculo de los ángulos girados en la cadera	172
A.1.2.	Cálculo de los ángulos girados en el tobillo	176
B.	Parámetros de Denavit–Hartenberg	181

B.1. Método de cálculo de los parámetros entre ejes de revolución	182
B.2. Parámetros de Denavit–Hartenberg del modelo	184
B.2.1. Cadera	184
B.2.2. Rodilla	185
B.2.3. Tobillo	186
C. Puntos de inserción de los músculos	189
C.1. Orígenes e inserciones de las fibras musculares	190
C.2. Puntos intermedios de inserción	190
D. Cálculo de la distancia mínima entre rectas	197
E. Cálculo de los puntos tangenciales al cilindro	201
F. Documento consentimiento informado	205