

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes generales	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Alcances	5
1.4. Metodología	6
2. Antecedentes	8
2.1. Antecedentes biomecánicos	8
2.1.1. Ángulos relativos a nivel de rodilla	8
2.1.2. Actividades locomotoras de marcha y carrera	10
2.1.3. Largo dinámico de la pierna	13
2.1.4. Niveles de aceleraciones tibiales aceptables durante actividades de carrera	13
2.1.5. Factores de apoyo	14
2.1.6. Activación muscular y manifestación de fatiga durante electromiografía	15
2.1.7. Aplicaciones e importancia clínica de las variables estudiadas	17
2.2. Antecedentes técnicos, mecánicos y electrónicos	17
2.2.1. Diseño CAD y estereolitografía estandar	17
2.2.2. Manufactura aditiva: Impresión 3D	19
2.2.2.1. Filamento TPU	20
2.2.2.2. Filamento PLA	20
2.2.3. Instrumentación y electrónica	20
2.2.3.1. Plataforma de desarrollo Arduino	20
2.2.3.2. Unidad de medición inercial, IMU	21
2.2.3.3. Sensor electromiográfico, EMG	23
2.2.4. Acelerómetro y ángulos de Euler	24
2.2.5. Fuerza de atracción magnética	26

3. Diseño mecánico	28
3.1. Criterios de diseño	28
3.2. Modelo CAD	29
3.2.1. Componentes principales	29
3.2.2. Diseño de accesorios	35
3.3. Manufactura aditiva	35
3.3.1. Impresora Prusa I3 MK3S	35
3.3.2. Parámetros de impresión	36
3.3.3. Características de los componentes impresos	36
3.3.4. Diseño Mecánico - Producto final	37
4. Diseño electrónico	39
4.1. Descripción de la tecnología utilizada	39
4.2. Medición de ángulo relativo	41
4.2.1. MPU6050 - Módulo IMU	41
4.2.2. Diagrama esquemático de conexión	43
4.2.3. Metodología de medición	45
4.2.4. Metodología de calibración, pruebas y validación de resultados	49
4.3. Medición de vibraciones tibiales	51
4.3.1. Metodología de medición	51
4.3.2. Metodología de calibración, pruebas y validación de resultados	52
4.4. Medición de factores de apoyo	54
4.4.1. Metodología de medición	54
4.4.2. Metodología de calibración, pruebas y validación de resultados	55
4.5. Medición de activación muscular	56
4.5.1. AT-04-001 - Sensor muscular	57
4.5.2. Diagrama esquemático de conexión	58
4.5.3. Metodología de medición	58
4.5.4. Metodología de calibración, pruebas y validación de resultados	60
4.6. Alimentación	62
4.6.1. Diagrama esquemático de conexión	63
4.7. Adquisición, registro y transmisión de datos	63
4.7.1. Módulo SD	63
4.7.2. Diagrama esquemático de conexión	64
4.7.3. Metodología para registro de datos	65
5. Instrumentación de la órtesis	67
5.1. <i>Shield</i> de prototipado para Arduino UNO	67

5.2. Diagrama esquemático de conexión global	68
5.3. Integración de la electrónica en la órtesis diseñada	69
5.4. Protocolo de calibración global	70
6. Procesamiento de datos	71
7. Resultados	73
7.1. Medición de ángulo relativo	73
7.2. Medición de aceleraciones tibiales	75
7.3. Medición de factores de apoyo	76
7.4. Medición de activación muscular e indicadores de fatiga	77
8. Análisis económico	80
8.1. Manufactura y cubicación de materiales	80
8.2. Competencia y análisis comparativo	82
9. Discusiones	84
10. Conclusiones y recomendaciones	89
10.1. Conclusiones	89
10.2. Recomendaciones	90
Bibliografía	91
Anexo A. Códigos computacionales	95
A.1. Código microcontrolador	95
A.2. Código Python: Manejo y procesamiento de datos	101
Anexo B. Procesamiento de datos: Ejemplo	110
Anexo C. Herramientas estadísticas para análisis de datos	112
C.1. Correlación de Pearson	112
C.2. Correlación de Spearman	113
C.3. <i>Root Mean Square</i> - RMS	113
C.4. Coeficiente de Variabilidad - CV	113
Anexo D. Metodología y memoria de cálculo	114
D.1. <i>Holdíng strenght</i> para las uniones magnéticas	114
Anexo E. Parámetros de impresión e información sobre filamentos	117
Anexo F. Enlaces de interés	119

F.1. Fichas técnicas (<i>Datasheet</i>)	119
Anexo G. Planos	120
Anexo H. Cotizaciones	126